



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN SISTEM PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH DOMESTIK KOMBINASI *ANAEROBIC  
BAFFLED REACTOR (ABR) & HYBRID AERO-  
PLANT REACTOR SYSTEM (HAPS)*  
KECAMATAN SIDOARJO, KABUPATEN  
SIDOARJO**

FAJAR ARINAL KHAQ  
3313100088

**Dosen Pembimbing**  
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN SISTEM PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH DOMESTIK KOMBINASI *ANAEROBIC  
BAFFLED REACTOR (ABR) & HYBRID AERO-  
PLANT REACTOR SYSTEM (HAPS)*  
KECAMATAN SIDOARJO, KABUPATEN  
SIDOARJO**

FAJAR ARINAL KHAQ  
3313100088

**Dosen Pembimbing**  
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RE 141581

**WASTEWATER DOMESTIC TREATMENT PLAN  
SYSTEM DESIGN COMBINATION OF  
*ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR) &  
HYBRID AERO-PLANT REACTOR SYSTEM  
(HAPS) IN SIDOARJO SUBDISTRICT***

FAJAR ARINAL KHAQ  
3313100088

**SUPERVISOR**

Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
DOMESTIK KOMBINASI ANAEROBIC BAFFLED REACTOR  
(ABR) & HYBRID AERO-PLANT REACTOR SYSTEM (HAPS)  
KECAMATAN SIDOARJO, KABUPATEN SIDOARJO**

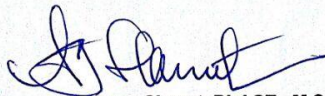
### TUGAS AKHIR

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

Oleh

**FAJAR ARINAL KHAQ**  
NRP. 3313 100 088

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



**Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc**  
NIP. 19590811 198701 1 001





**Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik  
Kombinasi *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* & *Hybrid  
Aero-Plant Reactor System (HAPS)* Kecamatan Sidoarjo,  
Kabupaten Sidoarjo**

Nama Mahasiswa : Fajar Arinal Khaq  
NRP : 3313100088  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet Dipl.SE., M.Sc.

**ABSTRAK**

Air limbah domestik dari rumah tangga yang tidak diolah menyebabkan berbagai pencemaran lingkungan. Sustainable Development Goals (SDGs) dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015-2019 telah menargetkan 100:0:100 dimana salah satu aspeknya adalah air limbah, maka Kabupaten Sidoarjo direncanakan akan membangun Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pada umumnya, IPAL dipandang buruk karena menimbulkan bau, maka dibutuhkan inovasi teknologi hijau.

Daerah perencanaan terletak di 3 Kelurahan yaitu Kelurahan Magersari, Jati, dan Pagerwojo yang dibagi menjadi 3 *cluster* dengan jumlah penduduk keseluruhan 37.535 orang. Desain SPAL yang digunakan adalah *shallow sewer* serta kombinasi IPAL dengan sistem *Anaerobic Baffle Reactor (ABR)* dan *Organica* secara komunal. Kualitas influen yang diolah adalah BOD 162 mg/L, COD 268 mg/L, TSS 210 mg/L, amonia 48,57 mg/L, dan total coliform  $22 \times 10^8$  MPN/100 mL. Baku mutu yang digunakan adalah peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang air limbah domestik.

Hasil desain menunjukkan sistem penyaluran menggunakan pipa PVC dengan diameter 100–200 mm. Lahan yang dibutuhkan untuk IPAL *cluster* I seluas 250 m<sup>2</sup>, *cluster* II seluas 235 m<sup>2</sup>, dan *cluster* III seluas 122,5 m<sup>2</sup>. Anggaran biaya

investasi yang dibutuhkan untuk *cluster* I sebesar Rp 17.936.035.985, kemudian untuk *cluster* II sebesar Rp 15.040.856.211, dan untuk *cluster* III sebesar Rp 8.183.280.455. Anggaran biaya operasi dan pemeliharaan dibutuhkan sebesar Rp 8.000/Kepala Keluarga setiap bulan.

**Kata Kunci : Aerobic, Anaerobic, Organica, Sidoarjo, SPAL**

## **Wastewater Domestic Treatment Plan System Design Comination of *Anaerobic Baffled Reactor (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS)* in Sidoarjo**

Name : Fajar Arinal Khaq  
NRP : 3313100088  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Dr. Ir. Agus Slamet Dipl.SE., M.Sc.

### **ABSTRACT**

Untreated domestic wastewater causes environmental pollution. The Sustainable Development Goals (SDGs) and the National Medium-Term Development Plan (RPJMN) 2015-2019 have targeted 100: 0: 100 of which one aspect is wastewater, then Sidoarjo is planned to build a Wastewater Sewerage System and Wastewater Treatment Plant (WWTP). In general, WWTP is considered bad because it causes odor, so it takes a green technological innovation.

The planning area is located in 3 sub-districts of Kelurahan Magersari, Jati, and Pagerwojo which are divided into 3 *clusters* with total population of 37,535 people. Wastewater Sewerage System design used is shallow sewer and combination of IPAL with Anaerobic Baffle Reactor (ABR) and Organica system in communal. The quality of the treated influent was BOD 162 mg/L, COD 268 mg/L, TSS 210 mg/L, 48.57 mg/L ammonia, and total coliform 22x10<sup>8</sup> MPN/100 mL. The quality standard used is the Ministry of Environment Regulation no. 68 of 2016 on domestic wastewater.

The design results show the Wastewater Sewerage System using PVC pipe with a diameter of 100mm, 150 mm and 200mm. The required land for WWTP *cluster* I is 250 m<sup>2</sup>, *cluster* II of 235 m<sup>2</sup>, and *cluster* III of 122,5 m<sup>2</sup>. The investment cost budget required for *cluster* I is Rp 17.936.035985, then for *cluster* II Rp 15.040.856.211, and for *cluster* III Rp 8,183,280,455. The budget for operation and maintenance cost is Rp 8,000/Head of Family every month.

**Key words : Aerobic Anaerobic, *Organica*, Sidoarjo, SPAL**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi tugas mata kuliah Tugas Akhir serta meningkatkan kemampuan pemahaman bidang teknik lingkungan. Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir saya. Saya mengucapkan terimakasih atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Ir Nieke Karmaningroem, M.Sc , Ibu Ir. Atiek Moesriati M.Kes , dan Bapak Adhi Yuniarto ST. MT. Ph.D selaku dosen penguji. Saya mengucapkan terimakasih atas segala saran serta masukan yang diberikan kepada penulis.
3. Orang tua penyusun, Ir. Suryono MT dan Titik Yatmiati atas segala do'a serta nasihatnya.
4. Bapak Kepala bidang perencanaan PDAM "Delta Tirta" dan Ibu Ami Bappeda Kabupaten Sidoarjo yang telah memberi data pendukung untuk terlaksananya tugas akhir ini.
5. Rekan mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2013 yang telah mendukung serta membantu tugas akhir ini. Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini telah diupayakan sebaik-baiknya, namun masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna hasil yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 .....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Air Limbah Domestik .....	5
2.2 Debit Air Limbah Domestik.....	6
2.2.1 Debit Air limbah rata-rata.....	6
2.2.2 Debit Air Limbah Minimum dan Puncak .....	6
2.3 Sistem Penyaluran Air Limbah .....	7
2.3.1 Sistem Shallow sewer .....	8
2.3.2 Bangunan Pelengkap .....	9
2.4 Pemilihan Teknologi Pengolahan Air Limbah .....	12
2.4.1. Grease Trap.....	13

2.4.2 Anaerobic Baffle Reactor (ABR) .....	13
2.4.3 Organica Ecotechnology .....	19
2.5 Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	23
2.6 Rencana Anggaran Biaya .....	24
BAB 3.....	25
GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN .....	25
3.1 Gambaran Umum Lokasi Perencanaan.....	25
3.2 Kondisi Sanitasi Wilayah Perencanaan .....	26
3.3 Lokasi Perencanaan IPAL.....	27
BAB 4.....	31
METODE PERENCANAAN .....	31
4.1 Kerangka Perencanaan.....	31
4.2 Tahapan Perencanaan.....	32
4.3 Analisis Data dan Pembahasan .....	34
4.4 Kesimpulan dan Saran .....	35
BAB 5.....	37
PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH.....	37
5.1 Daerah Pelayanan.....	37
5.2 Debit Air Limbah di SPAL.....	39
5.3 Pembebanan Saluran Air Limbah .....	43
5.4 Dimensi Pipa Air Limbah .....	55
5.5 Penanaman Pipa Air Limbah.....	58
5.6 Bangunan Pelengkap .....	70
5.6.1 Manhole .....	70
5.6.2 Bak kontrol .....	71
5.7 Removal Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) di SPAL.....	71



BAB 6 .....	73
PERENCANAAN INSTALASI PENYALURAN AIR LIMBAH (SPAL) .....	73
6.1 Debit Air Limbah di IPAL .....	73
6.2 Sumur Pengumpul .....	73
6.2.1 Dimensi Sumur pengumpul .....	74
6.2.2 Pompa Sumur Pengumpul .....	76
6.3 Distribution Box .....	83
6.4 Anaerobic Baffle Reactor .....	85
6.4.1 Grease Trap .....	86
6.4.2 Anaerobic Baffle Reactor Cluster I .....	87
6.4.3 Anaerobic Baffle Reactor Cluster II .....	98
6.4.4 Anaerobic Baffle Reactor Cluster III .....	110
6.5 Hybrid Aero-Plant Reactor System .....	122
6.5.1 Removal Ammonia (NH <sub>3</sub> ) di IPAL .....	124
6.5.2 Removal E-Coli .....	125
6.5.3 Produksi Lumpur HAPS .....	127
6.5.4 Kebutuhan Oksigen untuk aerasi (Bak Aerob HAPS) .....	128
6.5.3 Dimensi HAPS .....	129
BAB 7 .....	131
BOQ & RAB .....	131
7.1 Perpipaan .....	131
7.2 Bangunan Pelengkap .....	140
7.2.1 Manhole .....	140
7.2.2 Bak kontrol .....	141
7.3 Galian dan Urugan Pipa .....	142

7.3 BOQ dan RAB IPAL .....	150
7.4.1 Sumur pengumpul.....	150
7.4.2 Distribution Box .....	153
7.4.4 ABR dan HAPS .....	162
7.4 Total RAB SPAL dan IPAL.....	178
BAB 8.....	179
OPERASI & PEMELIHARAAN .....	179
8.1 Pemeliharaan .....	179
8.2 Standard Operating Procedure (SOP) .....	179
8.3 Biaya Retribusi .....	180
BAB 9.....	183
KESIMPULAN & SARAN.....	183
9.1 Kesimpulan.....	183
9.2 Saran .....	183
DAFTAR PUSTAKA.....	185

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Peaking Factor for Domestic Wastewater Flows .	7
Gambar 2. 2 Grafik “Hydraulic Elements for Circular Sewer”	9
Gambar 2. 3 Contoh Penampang Membujur Unit ABR	14
Gambar 2. 4 Grafik Tipikal Removal BOD dan TSS	15
Gambar 2. 5 Grafik Hubungan BOD removal dengan OLR	17
Gambar 2. 6 Grafik Hubungan BOD strength dengan BOD removal	17
Gambar 2. 7 Grafik Hubungan Temperature dengan BOD removal	18
Gambar 2. 8 Grafik Hubungan Jumlah kompartemen dengan BOD removal	18
Gambar 2. 9 Grafik Hubungan HRT dengan BOD Removal	18
Gambar 2. 10 Grafik Hubungan BOD dengan COD Removal	19
Gambar 2. 11 Desain IPAL Organica	20
Gambar 2. 12 Alternatif Pengolahan	21
Gambar 2. 13 Grafik efisiensi reduksi lumpur	22
Gambar 2. 14 Grafik efisiensi penggunaan energi	22
Gambar 3. 1 Kondisi saluran drainase di Kelurahan Magersari	26
Gambar 3. 2 Kondisi Jalan di Kelurahan Magersari	27
Gambar 3. 3 Lokasi IPAL <i>Cluster</i> I	27
Gambar 3. 4 Lokasi IPAL <i>Cluster</i> II	28
Gambar 3. 5 Lokasi IPAL <i>Cluster</i> III	28
Gambar 5. 1 Sketsa penanaman pipa	59
Gambar 4. 1 Kerangka Alur Perencanaan	31
Gambar 4. 2 Alur Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik	34
Gambar 6. 1 Grafik hubungan total head dan kapasitas pompa	82
Gambar 6. 2 Mass Balance <i>Cluster</i> I	89
Gambar 6. 3 Grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur oleh waktu <i>cluster</i> I	90
Gambar 6. 4 Mass Balance <i>Cluster</i> II	101
Gambar 6. 5 Grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur oleh waktu <i>cluster</i> II	102
Gambar 6. 6 Mass balance <i>Cluster</i> III	112
Gambar 6. 7 Grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur oleh waktu <i>cluster</i> III	113

Gambar 6. 8 Rasio Efisiensi Penyisihan BOD terhadap Penyisihan COD .....	123
Gambar 7. 1 Galian Normal Pipa Penyalur Limbah .....	143
Gambar 7. 2 Bentuk galian penanaman pipa SPAL.....	144

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jarak antar <i>Manhole</i> pada Jalur lurus .....	10
Tabel 2. 2 Dimensi Lubang Inspeksi .....	12
Tabel 2. 3 Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor .....	15
Tabel 2. 4 Efisiensi Removal <i>Organica</i> .....	23
Tabel 2. 5 Baku Mutu Air Limbah Domestik KLHK.....	24
Tabel 3. 1 Jumlah RW, RT, KK Kelurahan Magersari, Kelurahan Jati dan Kelurahan Buduran .....	25
Tabel 5. 1 Jumlah Penduduk Terlayani.....	37
Tabel 5. 2 Pembagian <i>Cluster</i> .....	38
Tabel 5. 3 Pembagian Blok pada pelayanan <i>Cluster I</i> .....	38
Tabel 5. 4 Pembagian Blok pada pelayanan <i>Cluster II</i> .....	39
Tabel 5. 5 Pembagian Blok pada pelayanan <i>Cluster III</i> .....	39
Tabel 5. 6 Produksi Air PDAM Delta Tirta Kab.Sidoarjo .....	40
Tabel 5. 7 Debit Air Limbah untuk SPAL <i>Cluster I</i> .....	43
Tabel 5. 8 Debit Air Limbah untuk SPAL <i>Cluster II</i> .....	43
Tabel 5. 9 Debit Air Limbah untuk SPAL <i>Cluster III</i> .....	43
Tabel 5. 10 Pembebanan Saluran <i>Cluster I</i> .....	44
Tabel 5. 11 Pembebanan Saluran <i>Cluster II</i> .....	49
Tabel 5. 12 Pembebanan Saluran <i>Cluster III</i> .....	53
Tabel 5. 13 Penanaman Pipa <i>Cluster I</i> .....	60
Tabel 5. 14 Penanaman Pipa <i>Cluster II</i> .....	65
Tabel 5. 15 Penanaman Pipa <i>Cluster III</i> .....	68
Tabel 5. 16 Jenis dan Jumlah <i>Manhole</i> pada Seluruh <i>Cluster</i> .....	70
Tabel 6. 1 Debit Air Limbah untuk IPAL .....	73
Tabel 6. 2 Spesifikasi Pompa C2113-590 .....	82
Tabel 6. 3 Karakteristik Air Limbah Hasil Sampling .....	85
Tabel 6. 5 Efisiensi Pengolahan dengan ABR <i>Cluster I</i> .....	98
Tabel 6. 6 Efisiensi Pengolahan dengan ABR <i>Cluster II</i> .....	110
Tabel 6. 7 Efisiensi Pengolahan dengan ABR <i>Cluster III</i> .....	121
Tabel 7. 1 Panjang pipa tiap segmen <i>Cluster I</i> .....	131
Tabel 7. 2 Panjang pipa tiap segmen <i>Cluster II</i> .....	135
Tabel 7. 3 Panjang pipa tiap segmen <i>Cluster III</i> .....	138
Tabel 7. 4 BOQ manhole seluruh <i>Cluster</i> .....	140
Tabel 7. 5 HSPK 1 unit manhole tipikal.....	140

Tabel 7. 6 HSPK 1 unit bak kontrol tipikal .....	141
Tabel 7. 7 RAB Bangunan Pelengkap seluruh <i>Cluster</i> .....	142
Tabel 7. 8 Standar Urugan Gali yang Diperkenankan .....	143
Tabel 7. 9 Analisa HSPK SPAL.....	145
Tabel 7. 10 RAB SPAL <i>Cluster</i> I .....	149
Tabel 7. 11 RAB SPAL <i>Cluster</i> II .....	149
Tabel 7. 12 RAB SPAL <i>Cluster</i> III .....	150
Tabel 7. 13 HSPK Sumur Pengumpul & Distribution Box.....	155
Tabel 7. 14 RAB Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> I .....	158
Tabel 7. 15 RAB Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> II .....	159
Tabel 7. 16 RAB Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> III .....	159
Tabel 7. 17 RAB Distribution Box <i>Cluster</i> I.....	160
Tabel 7. 18 RAB Distribution Box <i>Cluster</i> II.....	161
Tabel 7. 19 RAB Distribution Box <i>Cluster</i> III.....	161
Tabel 7. 20 HSPK IPAL ABR & HAPS .....	166
Tabel 7. 21 RAB ABR dan HAPS <i>Cluster</i> I.....	174
Tabel 7. 22 RAB ABR dan HAPS <i>Cluster</i> II.....	175
Tabel 7. 23 RAB ABR <i>Cluster</i> III .....	176
Tabel 7. 24 Total Biaya Investasi ketiga <i>Cluster</i> .....	178
Tabel 7. 25 Biaya per Kepala Keluarga seluruh <i>Cluster</i> .....	178
Tabel 8. 1 Biaya Operasi & Pemeliharaan <i>Cluster</i> I .....	181
Tabel 8. 2 Biaya Operasi & Pemeliharaan <i>Cluster</i> II .....	181
Tabel 8. 3 Biaya Operasi & Pemeliharaan <i>Cluster</i> III .....	182
Tabel 8. 4 Biaya Retribusi per Kepala Kelurga Seluruh <i>Cluster</i> .....	182

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Dimensi IPAL

Lampiran 2 BOQ SPAL

Lampiran 3 Data Penunjang

Lampiran 4 Gambar Detail Engineering Design (DED)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Indonesia sebagai negara berkembang masih banyak masyarakatnya yang membuang limbah secara sembarangan ke lingkungan hingga tercemar. Pencegahan lingkungan yang tercemar telah diupayakan dengan melakukan pengendalian pencemaran melalui UU No 32 tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. *Sustainable Development Goals* (SDGs) merupakan sebuah kesepakatan pengganti *Millenium Development Goals* (MDGs) yang berlaku pada tahun 2015 – 2030, dimana salah satu dari beberapa tujuannya yaitu pengolahan air limbah rumah tangga yang diolah sesuai dengan standar nasional (Panduan SDGs, 2015). Disisi lain, target Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015-2019 yakni 100 : 0 : 100, dimana 100% untuk pelayanan air bersih, 0% kawasan kumuh, dan 100% sanitasi yang layak juga belum sesuai. Salah satu objek nyata pengolahan air limbah yaitu dengan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL). SPAL yang dilakukan secara terpusat sudah banyak dilakukan negara besar dalam pengelolaan air limbah domestik perkotaan, namun di Indonesia SPAL yang digunakan mayoritas menggunakan sistem komunal. Pada kondisi ideal, sistem terpusat menjadi pilihan, namun membutuhkan biaya yang mahal dalam konstruksinya, sehingga di Indonesia sistem komunal yang banyak digunakan, disamping biaya konstruksi murah, lahan yang dibutuhkan juga tidak terlalu besar (Buku 3 SPAL domestik-terpusat skala permukiman, 2016).

Sidoarjo merupakan wilayah yang menjadi penyangga kota metropolitan Surabaya. Kabupaten Sidoarjo memiliki 18 kecamatan salah satunya Kecamatan Sidoarjo yang merupakan salah satu kecamatan besar di Kabupaten Sidoarjo yang memiliki 24 desa/kelurahan dengan jumlah penduduk sebesar 174.429 jiwa, dengan luas wilayah 6.256,01 Ha dan memiliki curah hujan rata-rata sebesar 1.722 mm. Terdapat dua kelurahan yang termasuk dalam kawasan permukiman padat penduduk yaitu Kelurahan Magersari dengan jumlah kepala keluarga (KK) sebanyak 4.087 dan Kelurahan Jati sebanyak 3.422 (Kecamatan

Sidoarjo Dalam Angka, 2016). Berdasarkan pengamatan di lapangan, dua kelurahan tersebut masih membuang *grey water* melalui drainase karena belum memiliki sistem penyaluran dan pengolahan air limbah sehingga air limbah bercampur dengan air hujan, sedangkan *black water* mayoritas sudah ditampung pada tanki septik. Tingginya penambahan penduduk linear dengan bertambahnya kawasan pemukiman baru, sehingga ketersediaan lahan di Kabupaten Sidoarjo mulai berkurang, maka jumlah debit air limbah yang bertambah harus dikelola agar tidak mencemari lingkungan, sesuai dengan Peraturan Daerah Kabupaten Sidoarjo No 6 Tahun 2009, tentang Rencana Tata Ruang Wilayah tahun 2009-2029, bahwa dalam kawasan yang belum memiliki sistem pembuangan air limbah setempat dan/atau terpusat, setiap orang perseorangan atau kelompok masyarakat dilarang membuang air limbah secara langsung tanpa pengolahan ke media lingkungan. Selain itu sistem pengelolaan air limbah domestik masuk dalam strategi pengembangan prasarana wilayah kabupaten sesuai dengan peraturan daerah (Perda Kabupaten Sidoarjo No 6 Tahun 2009).

Pada beberapa kalangan masyarakat, IPAL dipandang buruk karena menimbulkan bau, maka dibutuhkan inovasi teknologi hijau. *Hybrid Aero-Plant Reactor System* (HAPS) memiliki konsep berdasarkan *Organica ecotechnology* yang merupakan teknologi baru dalam pengolahan air limbah dimana teknologi ini merupakan kombinasi antara pengolahan konvensional dan modern dengan konsep ekologis. Selain itu, HAPS dapat menjadi estetika lingkungan karena menggunakan tanaman dalam aplikasinya (Yuje dKK, 2013). Sistem HAPS dipilih karena memiliki kelebihan yaitu menggunakan tanaman yang akarnya dijadikan sebagai media melekatnya mikroba sehingga membentuk biofilm, kemudian reduksi lumpur tinggi, efisiensi penggunaan energi kecil, serta lahan yang digunakan kecil sehingga cocok untuk daerah padat penduduk (anonim, 2015). Untuk pengolahan primer, digunakan unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya efisiensi pengolahan tinggi, lahan yang dibutuhkan kecil, biaya pengoperasian dan perawatan mudah, dapat menerima beban *shock loading* (Pamsimas, 2011).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah:

1. Desain sistem SPAL dan IPAL komunal kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS) untuk pemukiman di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo
2. Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk sistem SPAL dan IPAL komunal kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS) untuk pemukiman di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Merencanakan SPAL dan IPAL komunal kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS) untuk Permukiman di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo
2. Menentukan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk SPAL dan IPAL komunal kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS) untuk pemukiman di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo

## 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari perencanaan ini adalah:

1. Lokasi perencanaan terletak di Kelurahan Magersari, Jati, dan Pagerwojo, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo.
2. Air limbah yang diolah berupa *grey water* dan *effluent* tangki septic.
3. Parameter yang diolah adalah BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, ammonia, dan total coli.
4. Jenis penyaluran yang didesain yaitu saluran tersier, sekunder, dan primer.
5. Unit Pengolahan yang digunakan yaitu *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Hybrid Aero-Plant Reactor System*
6. Aspek yang dibahas adalah aspek teknis dan aspek finansial.
7. Perhitungan Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan sistem IPAL mengacu pada

Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya Tahun 2015.

8. Baku mutu effluen mengacu pada SK Permen KLHK No. 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari perencanaan ini adalah:

1. Tersedianya sistem IPAL komunal melalui rekomendasi desain dan pembiayaan kepada pemerintah Kabupaten Sidoarjo untuk wilayah pemukiman di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo.
2. Sebagai pertimbangan dalam mengurangi beban pencemaran lingkungan akibat dari pembuangan air limbah domestik untuk sanitasi yang lebih baik demi mewujudkan universal akses 100 : 0 : 100 untuk wilayah pemukiman di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo.
3. Memberikan sarana edukasi kepada masyarakat umum mengenai teknologi hijau pengolahan air limbah yang tepat guna.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah cairan buangan yang berasal dari rumah tangga terdiri dari buangan tubuh manusia (tinja dan air seni), buangan dapur dan buangan kamar mandi yang berasal dari pembersihan badan, pencucian pakaian, penyiapan makanan, dan pencucian peralatan dapur (Tchobanoglous dKK., 2003). Salah satu sumber air limbah domestik yaitu *grey water*. Karakteristik dari *grey water* sendiri yaitu memiliki zat organik yang cukup tinggi dimana *grey water* dari dapur dan air bekas cucian memiliki kandungan organik yang lebih tinggi dibandingkan *grey water* dari kamar mandi (Li dKK., 2009). Senyawa organik ini merupakan sumber makanan bagi mikroorganismenya, yang nantinya dapat berkembang pesat pada badan air dan berdampak pada berkurangnya kandungan oksigen terlarut pada badan air karena digunakan oleh mikroorganismenya untuk proses metabolisme sehingga biota air tidak dapat hidup. Air limbah domestik harus diolah agar tidak mencemari dan tidak membahayakan kesehatan lingkungan dan juga untuk mengurangi beban pencemaran di badan air. Pada prinsipnya, air limbah domestik dapat diolah dalam 2 proses yaitu fisik dan biologi. Pada prinsipnya, air limbah domestik diolah dalam 2 proses yaitu fisik dan biologi:

##### 1. Pengolahan Fisik

Pengolahan air limbah domestik secara fisik diolah dengan cara filtrasi, sedimentasi, flotasi dan adsorpsi. Proses pengolahan fisik yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah yaitu sedimentasi. Sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan cara mengendapkan zat tersuspensi dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Abraiman dan Houssam, 2009).

##### 2. Pengolahan Biologis

Pengolahan limbah secara biologis dua diantaranya yaitu aerobik dan anaerobik. Untuk aerobik terdapat tiga yaitu proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended growth*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached*

*growth*), dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam. Proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tinggi. Proses biologis dengan biakan melekat adalah proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibinakan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media (Said, 2010).

## 2.2 Debit Air Limbah Domestik

Debit air limbah domestik penting untuk diketahui jumlahnya karena akan menentukan kapasitas bangunan pengolahan yang akan direncanakan.

### 2.2.1 Debit Air limbah rata-rata

Diperkirakan besarnya air bersih yang akan menjadi air limbah yaitu 70 – 80% dari total yang diketahui dari penggunaan rata-rata air bersih pada daerah pelayanan. Persamaan untuk menghitung total penggunaan rata-rata air bersih terdapat pada persamaan berikut.

➤ Debit rata-rata

$$Q_{ave} = Q_w \times (70-80\%) \dots\dots\dots(1.1)$$

Dimana:

Qave = Debit air limbah (liter/orang.hari)

Qw = Debit rata-rata penggunaan air bersih (liter/orang.hari)

### 2.2.2 Debit Air Limbah Minimum dan Puncak

Debit air limbah minimum dan puncak sangat tergantung dari pola masyarakat setempat. Penggunaan air mencapai titik puncak ketika masyarakat akan melakukan aktivitas yang menggunakan banyak air seperti bekerja, sekolah dan kebutuhan pangan. Sedangkan untuk debit minimum terjadi ketika masyarakat tidak beraktivitas seperti tidur pada malam hari. Persamaan untuk menghitung debit minimum dan puncak Menurut Fair dan Geyer (1954) terdapat pada persamaan berikut:

➤ Debit minimum

$$Q_{min} = 1/5 \times (P)^{1/6} \times Q_{ave} \dots\dots\dots(1.2)$$

Dimana:

Qmin = debit air limbah minimum (l/detik)

P = Jumlah penduduk

$Q_{ave}$  = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

➤ Debit puncak

$Q_{peak} = f_{peak} \times Q_{ave}$ .....(1.3)

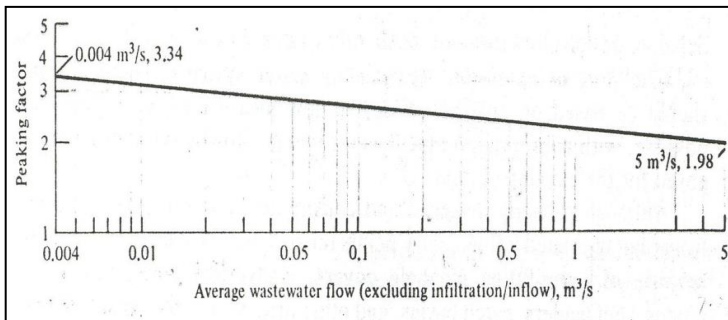
Dimana:

$Q_{peak}$  = Debit air limbah puncak (l/detik)

$f_{peak}$  = Faktor puncak

$Q_{ave}$  = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

Faktor puncak merupakan rasio hubungan antara debit puncak dengan debit rata-rata. Faktor puncak diperoleh dari kurva *peaking factor* pada grafik berikut.



**Gambar 2. 1 Grafik Peaking Factor for Domestic Wastewater Flows**  
(Sumber: Tchobanoglous dKK., 2003)

### 2.3 Sistem Penyaluran Air Limbah

Berdasarkan sistem pengumpulannya, sistem penyaluran dibagi menjadi dua tipe yaitu secara terpisah dan secara tercampur. Sistem penyaluran air limbah secara terpisah merupakan sistem yang memisahkan dalam penyaluran air limbah dan air hujan dengan dua saluran yang berbeda. Sistem tercampur merupakan suatu sistem dimana air limbah dan air hujan disalurkan dalam satu saluran yang sama dan merupakan saluran tertutup (Tchobanoglous dKK., 2003).

### 2.3.1 Sistem *Shallow sewer*

Sistem penyaluran *Shallow sewer* menyalurkan air buangan domestik baik padatan maupun cairan. Sistem ini mengangkut air buangan dalam skala kecil dan pipa dipasang dengan kemiringan lebih landai. Prinsip sistem ini menggunakan penggelontoran. Ketika terdapat padatan yang berada pada *manhole*, air limbah baru akan menggelontor padatan yang masih di *manhole* tersebut dengan memanfaatkan tekanan dari air limbah baru untuk membuat padatan tersebut mengalir ke pipa penyaluran kembali. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sistem penyaluran air limbah diantaranya yaitu :

- a) Konstanta Manning ( $n$ ) = 0.009 (pipa PVC), (Municipal Piping System, 2002)
- b) Diameter pipa minimum = 100 mm dengan saluran gravitasi (kementerian Pekerjaan Umum, 2013)
- c) kecepatan minimum = 0.6 m/s pada saat debit rata-rata atau *peak*
- d) kecepatan maksimum = 2.5 – 3.0 m/s
- e) Tinggi renang ( $d/D$ ) = 0.5 (Design Criteria for Gravity Sanitary Sewer Lines, 2007)
- f) Nilai  $Q_{peak}/Q_{full}$  diperoleh dari grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* seperti terlihat pada **Gambar 2.2**.
- g) Kemiringan atau slope ( $S$ )

$$S = \Delta H / L \dots \dots \dots (1.4)$$

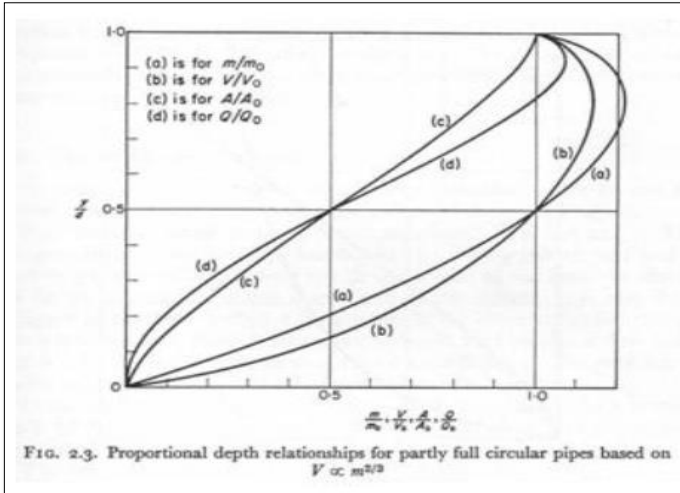
Dimana :

$S$  = slope

$\Delta H$  = beda elevasi (m)

$L$  = panjang pipa (m)





**Gambar 2. 2** Grafik “Hydraulic Elements for Circular Sewer”  
 (Sumber: Tchobanoglous dKK., 2014)

Persamaan debit penuh dapat dilihat pada persamaan berikut

➢  $Q_{full}$

$$Q_{full} = 0.312/n \times D^{2.667} \times S^{0.5} \dots \dots \dots (1.5)$$

Dimana :

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

$N$  = kekasaran manning

$D$  = diameter (m)

### 2.3.2 Bangunan Pelengkap

Bangunan Pelengkap berguna untuk memudahkan penyaluran air limbah dan operasional atau perawatan saluran. Beberapa bangunan pelengkap yang digunakan dalam sistem penyaluran air limbah diantaranya:

#### 1. *Manhole*

*Manhole* adalah lubang yang digunakan untuk memeriksa, memelihara, dan memperbaiki aliran air yang tersumbat. *Manhole* dilengkapi dengan tutup dari beton dan *cast iron galvanized*, beserta anak tangga untuk menurunnyanya. Lokasi penempatan *manhole* yang mungkin

akan digunakan:

- a. Pada jalur saluran yang lurus dengan jarak tertentu bergantung dari diameter saluran yang disesuaikan dengan panjang peralatan pembersihan yang akan digunakan (Tabel 2.1).
- b. Pada setiap perubahan kemiringan saluran, perubahan diameter, dan perubahan arah aliran vertikal maupun horizontal.
- c. Pada lokasi sambungan, persilangan atau percabangan dengan pipa atau bangunan lain

**Tabel 2. 1 Jarak antar *Manhole* pada Jalur lurus**

Diameter (mm)	Jarak antar <i>Manhole</i> (m)
20 – 50	50 – 75
50 – 75	75 – 125
100 – 150	125 – 150
150 – 200	150 – 200
1000	100 – 150

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013

Selain *manhole*, digunakan pula *drop manhole* yaitu bangunan terjunan yang digunakan bila perbedaan tinggi antara dua saluran lebih dari 0,5 m dan pada saluran dengan *slope* memotong *slope* medan.

## 2. Bangunan Penggelontor

Bangunan Penggelontor berfungsi untuk pembersihan saluran agar tidak terjadi sumbatan. letaknya yaitu disetiap garis pipa dimana kecepatan pembersihan (*self cleansing*) tidak tercapai karena kemiringan tanah atau pipa yang terlalu landai atau kurangnya kapasitas aliran.

Sistem penggelontoran dibagi menjadi dua, yaitu sistem kontinu dan sistem periodik (Carl 2007). Menurut Carl, sistem kontinu adalah penggelontoran secara terus menerus dengan debit yang konstan. Kelebihan sistem kontinu tidak memerlukan bangunan penggelontor disepanjang jalur pipa, tetapi cukup berupa bangunan pada awal saluran atau berupa terminal clean out yang terhubung dengan pipa transmisi air penggelontor. Selain itu, kelebihan lain sistem kontinu adalah kemungkinan saluran tersumbat kecil, dapat terjadi

pengenceran air limbah, serta sistem operasi mudah. Kekurangan sistem ini yaitu, debit penggelontoran konstan memerlukan dimensi saluran lebih besar, dan penambahan beban hidrolis terjadi pada IPAL.

Penggelontoran dengan sistem periodik dilakukan secara berkala pada kondisi aliran minimum. Kelebihan sistem ini adalah penggelontoran dilakukan minimal sekali dalam sehari dan penggelontoran dapat diatur sesuai kebutuhan. Kekurangan sistem ini adalah dimensi saluran relatif tidak besar karena debit gelontor tidak diperhitungkan, penggunaan sistem penggelontoran secara periodik menyebabkan unit bangunan penggelontor lebih banyak disepanjang saluran. Selain itu, saluran kemungkinan dapat tersumbat oleh kotoran.

### 3. Rumah Pompa

Fungsi dari rumah pompa diantaranya:

- a. Sebagai stasiun angkat (*lift station*), dipasang di atas bangunan sumur pengumpul yang mana air limbah dipompa naik keatas menuju unit bangunan selanjutnya.
- b. Sebagai perlindungan dari panas dan hujan yang membuat pompa rusak
- c. Sebagai pemeliharaan dan operasi oleh operator agar lebih mudah dan aman.

### 4. Sambungan Rumah

Sambungan rumah berguna untuk mengalirkan air limbah yang berasal dari sumbernya yaitu rumah ke pipa induk. Sambungan pipa yang digunakan diantaranya:

- a. Pipa dari kloset (*black water*)
  - Diameter pipa minimal 75 mm
  - Bahan dari PVC atau asbes semen
  - Kemiringan pipa 1-3%
- b. Pipa untuk air limbah non tinja (*grey water*)  
Diameter pipa minimal 50 mm
  - Bahan dari PVC atau asbes semen
  - Kemiringan pipa 0,5 - 1%
  - Khusus air limbah dari dapur dilengkapi dengan unit penangkap lemak (*grease trap*)

- c. *House Inlet* (bak kontrol)
  - Luas permukaan minimal 50 cm x 50 cm (sisi dalam) dan diberi penutup plat beton yang dapat dibuka-tutup
  - Kedalaman bak 40 – 60 cm
  - Freeboard 10 cm
- d. Lubang Inspeksi/*Inspection Chamber* (IC)
  - Terdapat 3 tipe IC untuk kedalaman hingga 2 m. Jika kedalaman  $\geq 2,5$  m maka menggunakan *manhole* seperti sistem konvensional
  - Dimensi tergantung pada tipe dan bentuk penampang IC, selengkapnya pada tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2. 2 Dimensi Lubang Inspeksi**

Tipe IC	Kedalaman pipa (m)	Dimensi IC (m <sup>2</sup> )	
		Bujur Sangkar	Persegi panjang
IC – 1	0,75	0,4 x 0,4	0,4 x 0,6
IC – 2	0,75 – 1,35	0,7 x 0,7	0,6 x 0,8
IC – 3	1,35 – 2,5	-	0,8 x 1,2

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013

## 2.4 Pemilihan Teknologi Pengolahan Air Limbah

Teknologi pengolahan air buangan domestik tergantung pada kebutuhan atau kapasitas pengolahan, kondisi lingkungan, ketersediaan lahan, dan kemampuan pengguna dalam mengoperasikan dan memeliharanya (Herrari, 2015). Pengolahan secara anaerobik tidak membutuhkan oksigen dalam prosesnya. Pengolahan anaerobik dapat menjadi alternatif pengolahan yang layak dan ekonomis karena kemudahan konstruksinya, mudah dioperasikan dengan biaya efisien, kemungkinan produksi lumpur yang kecil, dapat memproduksi energi dalam bentuk energi biogas dan bisa diaplikasikan dalam skala besar maupun kecil. Dalam Perencanaan kali ini dipilih teknologi pengolahan berupa *Grease Trap* untuk menangkap minyak dan lemak, kemudian unit *Anaerobic Baffle Reactor* sebagai pengolahan fisik, serta *Hybrid Aero-Plant Reactor System* sebagai pengolahan biologis.

### **2.4.1. Grease Trap**

Bangunan *grease trap* digunakan untuk menangkap minyak dan lemak yang terdapat pada air limbah dan mencegah terjadinya penggumpalan pada sistem penyaluran air limbah. *Grease trap* menggunakan prinsip bahwa minyak dan lemak memiliki massa jenis yang lebih kecil dari pada air dan akan naik ke permukaan air. Air tersebut tinggal cukup lama pada unit tersebut pada kondisi yang laminar. *Grease trap* perlu dilakukan pembersihan minyak dan lemaknya secara berkala untuk menghindari penyumbatan (Afghanistan Engineer District, 2009). *Grease trap* pada umumnya memiliki minimal dua kompartemen (Carrollton, 2012). Kompartemen pertama memiliki waktu detensi minimal 7 menit, sedangkan kompartemen kedua memiliki waktu detensi minimal 5 menit (Austin Water, 2011).

### **2.4.2 Anaerobic Baffle Reactor (ABR)**

ABR adalah bak pengendap yang dimodifikasi dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan padatan terlarut dan tidak mengendap (Morel dan Dinier, 2006). ABR ini efektif untuk meremoval material organik dan padatan yang tersuspensi, namun tidak efektif untuk meremoval nitrogen, fosfor, dan bakteri patogen (Angenent, 2001). *ABR sendiri merupakan sistem pengolahan tersuspensi anaerob, dalam bioreaktor penyekat*. ABR terdiri atas sebuah tangki septik, dan sekat tegak yang terpasang dalam kompartemen dan aliran air bergerak secara naik-turun dari satu kompartemen ke kompartemen lain, dengan cara ini maka air limbah dipertemukan dengan sisa lumpur yang mengandung mikroorganisme yang berfungsi menguraikan polutan dalam kondisi anaerobik. Desain ABR menjamin masa tinggal air limbah yang lebih lama sehingga menghasilkan pengolahan dengan kualitas tinggi dan kadar lumpur yang dihasilkan rendah (Foxon dkk., 2004). Zona pengendapan pada ABR digunakan untuk mengendapkan padatan yang besar sebelum melewati kompartemen selanjutnya. Air dapat mengalir antar kompartemen ke bawah disebabkan oleh dinding penyekat atau pipa yang mengarah ke bawah. Pencegahan masuknya *scum* yang terbentuk di aliran *flow-up* dilakukan dengan outlet dari masing-masing tangka diletakkan sedikit dibawah muka air (Sasse dkk, 2009).

Contoh gambar dan alur aliran pada ABR dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3 Contoh Penampang Membujur Unit ABR**  
(Sumber: Sasse dKK., 2009)

ABR terdiri dari kelompok mikroorganismenya yang berbeda-beda. Kelompok pertama adalah *acidogenic bacteria* yang menghidrolisis ikatan polimer kompleks menjadi *organic acids*, alkohol, gula, hidrogen, dan karbon dioksida. Kelompok kedua adalah bakteri yang memproduksi hidrogen dengan mengkonversi hasil fermentasi dari beberapa bagian (hidrolisis dan asidogenesis) menjadi asam asetat dan karbon dioksida. Kelompok ketiga bakteri metanogenesis yang mengkonversi senyawa sederhana seperti asam asetat, methanol, karbon dioksida, dan hidrogen menjadi metan (Nguyen dKK., 2010).

Kelebihan ABR diantaranya (Pamsimas, 2011):

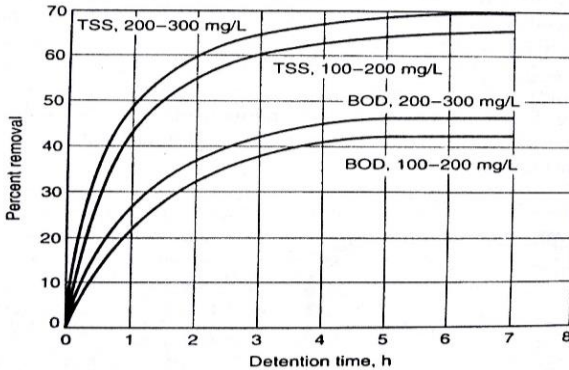
- Efisiensi pengolahan tinggi
- Lahan yang dibutuhkan sedikit
- Biaya pembangunan kecil
- Biaya pengoperasian dan perawatan murah dan mudah
- Pembangunan dan perbaikan dapat menggunakan material lokal

Kekurangan ABR diantaranya:

- Penurunan zat pathogen rendah
- Tukang ahli diperlukan untuk pekerjaan plester kualitas tinggi
- Memerlukan sumber air yang konstan

Persen removal TSS dan BOD pada kompartemen I atau zona pengendapan dapat diketahui dengan cara menentukan waktu

detensi yang terjadi pada kompartemen I menggunakan grafik hubungan waktu detensi dengan efisiensi removal. Berikut merupakan gambar grafik yang disajikan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4 Grafik Tipikal Removal BOD dan TSS**  
(Sumber: Tchobanoglous, 2014)

Kriteria desain unit ABR dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3 Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor**

No	Parameter	Nilai
1	Panjang <i>baffle</i>	50 - 60% dari ketinggian
2	<i>Upflow velocity</i>	< 2 m/jam
3	Removal BOD	70 - 95%
4	Removal COD	65 - 90%
5	Organic Loading	< 3 kg COD/m <sup>3</sup> .hari (Sasse, 2009) 5-10 kg COD/m <sup>3</sup> .hari (Tchobanoglous dKK., 2003)
6	HRT	>8 jam (Sasse, 2009) 6-24 jam (Tchobanoglous dKK., 2003)
7	SRT	>30 hari

Sumber : Tchobanoglous dKK., 2003; Sasse, 2009

Aksesoris tambahan dari ABR adalah pipa ven. Pipa ven adalah pipa untuk mengalirkan atau mengeluarkan gas-gas yang dihasilkan dari hasil proses anaerobik. Pipa ven adalah bagian yang penting dari sistem pembuangan. Tujuan dari pemasangan pipa ven adalah mensirkulasi udara dalam proses pembuangan,

menjaga kedalaman air agar sesuai dengan yang direncanakan, dan menjaga sekat perangkap dari efek sifon atau tekanan. Persamaan Perhitungan desain *Anaerobic Baffled Reactor* dapat dilihat pada langkah-langkah berikut :

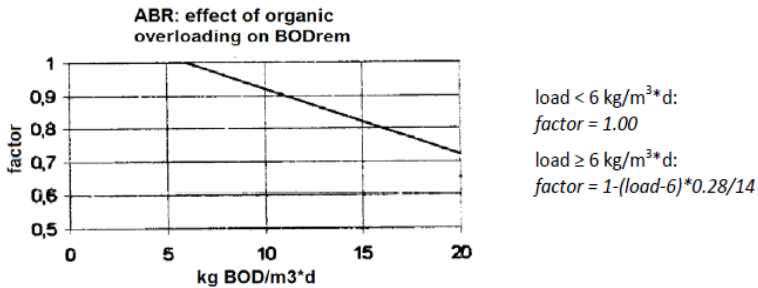
- Waktu Tinggal Hidrolik (HRT)  
 $HRT = V / Q$ .....(1.6)  
 Dimana:  
 HRT = Waktu tinggal hidrolik (hari)  
 V = volume (m<sup>3</sup>)  
 Q = Debit (m<sup>3</sup>/hari)
  
- *Organic Loading Rate* (OLR)  
 $OLR = Q \times So / \text{volume}$ .....(1.7)  
 Dimana :  
 Q = debit (m<sup>3</sup>/hari)  
 So = Total COD inlet (mg/L)
  
- Vup  
 $Vup = Q / (p \text{ satu kompartemen xl})$  .....(1.8)  
 Dimana :  
 P = panjang satu kompartemen (m)  
 l = lebar satu kompartemen (m)
  
- *Headloss* (Hf)  
 $Hf = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{V^2}{2g}$  .....(1.9)  
 $f = 1,5 \times (0,01989) + \frac{0,0005078}{4R}$   
 Dimana:  
 L = panjang ABR (m)  
 R = jari-jari hidrolis (m)  
 V = kecepatan (m/s)  
 g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)



## Kompartemen II

Kompartemen II dihitung berbeda pada kompartemen I dimana untuk mengetahui efisiensi BOD yang nantinya akan digunakan untuk mencari lumpur BOD, maka digunakan beberapa parameter grafik diantaranya Organic Loading Rate (OLR), BOD *strength*, temperatur, jumlah kompartemen dan Hydraulic Retention Time (HRT):

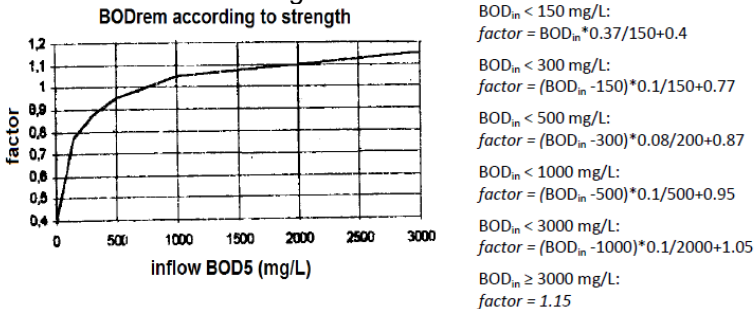
→ Grafik OLR



**Gambar 2. 5 Grafik Hubungan BOD removal dengan OLR**

(Sumber: Sasse, 2009)

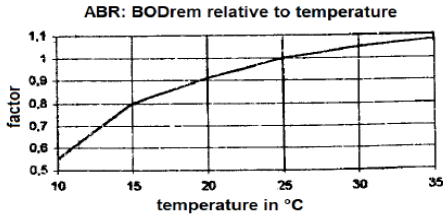
→ Grafik BOD *strength*



**Gambar 2. 6 Grafik Hubungan BOD strength dengan BOD removal**

(Sumber: Sasse, 2009)

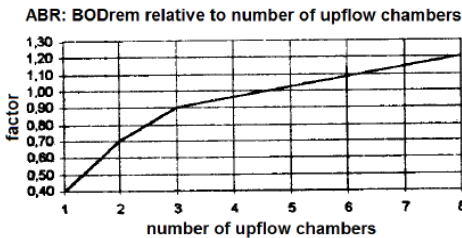
→ Grafik *temperature*



temp < 15 °C:  
 $factor = (temp-10)*0.25/5+0.55$   
temp < 20 °C:  
 $factor = (temp-15)*0.11/5+0.8$   
temp < 25 °C:  
 $factor = (temp-20)*0.09/5+0.91$   
temp < 30 °C:  
 $factor = (temp-25)*0.05/5+1$   
temp ≥ 30 °C:  
 $factor = (temp-30)*0.03/5+1.05$

**Gambar 2. 7 Grafik Hubungan *Temperature* dengan BOD removal**  
(Sumber: Sasse, 2009)

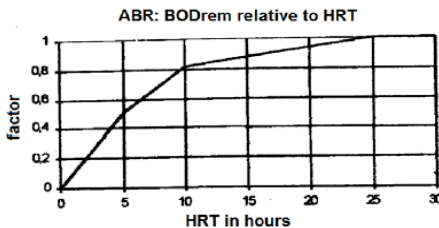
→ Grafik *chamber*



no = 1:  
 $factor = 0.4$   
no = 2:  
 $factor = 0.7$   
no = 3:  
 $factor = 0.9$   
no > 3:  
 $factor = (no-3)*0.06+0.9$

**Gambar 2. 8 Grafik Hubungan Jumlah kompartemen dengan BOD removal**  
(Sumber: Sasse, 2009)

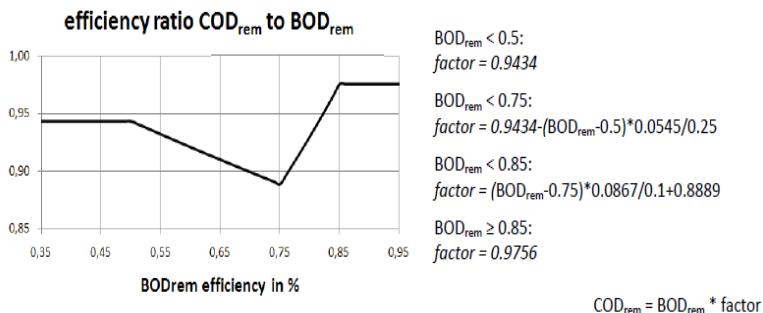
→ Grafik *HRT*



HRT < 5h:  
 $factor = HRT*0.51/5$   
HRT < 10h:  
 $factor = (HRT-5)*0.31/5+0.51$   
HRT < 25h:  
 $factor = (HRT-12)*0.18/15+0.82$   
HRT ≥ 25h:  
 $factor = 1$

**Gambar 2. 9 Grafik Hubungan HRT dengan BOD Removal**  
(Sumber: Sasse, 2009)

Dari pengolahan komparten II tersebut, didapatkan efisiensi persen removal dari masing-masing parameter (BOD, TSS, dan COD), maka efisiensi COD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi BOD dengan efisiensi COD.



**Gambar 2. 10 Grafik Hubungan BOD dengan COD Removal**  
(Sumber: Sasse, 2009)

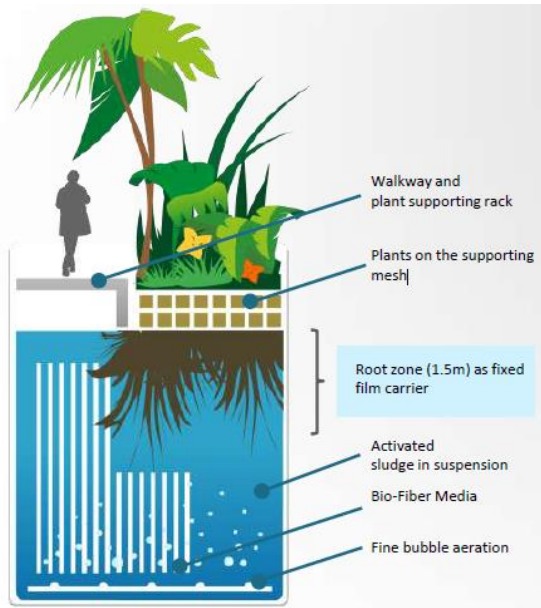
### 2.4.3 Organica Ecotechnology

Menurut Yuje dKK (2013), Pengolahan biologis *Organica* pertama kali ditemukan di China. Teknologi ini mengintegrasikan pada rekayasa ekologi modern dengan teknologi pengolahan air limbah konvensional dimana proses *Organica* ini menggunakan *bubble aeration* sebagai suplai oksigen untuk mikroba di dalam reaktor *Organica*. Prinsip pengolahan air limbah yaitu untuk memadukan proses lumpur aktif dengan proses ekologi dimana terjadi reaksi anaerobik, anoxic, dan aerobik. Karakteristik Teknologi *Organica* (Yuje dKK, 2013):

1. Sistem pengolahan ekologi yang memiliki 2000-3000 spesies tanaman, hewan, dan mikroba pada media yang terlekat.
2. Kemampuan metabolisme tinggi.
3. Estetika *design* yang indah, alami, dimana pengolahan air limbah menggunakan tanaman menjadi seperti kebun.
4. Biaya investasi pembangunan dan pengoperasian rendah bahkan air limbah yang sebelumnya menjadi pencemar dapat menjadi penghijauan, airnya dapat digunakan sebagai peggelontor atau penyiraman.

5. Pada IPAL *Organica*, terdapat siput dan beberapa binatang lain yang berperan dalam pengolahan biologis
6. Terdapat *footprint* dibagian permukaan unit *Organica* sehingga menjadi estetika lingkungan tersendiri.

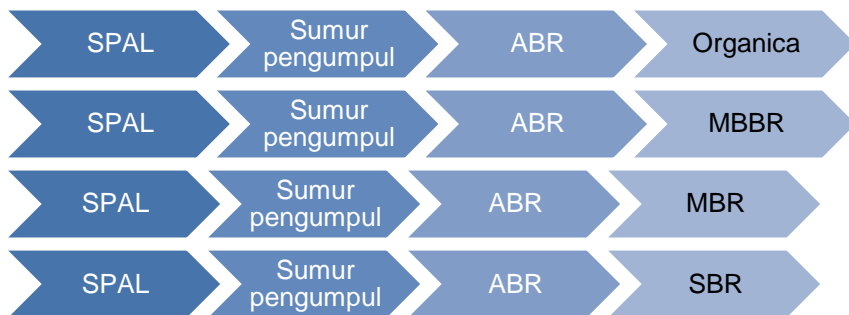
Sistem *Organica* akan membentuk biofilm yang terbentuk dari media yaitu akar tanaman dalam mereduksi air limbah yang dapat dilihat pada Gambar 2.4, sedangkan efisiensi dalam pengurangan lumpur *Organica* memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dibandingkan dengan karena didalam sistemnya terdiri dari beberapa ekosistem yang secara signifikan dapat mereduksi lumpur, selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 11 Desain IPAL *Organica***  
(Sumber: [www.Organicawater.com](http://www.Organicawater.com), 2012)

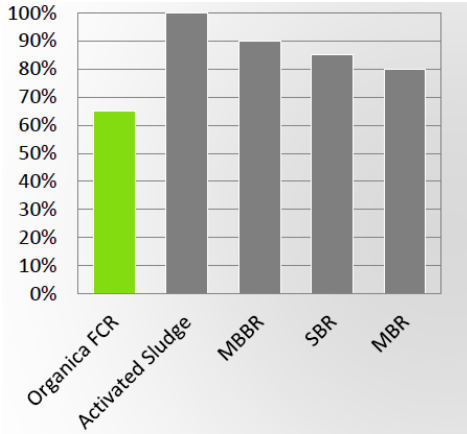
Alternatif pengolahan yang dapat dijadikan sebagai pembanding pada *Organica* adalah *Moving Bed Biofilm reactor* (MBBR), *Membran Bio Reactor* (MBR), *Sequencing Batch Reactor* (SBR)

dimana ketiganya merupakan sistem yang hampir sama yaitu berupa reaktor, namun hanya *Organica* saja yang menggunakan tanaman sebagai salah satu penunjang pengolahannya. Berikut ini pada Gambar 2.5 merupakan alur sekaligus alternatif pengolahan yang akan dilakukan dimana dipilih *Organica* sebagai unit pengolahan sekunder.

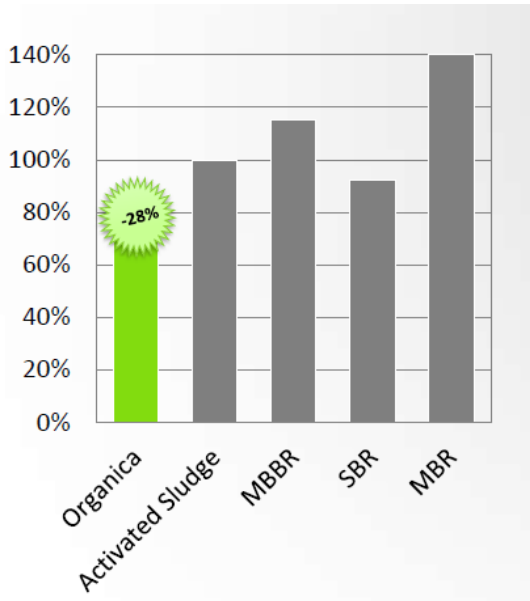


**Gambar 2. 12 Alternatif Pengolahan**

Jika dibandingkan dengan unit pengolahan sejenis seperti MBBR, MBR, dan SBR, maka *Organica* memiliki kelebihan diantaranya yaitu memiliki efisiensi tinggi pada reduksi lumpurnya karena terjadi proses yaitu biakan tersuspensi dan terlekat sehingga banyak kandungan bahan organik yang terpecah dan membentuk *biofilm*, kemudian lahan yang digunakan kecil sehingga efisien untuk daerah pemukiman padat penduduk, selanjutnya efisiensi penggunaan energi kecil, efisiensi pengolahan besar. Selengkapnya terdapat pada Gambar 2.6 yang menunjukkan grafik efisiensi reduksi lumpur, kemudian pada Gambar 2.7 yang menunjukkan grafik efisien penggunaan energi.



**Gambar 2. 13 Grafik efisiensi reduksi lumpur**  
 (Sumber: [www.Organicawater.com](http://www.Organicawater.com), 2015)



**Gambar 2. 14 Grafik efisiensi penggunaan energi**  
 (Sumber: [www.Organicawater.com](http://www.Organicawater.com), 2015)

Efisiensi removal *Organica* pada penurunan kadar BOD, COD, dan TSS cukup tinggi, selain itu *Organica* dapat mereduksi Nitrogen dan Phosporus, hal ini dikarenakan *Organica* merupakan dua proses gabungan antara biakan terlekat dan tersuspensi sehingga efisiensi removalnya cukup tinggi. Selengkapnya terdapat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4 Efisiensi Removal *Organica***

	Influent (mg/l)	Effluent (mg/l)
COD	1250	<45
BOD	650	<10
TSS	250	<10
TN	110	<10
Kjeldahl N	110	<3
NH4N	90	<0.5
TP	25	<0.5

Sumber: [www.Organicawater.com](http://www.Organicawater.com), 2015

## 2.5 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Baku mutu air limbah mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Baku Mutu air Limbah domestic No. 68 Tahun 2016. Adapun baku mutu air limbah domestik diantaranya permukiman (*Real Estate*), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen, perhotelan dan asrama. Pertimbangan pemilihan baku mutu yang digunakan adalah parameter paling ketat dan yang terbaru yaitu Permen LHK No.68 Tahun 2016. Nilai pada masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2. 5 Baku Mutu Air Limbah Domestik**

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Baku Mutu</b>
pH	-	6 – 9
TSS	mg/L	30
COD	mg/L	100
BOD	mg/L	30
Minyak & lemak	mg/L	5
Amonia	mg/L	10
Total Koliform	MPN/100 mL	3000

Sumber: Permen KLHK No.68 Tahun 2016

## **2.6 Rencana Anggaran Biaya**

Rencana Anggaran Biaya (RAB) perhitungannya disesuaikan dengan volume kegiatan. *Bill of Quantity* (BOQ) merupakan perincian dari seluruh bahan-bahan yang dibutuhkan di dalam perancangan. BOQ akan dijelaskan satu persatu mengenai bahan bahan apa saja yang dibutuhkan, serta berapa jumlahnya. Perhitungan RAB didasarkan pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya Tahun 2015.



## BAB 3

### GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

#### 3.1 Gambaran Umum Lokasi Perencanaan

Dalam data administratif, Kelurahan Magersari memiliki luas wilayah sebesar 113,99 Ha dan Kelurahan Jati sebesar 141,55 Ha dengan ketinggian wilayah sama yaitu +4 meter diatas permukaan laut (Kecamatan Sidoarjo Dalam Angka 2016). Dalam batas geografis, wilayah perencanaan memiliki batas wilayah yaitu:

Sebelah Utara	: Kecamatan Buduran
Sebelah Selatan	: Kelurahan Lemah Putro
Sebelah Timur	: Kelurahan Cameng Kalang
Sebelah Barat	: Kelurahan Pucanganom

Pada kondisi dilapangan, terdapat satu wilayah kelurahan yang berdempetan dengan dua kelurahan yang direncanakan namun berbeda Kecamatan yaitu Kelurahan Pagerwojo yang masuk dalam Kecamatan Buduran. Pada perencanaan ini Kelurahan Pagerwojo masuk dalam pelayanan. Sesuai dengan data hasil registrasi penduduk tahun 2015, jumlah Kepala Keluarga (KK) setiap Kelurahan disajikan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Jumlah RW, RT, KK Kelurahan Magersari, Kelurahan Jati dan Kelurahan Buduran**

Desa /Kelurahan	Rukun Warga (RW)	Rukun Tetangga (RT)	Kepala Keluarga (KK)
Magersari	7	45	4.087
Jati	10	40	3.422
Pagerwojo	13	53	3.055

Sumber: Kecamatan Sidoarjo Dalam Angka, 2016

Pemilihan lokasi perencanaan didasarkan pada 2 hal yaitu kepadatan penduduk, dimana Kelurahan tersebut memiliki jumlah KK yang cukup besar yang melebihi 3.000 KK pada data terakhir tahun 2015, kemudian yang kedua adalah Kelurahan tersebut terletak di tengah pusat Kabupaten yang belum memiliki sistem SPAL dan IPAL yang terintegrasi.

### 3.2 Kondisi Sanitasi Wilayah Perencanaan

Kondisi sanitasi di wilayah Kelurahan Magersari, Jati dan Buduran belum maksimal, dimana saluran yang terdapat di setiap depan rumah dengan lebar rata-rata sekitar 20 – 50 cm digunakan untuk menampung air hujan dan *grey water* dari rumah warga yang langsung dialirkan menuju sungai tanpa melalui pengolahan. Karena kecilnya saluran pembuangan, ketika hujan deras berisiko terjadi banjir karena saluran tidak mampu menahan debit air hujan. Sedangkan untuk *black water*, mayoritas warga sudah menggunakan tangki *septic* untuk menampungnya. Gambar salah satu saluran drainase di Kelurahan Magersari dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 1 Kondisi saluran drainase di Kelurahan Magersari**

Untuk kebutuhan air bersih, Kelurahan Magersari, Jati dan Buduran mayoritas sudah terlayani air minum dari PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo, meskipun terdapat beberapa warga yang memiliki sumur gali untuk memenuhi kebutuhan air bersihnya. Sedangkan untuk keadaan akses jalan rata-rata memiliki lebar jalan antar rumah sekitar 4-5 meter dengan konstruksi jalan menggunakan *paving block* dan aspal. Kondisi jalan di Kelurahan Magersari dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3. 2 Kondisi Jalan di Kelurahan Magersari**

### **3.3 Lokasi Perencanaan IPAL**

Lokasi IPAL berada pada tiga tempat sesuai dengan *Cluster* yang telah direncanakan. Lokasi IPAL *Cluster* satu yaitu berada disisi utara yang berdekatan langsung dengan sungai. Lokasi ini merupakan sepadan sungai pucang yang tidak terawat dengan baik, ketika dibangun IPAL nantinya akan diharapkan dapat memperbaiki lingkungan sekitar khususnya perumahan Magersari. Lokasi IPAL *Cluster* satu dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3. 3 Lokasi IPAL Cluster I**

Lokasi IPAL kedua berada dibagian Timur yaitu tepatnya disebelah taman pusat keramaian Sidoarjo dengan lahan masuk dalam

wilayah Kelurahan Jati sehingga cocok untuk menjadi lahan edukasi lingkungan bagi masyarakat sekitar khususnya warga Jati. Lokasi IPAL *Cluster* satu dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3. 4 Lokasi IPAL *Cluster* II**

Lokasi IPAL *Cluster* tiga berada disebelah jalan jembatan layang jalan tol. Berdasarkan info yang telah didapat lahan tersebut adalah milik pemerintah lebih tepatnya bagian Dinas PU. Lokasi IPAL *Cluster* satu dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3. 5 Lokasi IPAL *Cluster* III**

Ketiga lokasi IPAL merupakan titik terendah sehingga lokasi tersebut dipilih untuk memudahkan dalam sistem pengaliran menggunakan sistem gravitasi, selain tata letak juga sangat berperan dalam pemilihan lokasi karena ketiganya merupakan lokasi yang strategis untuk masyarakat khususnya.

➤ Prakiraan luas lahan yang dibutuhkan:

Direncanakan akan dibangun 3 *Cluster* dalam perencanaan ini, diasumsikan 1 *Cluster* akan melayani 2000 KK dan untuk 1 KK terdapat 5 jiwa. Air limbah yang terolah diasumsikan sebesar 80 L/orang.hari

$$\begin{aligned}\text{Jumlah orang} &= 2000 \text{ KK} \times 5 \text{ jiwa} \\ &= 10.000 \text{ jiwa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit air limbah} &= 10.000 \times 80 \text{ L/org.hari} \\ &= 800.000 \text{ L/org.hari} \\ &= 800 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Diasumsikan:

$$\begin{aligned}\text{Td ABR} &= 8 \text{ jam} \\ \text{Td HAPS} &= 7 \text{ jam} \\ \text{Total Td} &= 8 \text{ jam} + 7 \text{ jam} \\ &= 15 \text{ jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume unit yang dibutuhkan} &= 800 \text{ m}^3 \times 15 \text{ jam}/24 \text{ jam} \\ &= 500 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Diasumsikan tinggi unit pengolahan} = 2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan unit yang dibutuhkan} &= 500 \text{ m}^3 / 2\text{m} \\ &= 250 \text{ m}^2\end{aligned}$$

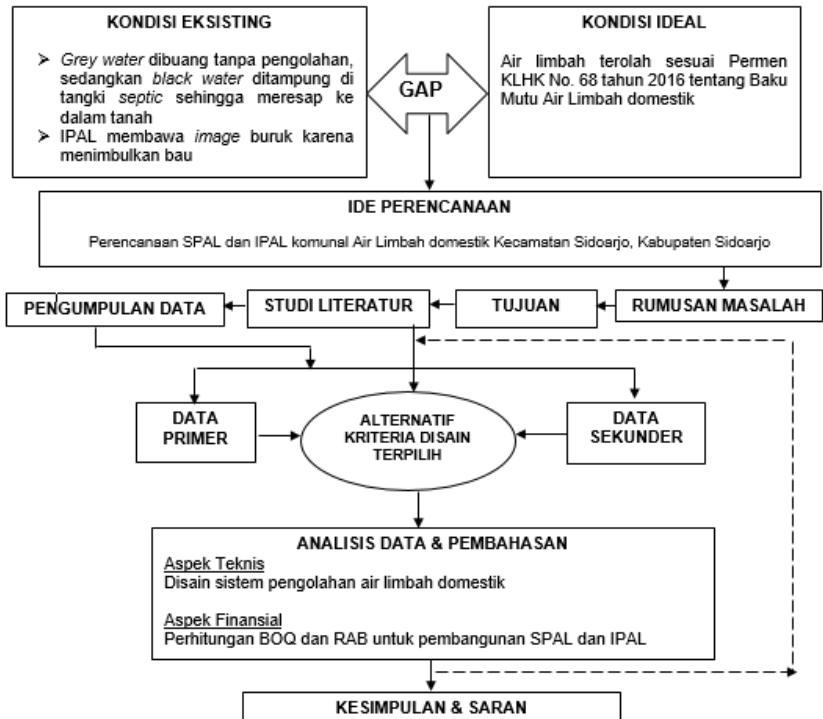
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB 4

### METODE PERENCANAAN

#### 4.1 Kerangka Perencanaan

Metode perencanaan digunakan sebagai pedoman dalam menjalankan perencanaan untuk menjawab tujuan yang diinginkan yaitu memperoleh desain dari sistem IPAL dan rencana biaya yang akan dikeluarkan. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada bagan alir gambar 4.1.



**Gambar 4. 1 Kerangka Alur Perencanaan**

## 4.2 Tahapan Perencanaan

Dari kerangka perencanaan yang telah dirangkai, berikut ini adalah penjabaran untuk setiap langkah yang akan dilakukan dari awal hingga akhir, mulai dari mengidentifikasi masalah hingga menghasilkan kesimpulan melalui analisis data, pembahasan, dan hasil yang diperoleh:

### 1. Ide Perencanaan

Ide perencanaan diperoleh dari kondisi eksisting di wilayah perencanaan, dimana *grey water* masih dibuang ke saluran pembuangan air hujan tanpa pengolahan dahulu, sedangkan pada kondisi ideal air limbah domestik harus diolah hingga memenuhi baku mutu sesuai peraturan yang telah ditetapkan sehingga nantinya targer pemerintah dalam RPJMN 2015-2019 yaitu 100% masyarakat memiliki sanitasi yang layak. Selain itu, air limbah seringkali dianggap oleh masyarakat umum identik dengan bau yang tidak sedap, kotor dan kumuh, maka perlu dilakukan sebuah inovasi teknologi hijau yang membuat paradigma sebaliknya. Maka, perlu dilakukan perencanaan air limbah domestik dengan kombinasi teknologi hijau.

### 2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan teori dalam melaksanakan perencanaan. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan data yang menunjang perencanaan. Literatur penunjang pada perencanaan ini yang dibutuhkan meliputi :

- a. Pengertian air limbah domestik
- b. Perhitungan debit air limbah
- c. Sistem Penyaluran Air Limbah domestik (SPAL)
- d. Teknologi yang digunakan dalam pengolahan air limbah domestik (IPAL)
- e. Kriteria desain bangunan IPAL
- f. Baku mutu air limbah domestik
- g. Rencana Anggaran Biaya

### 3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan dalam desain untuk



mendukung perencanaan yang akan dilakukan. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan sekunder. Selanjutnya akan dijelaskan tahapan pengumpulan data serta penjabaran data apa saja yang digunakan untuk menunjang perencanaan:

a. Data Primer

- Survei Lapangan

1. Karakteristik limbah

Karakteristik air limbah domestik perlu dilakukan untuk mengetahui beban yang akan diolah dengan cara sampling. Sampel air limbah diambil di beberapa titik yang berbeda. Sampling dilakukan sebanyak 3 kali pada hari yang berbeda yaitu pada saat liburan, aktivitas umum (kerja/sekolah), dan pada saat masyarakat banyak menghabiskan waktu di rumah. Diambilnya sampel sebanyak 3 kali bertujuan untuk mengetahui perbedaan beban organik yang dihasilkan, nantinya akan diambil rata-rata dari ketiga sampel. Analisa sampling ini dilakukan di laboratorium untuk kemudian diketahui besarnya nilai dari parameter yang akan masuk pada unit pengolahan.

2. Elevasi

Data elevasi didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan GPS.

3. Lahan IPAL

4. Survey yang dilakukan diantaranya; kondisi eksisting penyaluran air limbah yang masih menggunakan drainase, akses jalan, dan lahan kosong untuk IPAL. Luas lahan yang tersedia didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan meteran (foto kegiatan terdapat pada lampiran).

5. Jalur Pipa Primer

Jalur pipa primer dibutuhkan karena akan direncanakan sistem gravitasi sehingga harus sesuai mengikuti kontur lahan.

b. Data Sekunder

1. Peta wilayah dan topografi Kecamatan Sidoarjo dari Badan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Sidoarjo
2. Peta wilayah dan topografi Kelurahan Magersari dan Kelurahan Jati dari Kantor Kelurahan setempat.
3. Data Jumlah Penduduk yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sidoarjo.
4. Debit air bersih dari rekening meter air bersih bulanan diperoleh dari PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo
5. Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) dari Badan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Sidoarjo

### 4.3 Analisis Data dan Pembahasan

Berdasarkan data yang telah diperoleh maka dapat dilakukan analisis data yang mencakup aspek teknis dan aspek finansial:

#### a. Aspek Teknis

Aspek teknis dalam perencanaan ini adalah desain SPAL dan IPAL. Tahapan dalam pengerjaan diantaranya:

1. Perencanaan sistem jaringan SPAL yang disesuaikan dengan topografi lahan dengan sistem gravitasi jika memungkinkan.
2. Pengolahan unit IPAL yang akan digunakan disesuaikan dengan perhitungan efisiensi removal yang memenuhi.
3. Perhitungan *Detail Engineering Design* (DED) SPAL dan IPAL disesuaikan dengan kriteia desain yang ada, Gambar DED yang akan dicantumkan yaitu Layout, Denah/tampak, Potongan, Detail bangunan, dan profil hidrolis.

Berikut ini adalah alur mulai dari sistem penyaluran dan sistem pengolahan yang disajikan pada Gambar 4.2



**Gambar 4. 2 Alur Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik**

#### b. Aspek Finansial

Aspek finansial dalam hal ini yaitu bagaimana cara mendapatkan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem penyaluran air limbah dan unit pengolahan, sehingga nantinya dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan kepada pemerintah Kabupaten Sidoarjo untuk dapat direalisasikan. Aspek finansial yang akan dibahas diantaranya:

1. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) disesuaikan dengan Harga Satuan Pokok Kerja (HSPK) Kabupaten Sidoarjo Tahun 2014.
2. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) disesuaikan dengan DED.

#### 4.4 Kesimpulan dan Saran

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB 5

### PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH

#### 5.1 Daerah Pelayanan

Daerah pelayanan SPAL pada perencanaan ini meliputi 2 Kelurahan dan 1 wilayah kecil kelurahan yang letaknya berdekatan. Dari ketiga kelurahan tersebut akan dibagi 3 *Cluster* yang didasarkan pada tata letak perkotaan. Data yang diperoleh adalah jumlah Kepala Keluarga (KK), maka diasumsikan terdapat 5 anggota keluarga dalam 1 KK. Jumlah penduduk yang dilayani pada 3 Kelurahan disajikan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5. 1 Jumlah Penduduk Terlayani**

Desa/ Kelurahan	Rukun Warga	Rukun Tetangga	Kepala Keluarga	Pelayanan	KK terlayani
	(RW)	(RT)	(KK)	%	KK
Magersari	7	45	4087	75	3066
Jati	10	40	3422	100	3422
Pagerwojo	13	53	3055	33	1019

Sumber: Badan Pusat Statistik Kab. Sidoarjo, 2016

Untuk wilayah Kelurahan Magersari, % pelayanan sebesar 75% karena disana terdapat rel kereta api sehingga dalam cakupan perencanaan terkendala pada perizinan kepada PT.KAI jika ingin menanam pipa air limbah dibawah rel menggunakan sistem *jacking* sehingga wilayah diluar batas rel kereta dalam perencanaan ini tidak dilayani. Kemudian untuk wilayah Kelurahan Jati dilayani seluruhnya, sedangkan wilayah Kelurahan Pagerwojo sebenarnya masuk dalam Kecamatan Buduran, namun karena dalam petak tata letak, yaitu tepatnya di perumahan Pondok Jati menjadi satu wilayah yang terbagi atas dua kelurahan yaitu Kelurahan Jati dan Pagerwojo, maka terdapat sekitar 33% penduduk Kelurahan Pagerwojo yang dilayani. Selanjutnya adalah membagi cakupan perencanaan SPAL dan IPAL dalam bentuk *Cluster* yang disajikan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5. 2 Pembagian Cluster**

<i>Cluster</i>	Desa/Kelurahan	Kepala Keluarga (KK)	Jumlah Penduduk (orang)
1	Magersari	3.066	15.330
2	Jati & Pagerwojo	2.730	13.650
3	Jati	1.711	8.555

Pembagian ketiga *Cluster* diatas didasarkan pada kondisi geografis Kelurahan Magersari, Jati, dan Pagerwojo. Pada *cluster* II merupakan jumlah dari kepala keluarga Kelurahan Jati sebanyak 1.711 KK dan Kelurahan Pagerwojo sebanyak 1.019 KK sehingga berjumlah 2.730 KK. Jumlah penduduk yang dilayani berjumlah 30.000 lebih sehingga tidak memungkinkan nantinya menggunakan 1 unit IPAL karena tidak sesuai dengan kriteria IPAL kawasan. Pada bagian Utara terdapat sungai besar yang memiliki lebar sekitar 7 m, sehingga menjadi batas antara kelurahan lain kecuali Kelurahan Pagerwojo yang masuk dalam wilayah *cluster* II, sedangkan untuk bagian Timur terdapat rel Kereta Api sehingga ada beberapa wilayah di Kelurahan Magersari yang belum masuk dalam *Cluster* I. Topografi pada kedua kelurahan menjadi faktor dalam pembagian ketiga *Cluster* sehingga memudahkan pengaliran menggunakan sistem gravitasi. Selanjutnya dari *Cluster* yang telah direncanakan, setiap *Cluster* dibagi menjadi blok-blok untuk memudahkan dalam perancangan SPAL.

#### Pembagian Blok pada setiap Cluster

Pembagian blok pelayanan pada *Cluster* I yang masuk dalam Kelurahan Magersari disajikan pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5. 3 Pembagian Blok pada pelayanan Cluster I**

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang
1	302030	30.2	35	5366
2	207368	20.7	25	3833
3	73180	7.3	10	1533

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang
4	160417	16.0	30	4599

Pembagian blok pelayanan pada *Cluster II* yang masuk dalam Kelurahan Magersari disajikan pada Tabel 5.4 berikut ini.

**Tabel 5. 4 Pembagian Blok pada pelayanan *Cluster II***

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang
1	91770	9.2	10	1365
2	503656	50.4	60	8190
3	131533	13.2	30	4095

Pembagian blok pelayanan pada *Cluster III* yang masuk dalam Kelurahan Magersari disajikan pada Tabel 5.5 berikut ini.

**Tabel 5. 5 Pembagian Blok pada pelayanan *Cluster III***

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang
1	102936	10.3	15	1283
2	194557	19.5	50	4278
3	104446	10.4	35	2994

## 5.2 Debit Air Limbah di SPAL

Perhitungan debit air limbah diperoleh setelah mengetahui rata-rata penggunaan air bersih yang diketahui melalui data sekunder PDAM “Delta Tirta” Kabupaten Sidoarjo. Metode yang digunakan adalah dengan melihat data air terjual karena pelanggan membayar sesuai dengan debit yang mereka gunakan kemudian dibagi dengan jumlah pelanggan sehingga diperoleh data penggunaan air bersih per KK. Data penggunaan air bersih disajikan pada Tabel 5.6 berikut ini.

**Tabel 5. 6 Produksi Air PDAM Delta Tirta Kab.Sidoarjo**

Tahun	Produksi Air	Air Terjual	Kehilangan Air	Jumlah pelanggan
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	KK
2012	35.799.290	25.011.309	10.805.435	-
2013	36.376.915	26.076.690	10.300.225	-
2014	39.213.914	26.907.046	12.306.868	119.055
2015	41.402.490	28.901.878	12.500.612	133.191
2016	42.355.290	30.949.694	11.405.596	133.609

Sumber: PDAM Delta Tirta Kab. Sidoarjo

Dari data yang diperoleh, diambil data yang paling besar dan terbaru yaitu tahun 2016 dengan jumlah air terjual sebesar 30.949.694 m<sup>3</sup> dan jumlah pelanggan sebesar 133.609 KK. Perhitungan untuk mencari debit air bersih sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q \text{ domestik air bersih 2016} &= \frac{\text{Air Terjual}}{\text{Jumlah Pelanggan}} \\
 &= \frac{30.949.694 \text{ m}^3}{133.609 \text{ m}^3} \\
 &= 231,64 \text{ m}^3/\text{KK.Tahun} \\
 &= 231.643,7 \text{ L/ KK.Tahun}
 \end{aligned}$$

Jika dalam 1 Kepala Keluarga terdapat 5 orang, maka diperoleh debit air bersih per orang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q \text{ domestik air bersih 2016} &= \frac{231.643,7}{5} \text{ L/ orang.Tahun} \\
 &= 46.328,7 \text{ L/orang.Tahun} \\
 &= \frac{46.328,7}{365} \text{ L/ orang.hari} \\
 &= 126,92 \text{ L/orang.hari}
 \end{aligned}$$

Asumsi presentase air limbah yang mencapai saluran air limbah berada pada kisaran 70 – 80% dari penggunaan air bersih



(Qasim, 1985). Pada perencanaan ini diambil presentase sebesar 80%, maka diperoleh debit air limbah per orang sebagai berikut:

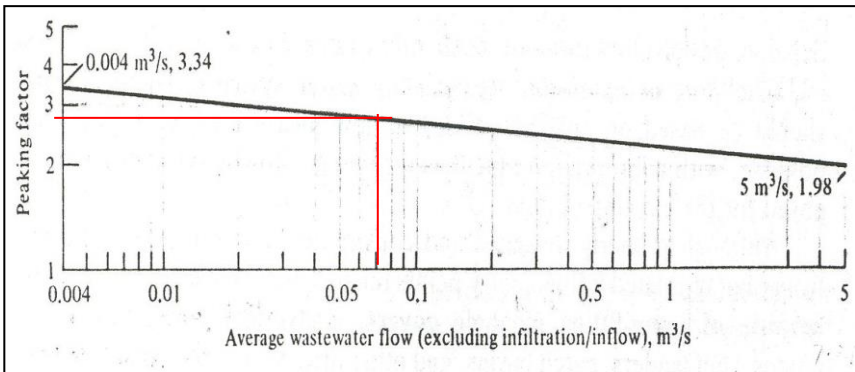
$$\begin{aligned} \text{➤ } Q \text{ ave air limbah} &= 126,92 \text{ L/ orang.hari} \times 80\% \\ &= 102 \text{ L/ orang.hari} \end{aligned}$$

Setelah diketahui debit penggunaan rata-rata air bersih per orang, maka dapat dihitung debit air limbah setiap bloknya. Jumlah penduduk pada setiap blok dikalikan dengan debit air limbah sehingga akan diperoleh debit rata-rata air limbah, kemudian dihitung debit puncak, debit infiltrasi, dan debit minimum. Untuk mengetahui faktor puncak dan faktor infiltrasi maka dilihat grafik faktor puncak (Gambar 2.1 pada Bab 2) dan grafik faktor infiltrasi (Gambar 2.1 pada Bab 2).

Berikut ini adalah contoh perhitungan pada blok 1 *Cluster 1*:  
Diketahui:

- Jumlah Penduduk = 15.330 orang
- Luas blok = 74 Ha
- $Q \text{ ave air limbah} = \text{debit air limbah} \times \text{jumlah penduduk}$ 

$$\begin{aligned} &= 102 \text{ L/orang.hari} \times 15.330 \text{ orang} \\ &= 1.563.660 \text{ L/hari} \\ &= 1.563,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,018 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$



- $f_{\text{.peak}} = 2,8$

Diperoleh faktor peak sebesar 2,8, namun faktor ini terlalu besar jika digunakan dalam wilayah komunal seperti dalam perencanaan ini karena ada faktor antri dalam pengaliran air limbah melalui pipa, maka dari itu digunakan rumus faktor peak berdasarkan jumlah penduduk, sehingga setiap pipa memiliki faktor peak yang berbeda.

$$\begin{aligned} f_{\text{peak}} &= (18+(P^{0.5})) / (4+(P^{0.5})) \\ &= (18+(15.330^{0.5})) / (4+(13.650^{0.5})) \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{ave air limbah}} \times f_{\text{peak}} \\ &= 6,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \times 1,1 \\ &= 7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk faktor infiltrasi, berdasarkan *roll of time* penggunaan faktor infiltrasi adalah ketika sistem pengaliran air limbah menggunakan pipa beton bertulang dimana nilai permeabilitasnya cukup besar sehingga memungkinkan air dari luar pipa dapat masuk kedalam sehingga memiliki faktor infiltrasi, sedangkan dalam perencanaan ini digunakan pipa jenis PVC untuk meminimalisir masuknya air dari luar sehingga faktor infiltrasi dianggap tidak ada.

$$\begin{aligned} Q_{\text{minimum}} &= \frac{1}{5} \times \left( \frac{\text{Jumlah Penduduk}}{1000} \right)^{0,2} \times Q_{\text{ave}} \\ &= \frac{1}{5} \times \left( \frac{5.460}{1000} \right)^{0,2} \times 6,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \\ &= 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Pada Tabel 5.7, 5.8, 5.9 berikut ini adalah besar debit air limbah untuk semua blok pada pelayanan *Cluster* I, II, dan III di Kelurahan Magersari, Pagerwojo dan Jati.

**Tabel 5. 7 Debit Air Limbah untuk SPAL Cluster I**

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk	Q ave	fpeak	Q peak	Q min
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang	m <sup>3</sup> /hari		m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /hari
1	302030	30.2	35	5366	547.3	1.2	646.5	153.2
2	207368	20.7	25	3833	390.9	1.2	474.0	102.3
3	73180	7.3	10	1533	156.4	1.3	207.1	34.1
4	160417	16.0	30	4599	469.1	1.2	560.5	127.3
Jumlah		74	100	15330	1564	1.1	1734.9	539.9

**Tabel 5. 8 Debit Air Limbah untuk SPAL Cluster II**

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk	Q ave	fpeak	Q peak	Q min
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang	m <sup>3</sup> /hari		m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /hari
1	91770	9.2	10	1365	139.2	1.3	186.8	29.6
2	503656	50.4	60	8190	835.4	1.1	959.1	254.4
3	131533	13.2	30	4095	417.7	1.2	503.7	110.7
Jumlah		73	100	13650	1392	1.1	1553.6	469.7

**Tabel 5. 9 Debit Air Limbah untuk SPAL Cluster III**

Blok	Luas Lahan	Luas Blok	Pelayanan	Jumlah penduduk	Q ave	fpeak	Q peak	Q min
	(m <sup>2</sup> )	Ha	%	orang	m <sup>3</sup> /hari		m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /hari
1	102936	10.3	15	1283	130.9	1.4	176.9	27.5
2	194557	19.5	50	4278	436.3	1.2	524.3	116.7
3	104446	10.4	35	2994	305.4	1.2	378.2	76.1
Jumlah		40	100	8555	872.6	1.1	999.2	268.1

### 5.3 Pembebanan Saluran Air Limbah

Setiap pipa air limbah yang dialirkan melalui pipa tersier, akan memberi beban debit maupun tekanan kepada pipa sekunder, begitu juga dengan sekunder yang akan menuju saluran primer sebelum menuju ke IPAL. Saluran pipa air limbah akan menerima beban debit yang berbeda-beda sesuai dengan

tata letak daerah pelayanannya yang dipengaruhi juga oleh jumlah penduduk dalam daerah tersebut. Jumlah % yang diperoleh digunakan untuk mengetahui berapa jumlah penduduk yang tercakupi serta debit yang dihasilkan. Hasil perhitungan untuk pembebanan pipa disemua jalur pada semua *Cluster* disajikan pada Tabel 5.10.

**Tabel 5. 10 Pembebanan Saluran *Cluster* I**

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
	<b>Saluran A</b>				
1	A1-AA	Blok 4	11	506	51.6
2	A2'-A2	Blok 4	7	322	32.8
3	A2-AA1	Blok 4	18	828	84.4
4	AA-A	Blok 4	29	1334	136.0
5	A3-A	Blok 4	11	506	51.6
6	A4-AB3	Blok 4	11	506	51.6
7	A5-AB	Blok 4	7	322	32.8
8	A6-AB1	Blok 4	11	506	51.6
9	A7-AB2	Blok 4	9	414	42.2
10	AB-A	Blok 4	38	1748	178.3
11	A8-A1'	Blok 4	11	506	51.6
12	A9-A1'	Blok 4	11	506	51.6
13	A-C1'	Saluran AA-A	100	4599	469.10
		Saluran A3-A			
		Saluran AB-A			
		Saluran A8-A			
		Saluran A9-A			

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
	<b>Saluran B</b>				
14	B1-BA1	Blok 2	10	383	39.1
15	B2-BA2	Blok 2	20	767	78.2
16	BA-B	Blok 2	30	1150	117
17	B3-BB1	Blok 2	20	767	78.2
18	B4-BB	Blok 2	20	767	78.2
19	BB-B1'	Blok 2	40	1533	156
20	B5-B2'	Blok 2	20	767	78.2
21	B6-B3'	Blok 2	10	383	39.1
22	B-C	Saluran BA-B	100	3833	391
		Saluran BB-B			
		Saluran B5-B			
		Saluran B6-B			
	<b>saluran C</b>				
23	C1-CA	Blok 3	50	767	78.2
24	C2-CA1	Blok 3	50	767	78.2
25	CA-C2'	Blok 3	100	1533	156
26	C-D	saluran CA-C	100	9965	1016
		Saluran B-C	100		
		Saluran A-C	100		
	<b>saluran D</b>				
27	D1-DA	Blok 1	0.5	27	2.7
28	D2-DA1	Blok 1	1.0	54	5.5

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
29	D3-DA2	Blok 1	0.5	27	2.7
30	D4-DA3	Blok 1	0.5	27	2.7
31	DA-D	Blok 1	2.5	134	14
32	D5-DB6	Blok 1	0.5	27	2.7
33	D6-DB5	Blok 1	0.5	27	2.7
34	D7-DB4	Blok 1	0.5	27	2.7
35	D8-DB3	Blok 1	0.3	16	1.6
36	D9-DB2	Blok 1	0.3	16	1.6
37	D10-DB1	Blok 1	0.3	16	1.6
38	D11-DB	Blok 1	0.3	16	1.6
39	DB-D1'	Blok 1	2.7	145	15
40	D12-D2'	Blok 1	1.5	80	8.2
41	D13-D3'	Blok 1	1.5	80	8.2
42	D14-D4'	Blok 1	1.5	80	8.2
43	D15-D5'	Blok 1	1.5	80	8.2
44	D16-D6'	Blok 1	1.0	54	5.5
45	D17-D7'	Blok 1	1.0	54	5.5
46	D18-D8'	Blok 1	1.0	54	5.5
47	D19a-D19"	Blok 2	0.5	27	2.7
48	D19b-D19"	Blok 3	0.5	27	2.7
49	D19c-D19"	Blok 4	0.5	27	2.7
50	D19"-D19	Blok 5	2.0	107	10.9
51	D19'-D19	Blok 6	1.5	80	8.2

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
52	D19-DC	Blok 7	5	268	27
53	D20-DC1	Blok 1	3.0	161	16.4
54	D21-DC2	Blok 1	3.0	161	16.4
55	D22-DC3	Blok 1	3.0	161	16.4
56	D23-DC4	Blok 1	3.0	161	16.4
57	D24-DC5	Blok 1	0.5	27	2.7
58	D25-DC6	Blok 1	0.5	27	2.7
59	D26-DC7	Blok 1	0.5	27	2.7
60	DC-D9'	Blok 1	19	993	101
61	D27-D10'	Blok 1	2.4	129	13.1
62	D28-D11'	Blok 1	2.4	129	13.1
63	D29-D12'	Blok 1	0.5	27	2.7
64	D30-DD	Blok 1	5.0	268	27.4
65	D31-DD1	Blok 1	5.0	268	27.4
66	D32-DD2	Blok 1	5.0	268	27.4
67	D33-DD3	Blok 1	5.0	268	27.4
68	D34-DD4	Blok 1	5.0	268	27.4
69	D35-DD5	Blok 1	4.5	241	24.6
70	D36-DD6	Blok 1	4.5	241	24.6
71	D37-DD7	Blok 1	4.5	241	24.6
72	D38-DD8	Blok 1	3.5	188	19.2
73	D39-DD9	Blok 1	2.5	134	13.7
74	D40-DD10	Blok 1	2.5	134	13.7

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
75	D41-DD11	Blok 1	2.5	134	13.7
76	D42-DD12	Blok 1	2.5	134	13.7
77	D43-DD13	Blok 1	2.5	134	13.7
78	D44-DD14	Blok 1	2.5	134	13.7
79	D45-DD15	Blok 1	2.5	134	13.7
80	D46-DD16	Blok 1	2.5	134	13.7
81	DD-D13'	Blok 1	62.0	3327	339
82	D-IPAL	saluran C-D	100	9965	1016.4
		saluran DA-D	100.000	5365.500	547.281
		saluran DB-D			
		akumulasi D12 - D18			
		saluran DC-D			
		akumulasi D27 - D29			
		saluran DD-D			
Total				15330.0	1563.7



**Tabel 5. 11 Pembebanan Saluran Cluster II**

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
	<b>Saluran A</b>				
1	A1-AA	Blok 1	10	137	13.9
2	A2-AA	Blok 1	7	96	9.7
3	A3-A5	Blok 1	9	123	12.5
4	A4-A5	Blok 1	9	123	12.5
5	A5-AA1	Blok 1	33	450	45.9
6	A6-AA1	Blok 1	9	123	12.5
7	A7-A9	Blok 1	7	96	9.7
8	A8-A9	Blok 1	6	82	8.4
9	A9-AA	Blok 1	23	314	32.0
10	A10-A11	Blok 1	8	109	11.1
11	A11-AA	Blok 1	18	246	25.1
12	AA-AA'	Blok 1	100	1365	139.2
13	AA'-A1'	Blok 1	100	1365	139.2
14	A12-AB	Blok 2	1	82	8.4
15	A13-AB1	Blok 2	3	246	25.1
16	A14-AB2	Blok 2	2	164	16.7
17	A15-AB3	Blok 2	3	246	25.1
18	A16-AB4	Blok 2	3	246	25.1
19	A17-AB5	Blok 2	2.5	205	20.9
20	A18-AB6	Blok 2	2.5	205	20.9
21	A19-AB7	Blok 2	2.5	205	20.9

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
22	A20-AB8	Blok 2	4	328	33.4
23	A21-AB9	Blok 2	4.5	369	37.6
24	A22-AB10	Blok 2	4.5	369	37.6
25	A23-AB11	Blok 2	5	410	41.8
26	AB-A	Blok 2	37.5	3071	313.3
27	A24-A	Blok 2	6	491	50.1
28	A25-AC12	Blok 2	5	410	41.8
29	A26-AC11	Blok 2	0.5	41	4.2
30	A27-AC10	Blok 2	1	82	8.4
31	A28-AC9	Blok 2	1	82	8.4
32	A29-AC8	Blok 2	1	82	8.4
33	A30-A32	Blok 2	2	164	16.7
34	A31-A32	Blok 2	2	164	16.7
35	A32-A33	Blok 2	6	491	50.1
36	A33-AC7	Blok 2	11	901	91.9
37	A34-AC6	Blok 2	5	410	41.8
38	A35-AC5	Blok 2	6	491	50.1
39	A36-AC4	Blok 2	1	82	8.4
40	A37-AC3	Blok 2	6	491	50.1
41	A38-AC2	Blok 2	1	82	8.4
42	A39-AC1	Blok 2	6	491	50.1
43	A40-AC	Blok 2	7	573	58.5
44	AC-A	Blok 2	51.5	4218	430.2

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
45	A41-A1'	Blok 2	5	410	41.8
46	A42-A2'	Blok 3	7	287	29.2
47	A43-A2'	Blok 3	7	287	29.2
48	A-B	saluran AA'-A	100	1365	139.2
		saluran AB-A	100	8190	835.4
		saluran AC-A			
		saluran A41-A			
		saluran A42-A	7	287	29.24
		saluran A43-A	7	287	29.24
		total		10128	1033.1
	<b>saluran B</b>				
49	B1-BA	Blok 3	6.5	266	27.1
50	B2-BA1	Blok 3	6.5	266	27.1
51	B3-BA2	Blok 3	6.5	266	27.1
52	B4-BA3	Blok 3	6.5	266	27.1
53	B5-BA4	Blok 3	6.5	266	27.1
54	B6-BA5	Blok 3	6.5	266	27.1
55	B7-BA6	Blok 3	6.5	266	27.1
56	B8-BA7	Blok 3	6.5	266	27.1
57	BA-B	Blok 3	52	2129	217.2
58	B9-B1'	Blok 3	5	205	20.9
59	B10-B2'	Blok 3	5	205	20.9
60	B11-B3'	Blok 3	5	205	20.9

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
61	B-C	saluran A-B	100	10128	1033.1
		saluran BA-B	67	2744	279.9
		saluran B9-B			
		saluran B10-B			
		saluran B11-B	total		12872
<b>saluran C</b>					
62	C1-CA	Blok 3	3	123	12.5
63	C2-CA1	Blok 3	4	164	16.7
64	C3-CA2	Blok 3	4	164	16.7
65	C4-CA3	Blok 3	4	164	16.7
66	C5-CA4	Blok 3	4	164	16.7
67	CA-C	Blok 3	19	778	79.4
68	C-IPAL	A-C	100	10128	1392.3
		B-C	100	4095	
		CA-C			
		total			13650

**Tabel 5. 12 Pembebanan Saluran Cluster III**

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
	<b>Saluran A</b>				
1	A1-AA	Blok 1	15	192	19.6
2	A2-AA	Blok 1	13	167	17.0
3	A3-AA1	Blok 1	13	167	17.0
4	A4-AA2	Blok 1	12	154	15.7
5	A5-AA3	Blok 1	12	154	15.7
6	A1'-A6	Blok 1	5	64	6.5
7	A2'-A6	Blok 1	7	90	9.2
8	A3'-A6	Blok 1	7	90	9.2
9	A4'-A6	Blok 1	6	77	7.9
10	A6-AA1	Blok 1	25	321	7.9
11	A7-AA	Blok 1	10	128	7.9
12	AA-AB	Blok 1	100	1283	7.9
13	A8-A9	Blok 2	10	428	43.6
14	A9-A10	Blok 2	22	941	96.0
15	A10-AB1	Blok 2	44	1882	192.0
16	A11-AB2	Blok 2	8	342	34.9
17	A12-AB3	Blok 2	8	342	34.9
18	AB-A3'	Blok 2	70	2994	305.4
19	A13-AC	Blok 2	10	428	43.6
20	AC-A1'	Blok 2	30	1283	130.9
21	A14-A	Blok 3	12	359	36.6

No	No Pipa	Blok yang Dilayani	pelayanan	Jumlah Penduduk	Q ave
			%	orang	m <sup>3</sup> /hari
22	A15-AD	Blok 3	9	269	27.5
23	AD-A2'	Blok 3	19	569	58.0
24	A-B	saluran AB-A	100	5561	567.2
		saluran AC-A			
		saluran AD-A	19	569	58.0
		saluran A14-A	12	359	36.6
		Total			6489
<b>Saluran B</b>					
25	B1-BA	Blok 3	6	180	18.3
26	B2-BA1	Blok 3	8	240	24.4
27	B3-BA2	Blok 3	7	210	21.4
28	B4-BA3	Blok 3	7	210	21.4
29	B5-BA4	Blok 3	7	210	21.4
30	B1'-B6	Blok 3	6	180	18.3
31	B2'-B6	Blok 3	6	180	18.3
32	B6-BA3	Blok 3	18	539	55.0
33	B7-BA4	Blok 3	7	210	21.4
34	BA-BB	Blok 3	100	2994	305.4
35	BB-B	Blok 3	100	2994	305.4
36	B-IPAL	saluran A-B	100	6489	661.9
		saluran BB-B	100	2994	305.4
		Total			8555

#### 5.4 Dimensi Pipa Air Limbah

Dimensi pipa air limbah dapat diketahui kebutuhannya setelah menghitung beban tiap saluran karena beban yang besar akan membutuhkan dimensi yang besar. Hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan dimensi pipa adalah kecepatan minimum air limbah  $\geq 6$  m/det, sedangkan batas maksimum kecepatan yang diijinkan adalah 3 m/det. Berikut adalah contoh perhitungan dimensi pipa.

##### Blok 4 Cluster I

Saluran sekunder AA - A:

- Q peak = 0,0021 m<sup>3</sup>/det
- Panjang pipa = 60 m
- Elevasi medan awal = 16.5 m
- Elevasi medan akhir = 16.5 m
- Penanaman pipa awal = 15,7 m
- Penanaman pipa akhir = 15.5 m

$$\text{Slope penanaman} = \frac{\Delta h}{\text{panjang pipa}} = \frac{(15,7-15,5)}{60} = 0,0033$$

Langkah – langkah Perhitungan adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan diameter pipa *shallow sewer* sesuai kriteria
- b. Menghitung nilai Q<sub>full</sub> (m<sup>3</sup>/det)
- c. Menghitung nilai Q<sub>peak</sub>/Q<sub>full</sub>
- d. Menghitung nilai Q<sub>min</sub>/Q<sub>full</sub>
- e. Menghitung V<sub>full</sub> dan V<sub>min</sub> (m/s)
- f. Menghitung V<sub>peak</sub> (m/s)

#### a. Menentukan diameter pipa *shallow sewer*

- Kekasaran pipa (n) direncanakan tidak terlalu kasar karena menggunakan pipa pvc.  
n = 0,013
- Slope penanaman = 0,0033
- Kriteria dimensi pipa *shallow sewer* = 100-200 mm

Berdasarkan kriteria Pipa *shallow sewer*, maka penentuan diameter ditentukan sebagai berikut.

Pipa tersier = 100 mm

Pipa sekunder = 150 mm

Pipa primer = 200 mm

**b. Menghitung nilai  $Q_{full}$  ( $m^3/det$ )**

$$\begin{aligned} Q_{full} &= \frac{0,3117}{n} \times D^{\frac{8}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{0,3117}{0,013} \times 0,100^{\frac{8}{3}} \times 0,0033^{1/2} \\ &= 0,0088 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

**c. Menghitung nilai  $Q_{peak}/Q_{full}$**

$$\begin{aligned} Q_{peak}/Q_{full} &= 0,0021 \text{ m}^3/\text{s} / 0,0088 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

**d. Menghitung nilai  $Q_{min}/Q_{full}$**

$$\frac{Q_{min}}{Q_{full}} = \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0088 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$$

**e. Menghitung  $V_{full}$  dan  $V_{min}$  (m/s)**

Setelah diperoleh nilai  $Q_{min}/Q_{full}$ , melalui grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer*, maka didapatkan nilai  $d_{min}/D = 0,25$  dan  $V_{min}/V_{full} = 0,55$ , sehingga diperoleh nilai  $V_{full}$  :



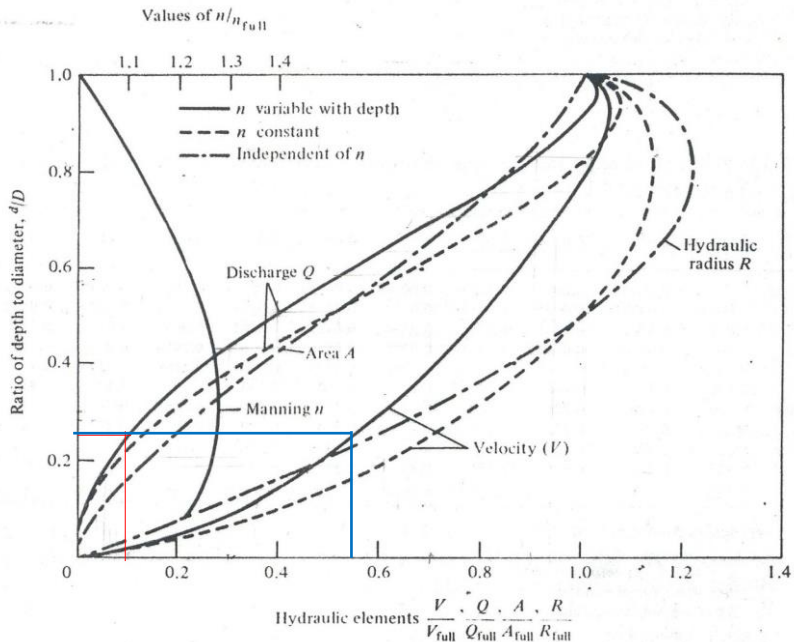


Figure 2-16 Hydraulic elements for circular sewers [10].

Mencari  $V_{full}$  melalui debit yang diperoleh setiap pipa dengan membagi luas permukaan pipa SPAL.

$$V_{full} = \frac{Q_{full}}{A_{full}} = \frac{Q_{full}}{0,25 \pi D^2} = \frac{0,0088 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,15)^2} = 0,5 \text{ m/det}$$

$$V_{min} = \frac{V_{min}}{V_{full}} \times V_{full} = 0,55 \times 0,5 = 0,27 \text{ m/det (tidak memenuhi)}$$

Karena kriteria desain dari pipa SPAL *shallow sewer* pada kecepatan minimum ( $V_{min}$ ) adalah 0,5 m/det, maka dilakukan desain ulang, maka perhitungan dilakukan ulang dengan mencari nilai  $V_{full}$  melalui kriteria  $V_{min}$  pipa *shallow sewer* = 0,5 m/det agar sesuai kriteria desain.

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } V_{full} &= V_{min} / \frac{v_{min}}{v_{full}} \\
 &= 0,5 / 0,55 \\
 &= 0,90 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

#### f. Menghitung nilai Vpeak (m/s)

Vpeak dapat dihitung dengan mengalikan faktor Vpeak/Vfull dengan Vfull, dimana faktor Vpeak/Vfull diambil dari nilai grafik d/D yang mengacu pada nilai Qpeak/Qfull disetiap saluran. Namun karena nilai Qpeak/Qfull berbeda maka diambil angka aman atau angka terbesar yaitu 0,8 sehingga nilai d/D 0,8 maka diperoleh faktor Vpeak/Vfull sebesar 1,1.

$$V_{peak}/V_{full} = 1,1$$

$$V_{peak} = \frac{v_{peak}}{v_{full}} \times V_{full} = 1,1 \times 0,91 = 1,0 \text{ m/det}$$

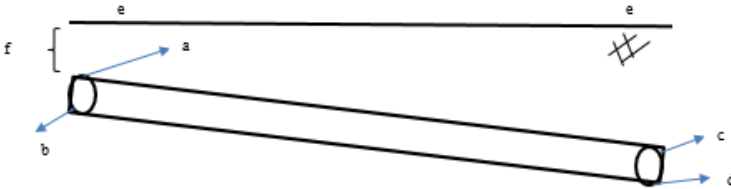
Berdasarkan Petunjuk Operasional dan Perawatan Jaringan Pipa Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Kementerian Pekerjaan Umum, diameter pipa yang menampung aliran buangan dari rumah minimum adalah 100 mm, sedangkan untuk pipa induk air limbah, pada perencanaan ini digunakan pipa dengan diameter 200 dan 250 mm. Pipa yang digunakan pada perencanaan ini adalah pipa PVC. Hasil perhitungan dimensi disajikan pada Tabel di bagian Lampiran 1.

#### 5.5 Penanaman Pipa Air Limbah

Penanaman pipa diusahakan sedapat mungkin pada slope medan dan penanamannya diusahakan sedemikian rupa sehingga pemompaan tidak diperlukan. Pompa digunakan apabila penanaman pipa mencapai 7 m (batas air tanah). Untuk beberapa saluran yang bertemu dalam satu *manhole* dan mempunyai beda ketinggian kurang lebih 1 meter dapat digunakan drop *manhole*. Kedalaman penanaman pipa minimal harus disesuaikan dengan kelas yang dilewati saluran, jenis tanah, lokasi bangunan yang akan menggunakan fasilitas penyaluran air buangan, kekuatan saluran dan diameter saluran. Beberapa pipa yang memiliki slope

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

Blok 1 Cluster I



**Gambar 5. 1 Sketsa penanaman pipa**

Keterangan gambar:

- a = elevasi atas pipa awal
- b = elevasi bawah pipa awal
- c = elevasi atas pipa akhir
- d = elevasi bawah pipa akhir
- e = muka tanah
- f = kedalaman penanaman awal

Berikut adalah contoh perhitungan penanaman pipa pada AA-A Blok 4 pelayanan Cluster I

**Saluran AA-A:**

- Panjang Pipa = 60 m
- Diameter pipa (D) = 150 mm = 0,15 m
- Slope = 0,0083
- Jarak muka tanah dengan pipa = 0,5 - 1 m (desain)
- Headloss (HL) = Panjang pipa x Slope  
= 60 x 0,0033  
= 0,2 m
- Elevasi Tanah : Awal = 16,5 m ; Akhir = 16,5 m
- Elevasi penanaman desain: Awal = 15,7 m ; Akhir = 15,5 m
- Elevasi Bawah Pipa  
Awal = Elevasi penanaman awal – D

- = 15,7 – 0,15  
= 15,55 m
- Akhir = Elevasi Bawah pipa awal – HL  
= 15,55 – 0.2  
= 15,35 m
- Elevasi Atas Pipa
    - Awal = Elevasi bawah pipa awal + D  
= 15,55 + 0,15  
= 15,70 m
    - Akhir = Elevasi bawah pipa akhir + D  
= 15,35 + 0,15  
= 15,50 m
  - Pondasi pasir = 0,1 m
  - Kedalaman Penanaman awal  
= E. tanah awal – E. bawah pipa awal – Pondasi pasir  
= 16,5 – 15,55 – 0,1  
= 0,85 m
  - Kedalaman Penanaman akhir  
= E. tanah akhir – E. bawah pipa akhir – Pondasi pasir  
= 16,5 – 15,35 – 0,1  
= 1,05 m

Berikut adalah hasil perhitungan penanaman pipa pada semua jalur yang disajikan pada Tabel 5.13, 5.14, 5.15.

**Tabel 5. 13 Penanaman Pipa Cluster I**

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
	<b>Saluran A</b>							
1	A1-AA	0.00056	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
2	A2'-A2	0.00038	16.5	16.5	15.90	15.80	16.00	15.90
3	A2-AA1	0.00056	16.5	16.5	15.85	15.55	16.00	15.70

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
4	AA-A	0.00333	16.5	16.5	15.55	15.35	15.70	15.50
5	A3-A	0.00099	16.5	16.5	15.90	15.40	16.00	15.50
6	A4-AB3	0.00060	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
7	A5-AB	0.00160	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
8	A6-AB1	0.00179	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
9	A7-AB2	0.00129	16.5	16.5	15.90	15.70	16.00	15.80
10	AB-A	0.00116	16.5	16.5	15.55	15.35	15.70	15.50
11	A8-A1'	0.00222	16.5	16.5	15.90	15.30	16.00	15.40
12	A9-A1'	0.00260	16.5	16.5	15.90	15.30	16.00	15.40
13	A-C1'	0.00514	16.5	16.5	15.35	14.35	15.50	14.50
	<b>Saluran B</b>							
14	B1-BA1	0.00169	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
15	B2-BA2	0.00113	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
16	BA-B	0.00145	16.5	16.5	15.85	15.35	16.00	15.50
17	B3-BB1	0.00095	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
18	B4-BB	0.00095	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
19	BB-B1'	0.00162	16.8	16.5	15.55	15.35	15.70	15.50
20	B5-B2'	0.00192	16.8	16.5	15.90	15.20	16.00	15.30
21	B6-B3'	0.00412	16.5	16.5	15.90	15.20	16.00	15.30
22	B-C	0.00077	16.8	16.5	15.30	14.80	15.50	15.00
	<b>saluran C</b>							
23	C1-CA	0.00061	16.5	16.2	14.40	14.20	14.50	14.30
24	C2-CA1	0.00056	16.5	16.2	14.40	14.20	14.50	14.30

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
25	CA-C2'	0.00462	16.5	16.2	14.15	13.85	14.30	14.00
26	C-D	0.00178	16.5	16.2	14.80	13.80	15.00	14.00
	<b>saluran D</b>							
27	D1-DA	0.00361	16.5	16.5	15.90	15.40	16.00	15.50
28	D2-DA1	0.00385	16.5	16.5	15.90	15.40	16.00	15.50
29	D3-DA2	0.00305	16.5	16.2	14.60	14.10	14.70	14.20
30	D4-DA3	0.00380	16.5	16.2	14.60	14.10	14.70	14.20
31	DA-D	0.00300	16.5	16.2	15.85	13.85	16.00	14.00
32	D5-DB6	0.00438	16.2	16.2	14.90	14.60	15.00	14.70
33	D6-DB5	0.00458	16.2	16.2	14.90	14.60	15.00	14.70
34	D7-DB4	0.00496	16.2	16.2	14.90	14.60	15.00	14.70
35	D8-DB3	0.00561	16.2	16.2	14.90	14.60	15.00	14.70
36	D9-DB2	0.00619	16.5	16.5	14.90	14.60	15.00	14.70
37	D10-DB1	0.00690	16.5	16.5	14.90	14.60	15.00	14.70
38	D11-DB	0.00759	16.5	16.5	14.90	14.60	15.00	14.70
39	DB-D1'	0.00556	16.5	16.2	15.35	13.85	15.50	14.00
40	D12-D2'	0.00686	16.5	16.2	15.40	13.60	15.50	13.70
41	D13-D3'	0.00700	16.5	16.2	15.40	13.60	15.50	13.70
42	D14-D4'	0.00729	16.5	16.2	15.40	13.60	15.50	13.70
43	D15-D5'	0.00753	16.5	16.2	15.40	13.60	15.50	13.70
44	D16-D6'	0.01402	16.5	16.2	14.90	13.40	15.00	13.50
45	D17-D7'	0.01485	16.5	16.2	14.90	13.40	15.00	13.50
46	D18-D8'	0.01622	16.5	16.2	14.90	13.40	15.00	13.50

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
47	D19a-D19"	0.00312	16.5	16.5	15.90	15.80	16.00	15.90
48	D19b-D19"	0.00274	16.5	16.5	15.90	15.80	16.00	15.90
49	D19c-D19"	0.00211	16.5	16.5	15.90	15.80	16.00	15.90
50	D19'-D19	0.00082	16.5	16.5	15.80	15.70	15.90	15.80
51	D19'-D19	0.00082	16.5	16.5	15.80	15.70	15.90	15.80
52	D19-DC	0.00140	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
53	D20-DC1	0.00134	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
54	D21-DC2	0.00127	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
55	D22-DC3	0.00121	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
56	D23-DC4	0.00117	16.5	16.5	15.90	15.60	16.00	15.70
57	D24-DC5	0.00442	16.5	16.5	15.90	15.40	16.00	15.50
58	D25-DC6	0.00442	16.5	16.5	15.90	15.40	16.00	15.50
59	D26-DC7	0.00442	16.5	16.5	15.90	15.40	16.00	15.50
60	DC-D9'	0.00653	16.5	16.2	15.55	13.35	15.70	13.50
61	D27-D10'	0.00623	16.5	16.2	15.40	13.30	15.50	13.40
62	D28-D11'	0.00623	16.5	16.2	15.40	13.30	15.50	13.40
63	D29-D12'	0.00870	16.2	16.2	13.90	13.20	14.00	13.30
64	D30-DD	0.00065	16.5	16.5	15.90	15.70	16.00	15.80
65	D31-DD1	0.00063	16.5	16.5	15.90	15.70	16.00	15.80
66	D32-DD2	0.00063	16.5	16.5	15.90	15.70	16.00	15.80
67	D33-DD3	0.00062	16.5	16.5	15.90	15.70	16.00	15.80
68	D34-DD4	0.00061	16.5	16.5	15.90	15.70	16.00	15.80
69	D35-DD5	0.00115	16.5	16.2	15.90	15.60	16.00	15.70

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
70	D36-DD6	0.00115	16.5	16.2	15.90	15.60	16.00	15.70
71	D37-DD7	0.00176	16.5	16.2	15.90	15.40	16.00	15.50
72	D38-DD8	0.00647	16.5	16.2	15.90	14.90	16.00	15.00
73	D39-DD9	0.01796	16.5	16.2	15.90	14.40	16.00	14.50
74	D40-DD10	0.01829	16.5	16.2	15.90	14.40	16.00	14.50
75	D41-DD11	0.01948	16.5	16.2	15.90	14.40	16.00	14.50
76	D42-DD12	0.02740	16.5	16.2	15.90	13.90	16.00	14.00
77	D43-DD13	0.03411	16.5	16.2	15.90	13.70	16.00	13.80
78	D44-DD14	0.03846	16.5	16.2	15.90	13.40	16.00	13.50
79	D45-DD15	0.03143	16.2	16.2	15.60	13.40	15.70	13.50
80	D46-DD16	0.03099	16.2	16.2	15.60	13.40	15.70	13.50
81	DD-D13'	0.00443	16.5	15.8	15.85	13.05	16.00	13.20
82	D-IPAL	0.00062	16.2	15.8	12.80	12.50	13.00	12.70



**Tabel 5. 14 Penanaman Pipa *Cluster II***

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
	<b>Saluran A</b>							
1	A1-AA	0.00194	17.1	17.1	16.47	16.00	16.57	16.10
2	A2-AA	0.00401	17.1	17.1	16.47	16.00	16.57	16.10
3	A3-A5	0.00349	17.1	17.1	16.50	16.20	16.60	16.30
4	A4-A5	0.00351	17.1	17.1	16.50	16.20	16.60	16.30
5	A5-AA1	0.00187	17.1	17.1	16.47	16.00	16.57	16.10
6	A6-AA1	0.00381	17.1	17.1	16.47	16.00	16.57	16.10
7	A7-A9	0.00069	17.1	17.1	16.50	16.40	16.60	16.50
8	A8-A9	0.00992	17.1	17.1	16.50	15.90	16.60	16.00
9	A9-AA	0.00263	17.1	17.1	16.40	15.70	16.50	15.80
10	A10-A11	0.00060	17.1	17.1	16.50	16.40	16.60	16.50
11	A11-AA	0.00417	17.1	17.1	16.40	15.90	16.50	16.00
12	AA-AA'	0.00258	17.1	17.1	15.95	15.45	16.10	15.60
13	AA'-A1'	0.00081	17.1	17.1	15.45	14.85	15.60	15.00
14	A12-AB	0.00072	17.1	17.1	16.40	16.30	16.50	16.40
15	A13-AB1	0.00035	17.1	16.8	16.40	16.30	16.50	16.40
16	A14-AB2	0.00108	17.1	16.8	16.40	16.20	16.50	16.30
17	A15-AB3	0.00068	17.1	16.8	16.40	16.20	16.50	16.30
18	A16-AB4	0.00067	17.1	16.8	16.40	16.20	16.50	16.30
19	A17-AB5	0.00193	17.1	16.8	16.40	15.90	16.50	16.00
20	A18-AB6	0.00235	17.1	16.8	16.40	15.80	16.50	15.90

21	A19-AB7	0.00319	17.1	16.8	16.40	15.60	16.50	15.70
22	A20-AB8	0.00203	17.1	16.8	16.40	15.50	16.50	15.60
23	A21-AB9	0.00195	17.1	16.8	16.40	15.50	16.50	15.60
24	A22-AB10	0.00208	17.1	16.8	16.40	15.40	16.50	15.50
25	A23-AB11	0.00200	17.1	16.8	16.40	15.40	16.50	15.50
26	AB-A	0.00245	17.1	16.8	16.35	15.35	16.50	15.50
27	A24-A	0.00198	17.1	16.8	16.40	15.40	16.50	15.50
28	A25-AC12	0.00209	17.1	16.8	16.50	15.40	16.60	15.50
29	A26-AC11	0.01152	17.1	16.8	16.50	15.40	16.60	15.50
30	A27-AC10	0.01105	17.1	16.8	16.50	15.50	16.60	15.60
31	A28-AC9	0.01105	17.1	16.8	16.50	15.50	16.60	15.60
32	A29-AC8	0.00994	17.1	16.8	16.50	15.60	16.60	15.70
33	A30-A32	0.00138	17.1	16.8	16.50	16.20	16.60	16.30
34	A31-A32	0.00128	17.1	16.8	16.50	16.20	16.60	16.30
35	A32-A33	0.00480	17.1	16.8	16.50	15.90	16.60	16.00
36	A33-AC7	0.00118	17.1	16.8	16.50	15.80	16.60	15.90
37	A34-AC6	0.00107	17.1	16.8	16.50	15.90	16.60	16.00
38	A35-AC5	0.00080	17.1	16.8	16.50	16.00	16.60	16.10
39	A36-AC4	0.00552	17.1	16.8	16.50	16.00	16.60	16.10
40	A37-AC3	0.00061	17.1	16.8	16.50	16.10	16.60	16.20
41	A38-AC2	0.00442	17.1	16.8	16.50	16.10	16.60	16.20
42	A39-AC1	0.00045	17.1	16.8	16.50	16.20	16.60	16.30
43	A40-AC	0.00044	17.1	16.8	16.50	16.20	16.60	16.30
44	AC-A	0.00199	16.8	16.8	16.15	15.35	16.30	15.50
45	A41-A1'	0.00375	16.8	16.8	16.20	14.70	16.30	14.80
46	A42-A2'	0.00450	16.8	16.8	16.20	14.40	16.30	14.50

47	A43-A2'	0.00642	16.8	16.8	16.20	14.40	16.30	14.50
48	A-B	0.00331	16.8	16.8	14.80	13.90	15.00	14.10
	<b>Saluran B</b>							
49	B1-BA	0.00068	16.8	16.8	16.30	16.20	16.40	16.30
50	B2-BA1	0.00200	16.8	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
51	B3-BA2	0.00333	16.8	16.8	16.20	15.70	16.30	15.80
52	B4-BA3	0.00400	16.8	16.8	16.20	15.60	16.30	15.70
53	B5-BA4	0.00533	16.8	16.8	16.20	15.40	16.30	15.50
54	B6-BA5	0.00667	16.8	16.8	16.20	15.20	16.30	15.30
55	B7-BA6	0.00733	16.8	16.8	16.20	15.10	16.30	15.20
56	B8-BA7	0.00800	16.8	16.8	16.20	15.00	16.30	15.10
57	BA-B	0.00443	16.8	16.8	16.20	14.90	16.35	15.05
58	B9-B1'	0.00857	16.8	16.8	14.85	13.65	14.95	13.75
59	B10-B2'	0.00952	16.8	16.8	14.90	13.60	15.00	13.70
60	B11-B3'	0.01077	16.8	16.8	14.90	13.50	15.00	13.60
61	B-C	0.00284	16.8	16.8	13.90	13.40	14.10	13.60
	<b>Saluran C</b>							
62	C1-CA	0.00592	16.8	16.8	15.00	14.50	15.10	14.60
63	C2-CA1	0.00753	16.8	16.8	15.00	14.30	15.10	14.40
64	C3-CA2	0.00971	16.8	16.8	14.90	13.90	15.00	14.00
65	C4-CA3	0.00973	16.8	16.8	14.90	13.80	15.00	13.90
66	C5-CA4	0.01066	16.8	16.8	14.90	13.60	15.00	13.70
67	CA-C	0.00636	16.8	16.8	14.90	13.50	15.05	13.65
68	C-IPAL	0.00429	16.8	16.2	12.70	12.40	12.90	12.60

**Tabel 5. 15 Penanaman Pipa Cluster III**

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
	<b>Saluran A</b>							
1	A1-AA	0.00274	17.1	17.1	16.50	15.60	16.60	15.70
2	A2-AA	0.00098	17.1	17.1	16.50	16.40	16.60	16.50
3	A3-AA1	0.00455	17.1	17.1	16.50	16.00	16.60	16.10
4	A4-AA2	0.00532	17.1	17.1	16.50	16.00	16.60	16.10
5	A5-AA3	0.00556	17.1	17.1	16.50	16.00	16.60	16.10
6	A1'-A6	0.00100	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
7	A2'-A6	0.00100	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
8	A3'-A6	0.00100	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
9	A4'-A6	0.00100	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
10	A6-AA1	0.00135	16.8	16.8	16.20	16.00	16.30	16.10
11	A7-AA	0.00248	16.8	16.8	16.20	16.00	16.30	16.10
12	AA-AB	0.00220	17.1	16.8	16.45	15.85	16.60	16.00
13	A8-A9	0.00085	16.8	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
14	A9-A10	0.00267	16.8	16.8	16.20	15.80	16.30	15.90
15	A10-AB1	0.00091	16.8	16.8	16.15	15.65	16.30	15.80
16	A11-AB2	0.00253	16.8	16.5	16.20	15.60	16.30	15.70
17	A12-AB3	0.00340	16.8	16.5	16.20	15.50	16.30	15.60
18	AB-A3'	0.00074	17.1	16.5	15.80	15.30	16.00	15.50
19	A13-AC	0.00058	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
20	AC-A1'	0.00085	16.8	16.8	16.15	15.85	16.30	16.00

No	No Pipa	Slope penanaman	Elevasi Medan		Elevasi bawah pipa (m)		Elevasi atas pipa (m)	
			Awal	Akhir	awal	akhir	awal	akhir
21	A14-A	0.00220	17.4	17.1	16.80	16.40	16.90	16.50
22	A15-AD	0.00174	17.4	17.1	16.80	16.40	16.90	16.50
23	AD-A2'	0.00421	17.1	16.8	16.45	15.65	16.60	15.80
24	A-B	0.00415	17.1	16.5	16.40	14.90	16.60	15.10
	<b>Saluran B</b>							
25	B1-BA	0.00093	17.1	16.8	16.30	16.20	16.40	16.30
26	B2-BA	0.00196	17.1	16.8	16.20	16.00	16.30	16.10
27	B3-BA	0.00316	17.1	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
28	B4-BA	0.00351	17.1	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
29	B5-BA	0.00392	17.1	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
30	B1'-B6	0.00100	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
31	B2'-B6	0.00100	16.8	16.8	16.20	16.10	16.30	16.20
32	B6-BA	0.00400	16.8	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
33	B7-BA	0.00462	16.8	16.8	16.20	15.90	16.30	16.00
34	BA-BB	0.00322	16.8	16.8	16.20	15.70	16.35	15.85
35	BB-B	0.01333	16.8	16.8	15.65	14.85	15.80	15.00
36	B-IPAL	0.02500	16.5	16.5	14.85	13.85	15.05	14.05

## 5.6 Bangunan Pelengkap

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

### 5.6.1 *Manhole*

Bangunan pelengkap *manhole* berguna sebagai jalan masuknya petugas pengontrol saluran. Pada perencanaan ini, *manhole* diletakkan pada setiap jarak 100 m dengan ukuran *manhole* yang bervariasi, tergantung pada diameter pipanya. Jarak antar *manhole* dapat dilihat pada Tabel 2.1 bagian Bab II. *Manhole* dindingnya terbuat dari beton bertulang yang sudah dibuat di pabrik dengan ketebalan dinding 15 cm dan lubang tutupnya berdiameter 70 cm. Untuk perencanaan ini ada 5 jenis *manhole* yang digunakan yaitu:

- a. *Manhole* lurus
- b. *Manhole* belok
- c. *Manhole* pertigaan
- d. *Manhole* perempatan
- e. *Drop manhole*

Berikut merupakan jenis dan jumlah *manhole* pada semua *cluster* yang disajikan pada Tabel 5.16.

**Tabel 5. 16 Jenis dan Jumlah *Manhole* pada Seluruh *Cluster***

No.	Jenis <i>Manhole</i>	<i>cluster</i> I	<i>cluster</i> II	<i>cluster</i> III
		buah	buah	buah
1	Lurus	163	169	58
2	Belokan	22	5	13
3	Pertigaan	56	43	18
4	Perempatan	2	7	4
5	Drop	1	1	1
Total		244	225	94

Pada *manhole* lurus tidak selalu ada disetiap 100 m, namun dalam keadaan lapangan terdapat *manhole* belokan dan pertigaan sehingga jaraknya terlalu dekat, maka *manhole* lurus hanya dipasang beberapa.

### 5.6.2 Bak kontrol

Jumlah bak kontrol yang dipasang sama dengan jumlah KK atau rumah terlayani yaitu *cluster* I 3.066 buah, *cluster* II sebanyak 2.730 buah dan *cluster* III 1.711 buah. Berikut merupakan desain dan perhitungan bak kontrol.

- $t_d$  = 30 menit
- Kedalaman = 0,3 m
- Q rata-rata = 102 L/KK.hari x 5 orang  
= 510 L/KK.hari
- Faktor peak = 2
- Q peak = 510 L/KK.hari x 2  
= 1.020 L/KK.hari  
= 0,042 m<sup>3</sup>/KK.jam

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Volume Bak kontrol} &= Q_{\text{peak}} \times T_d \\ &= 0,042 \text{ m}^3/\text{KK.jam} \times 0,5 \text{ jam} \\ &= 0,021 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asurface Bak kontrol} &= \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{0,021 \text{ m}^3}{0,3 \text{ m}} \\ &= 0,07 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang Bak kontrol} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Bak kontrol} = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Bak kontrol} &= P \times L \times H \\ &= 0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\ &= 0,027 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 5.7 Removal Ammonia (NH<sub>3</sub>) di SPAL

Untuk mengurangi kadar ammonia dalam suatu air limbah, diperlukan sebuah kondisi dimana yang memungkinkan terjadinya oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat melalui proses denitrifikasi. Pada perencanaan ini menggunakan jaringan pipa penyaluran air limbah sehingga kadar ammonia dapat terdegradasi pada pipa air limbah disebabkan terjadi perjalanan air sebelum masuk dalam unit-unit IPAL, hal ini terjadi disebabkan kandungan

ammonia dalam air limbah teroksidasi dalam perjalanan yang cukup panjang. Selain itu sebab lainnya adalah adanya banyak terjunan pada bangunan pelengkap *manhole* yang membuat turbulensi sehingga kadar oksigen bertambah sehingga ammonia terlepas menjadi gas.

Denitrifikasi dapat terjadi juga pada bagian kompartemen yang bersekat-sekat pada unit ABR dengan tingkat efisiensi yang tidak terlalu besar. Denitrifikasi pada kompartemen ABR dapat terjadi diantaranya karena pH yang meningkat pada saluran inlet reaktor ABR sehingga dapat memperbaiki kondisi lingkungan, lalu kebutuhan hidrogen yang tinggi selama terjadi reduksi nitrat sehingga dapat memperbaiki kondisi bakteri.

Penyisihan Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) di SPAL;

- Konsentrasi Amonia awal = 48,57 mg/L,
- Efisiensi SPAL = 80 %
- Konsentrasi amonia  
=  $(100 - 80) \% \times 48,57 \text{ mg/L}$   
= 9,7 mg/L



## BAB 6

### PERENCANAAN INSTALASI PENYALURAN AIR LIMBAH (SPAL)

#### 6.1 Debit Air Limbah di IPAL

Faktor peak untuk IPAL memiliki perbedaan dengan perhitungan faktor peak SPAL dimana untuk sistem penyaluran digunakan faktor jumlah penduduk yang dilayani sehingga memiliki faktor peak bervariasi setiap salurannya, sedangkan untuk IPAL memiliki kriteria sendiri yang dilihat dari aspek pelayanan cakupan wilayah yaitu minimum (1,3 -1,75), maka dalam perencanaan ini faktor peak yang digunakan adalah 1,5. Contoh perhitungan hasil perhitungan debit *cluster* I

$$Q \text{ rata-rata} = 1.564 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q \text{ peak} = 1.564 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5 \\ = 2.345 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q \text{ minimum} = \frac{1}{5} \times \left( \frac{\text{Jumlah Penduduk}}{1000} \right)^{0,2} \times Q \text{ rata-rata} \\ = \frac{1}{5} \times \left( \frac{15.330}{1000} \right)^{0,2} \times 1.564 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 539,9 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Berikut merupakan debit semua *cluster* yang disajikan pada Tabel 6.1.

**Tabel 6. 1 Debit Air Limbah untuk IPAL**

Cluster	Jumlah Penduduk (orang)	Q ave	Qpeak	Qmin
		m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /hari
1	15330	1564	2345	539.9
2	13650	1392	2088	469.7
3	8555	873	1309	268.1

#### 6.2 Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul berfungsi sebagai bak penampung sementara air sebelum dipompa menuju bangunan selanjutnya. Penggunaan sumur pengumpul pada primary treatment ditujukan

untuk beberapa hal yaitu, menampung air buangan dari saluran pembawa atau sewer yang kedalamannya di bawah permukaan instalasi pengolahan sebelum air dipompa ke atas. Sumur pengumpul dapat menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air buangan yang akan masuk ke bangunan pengolah air, sehingga tidak terjadi *shock loading* saat pengolahan karena sumur pengumpul hanya sebagai bak penampung sementara, maka waktu detensi (td) < 10 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur. Dalam membuat desain sumur pengumpul, beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu dimensi pipa sewer yang masuk ke sumur pengumpul dan dimensi pompa yang digunakan.

### 6.2.1 Dimensi Sumur pengumpul

Sumur pengumpul direncanakan sebagai berikut:

- td = 3,5 menit
- Kedalaman sumur = 2 m
- Freeoard = 0,3 m
- Tebal dinding = 0,2 m

#### Cluster I

Perhitungan:

$$Q_{\text{peak}} = 2.345 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 1,6 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$Q_{\text{minimum}} = 539,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 0,4 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Volume sumur} = Q_{\text{peak}} \times \text{td} \\ = 1,6 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit} \\ = 6 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{surface Sumur}} = \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{6 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} = 3 \text{ m}^2$$

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

$$\text{lebar sumur} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Volume sumur} = p \times l \times h \\ = 2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ = 6 \text{ m}^3$$

$$\text{Cek td} = \frac{\text{volume}}{\text{debit peak}} = \frac{6 \text{ m}^3}{1,2 \text{ m}^3/\text{detik}} = 5 \text{ menit (OK)}$$

Ketinggian muka air sumur pengumpul

$$H \text{ air saat } Q_{\text{peak}} = \frac{Q_{\text{peak}} \times T_d}{A_s} = \frac{1,6 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit}}{3 \text{ m}^2} = 2 \text{ m}$$

$$H \text{ air saat } Q_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{min}} \times T_d}{A_s} = \frac{0,4 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit}}{3 \text{ m}^2} = 0,5 \text{ m}$$

### Cluster II

Perhitungan:

$$Q_{\text{peak}} = 2.088 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 1,45 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$Q_{\text{minimum}} = 469,7 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 0,3 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Volume sumur} = Q_{\text{peak}} \times t_d \\ = 1,45 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit} \\ = 5,3 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{surface Sumur}} = \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{5,3 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} = 2,65 \text{ m}^2$$

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

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

$$\text{Volume sumur} = p \times l \times h \\ = 2 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ = 5,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Cek } t_d = \frac{\text{volume}}{\text{debit peak}} = \frac{5,4 \text{ m}^3}{1,45 \text{ m}^3/\text{detik}} = 3,5 \text{ menit (OK)}$$

Ketinggian muka air sumur pengumpul

$$H \text{ air saat } Q_{\text{peak}} = \frac{Q_{\text{peak}} \times T_d}{A_s} = \frac{1,45 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit}}{3 \text{ m}^2} = 2 \text{ m}$$

$$H \text{ air saat } Q_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{min}} \times T_d}{A_s} = \frac{0,3 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit}}{2,65 \text{ m}^2} = 0,5 \text{ m}$$

### Cluster III

Perhitungan:

$$Q_{\text{peak}} = 1.309 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 0,9 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$Q_{\text{minimum}} = 268,1 \text{ m}^3/\text{hari} \\ = 0,2 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Volume sumur} = Q_{\text{peak}} \times t_d \\ = 0,9 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3,5 \text{ menit} \\ = 3 \text{ m}^3$$

$$Asurface\ Sumur = \frac{Volume\ sumur}{Kedalaman\ sumur} = \frac{3m^3}{2\ m} = 1,5\ m^2$$

$$Panjang\ Sumur = 1,5\ m$$

$$lebar\ sumur = 1\ m$$

$$\begin{aligned} Volume\ sumur &= p \times l \times h \\ &= 1,5\ m \times 1\ m \times 2\ m \\ &= 3\ m^3 \end{aligned}$$

$$Cek\ td = \frac{volume}{debit\ peak} = \frac{3\ m^3}{0,9\ m^3/detik} = 3,5\ \text{menit (OK)}$$

Ketinggian muka air sumur pengumpul

$$H\ air\ saat\ Qpeak = \frac{Qpeak \times Td}{As} = \frac{0,9\ \frac{m^3}{menit} \times 3,5\ \text{menit}}{3\ m^2} = 2\ m$$

$$H\ air\ saat\ Qmin = \frac{Qmin \times Td}{As} = \frac{0,2\ m^3/menit \times 3,5\ \text{menit}}{1,5\ m^2} = 0,5\ m$$

### 6.2.2 Pompa Sumur Pengumpul

Air buangan yang dialirkan ke dalam sumur pengumpul dinaiKkan menuju bangunan *Distribution Box* dengan menggunakan pompa. Jenis pompa yang dapat digunakan adalah pompa yang tidak akan tersumbat oleh partikel besar dari air buangan atau oleh kepekatan lumpur.

Dalam perencanaan ini digunakan adalah pompa *submersible* (terendam air) sebanyak 2 buah untuk *Cluster* 1 dan 2 sedangkan untuk *Cluster* 3 hanya 1 pompa. Pada saat *Qpeak* digunakan 2 buah pompa, namun pada saat *Qmin* hanya akan digunakan 1 buah pompa.

#### Cluster I

Direncanakan:

- *V* asumsi = 1 m/s
- *Q* peak = 2.345 m<sup>3</sup>/hari  
= 1,6 m<sup>3</sup>/menit  
= 0,02 m<sup>3</sup>/detik
- *Static Head* = dari muka air sumur ke muka air bak distribusi  
= 3,9 m
- Panjang *discharge* (L) = jarak tertinggi pipa menyembur  
= 5,4 m

### Mayor Losses

Mencari luas penampang pipa (A) dari kecepatan rencana pengaliran air limbah pada pipa yaitu 1 m/s.

$$A \text{ pipa} = \frac{Q_{peak}}{v} = \frac{0,02 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/s}} = 0,02 \text{ m}^2$$

Maka, diameter *discharge* pada pompa;

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,02}{3,14}} = 0,15 \text{ m}$$

Mengecek luas penampang pipa dan kecepatan aliran air dalam pompa apakah sudah sesuai;

$$\begin{aligned} A \text{ pipa cek} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,15\text{m})^2 \\ &= 0,017\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$v \text{ cek} = \frac{Q}{A \text{ cek}} = \frac{0,02}{0,017} = 1,1 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} H_f \text{ discharge} &= \left( \frac{Q}{0,2785 \times C \times (D^2)} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left( \frac{0,02}{0,2785 \times 120 \times (0,15^2)} \right)^{1,85} \times 5,4 \\ &= 0,0069 \text{ m} \end{aligned}$$

### Minor Losses

$$H_f \text{ belokan} = k \frac{v^2}{2g} = \left[ 0,25 \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \right] = 0,012 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_f \text{ sistem} &= H_f \text{ discharge} + H_f \text{ belokan} \\ &= 0,0069 + 0,012 \\ &= 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$

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

### Headloss Total Pompa

$$\begin{aligned} \text{Head total} &= H_f \text{ discharge} + H_f \text{ belokan} + H \text{ static} + H \text{ kecepatan} \\ &= 0,0069 + 0,012 + 3,9 + 0,05 \end{aligned}$$

$$= 3,96 \text{ m}$$

Daya pompa dengan efisiensi 75 %;

$$\text{Power pompa} = \frac{\gamma \times H_{tot} \times Q}{\eta} = \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 3,96 \text{ m} \times 0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{0,75 \text{ kW.kN m/s}} = 1,03 \text{ kW}$$

### Cluster II

Direncanakan:

- V asumsi = 1 m/s
- Q peak = 2.088 m<sup>3</sup>/hari  
= 0,02 m<sup>3</sup>/detik
- *Static Head* = dari muka air sumur ke muka air bak distribusi = 4,2 m
- Panjang *discharge* (L) = jarak tertinggi pipa menyembur = 5,7 m

### Mayor Losses

Mencari luas penampang pipa (A) dari kecepatan rencana pengaliran air limbah pada pipa yaitu 1 m/s.

$$A \text{ pipa} = \frac{Q \text{ peak}}{V} = \frac{0,02 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/s}} = 0,02 \text{ m}^2$$

Maka, diameter *discharge* pada pompa;

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,02}{3,14}} = 0,15 \text{ m}$$

Mengecek luas penampang pipa dan kecepatan aliran air dalam pompa apakah sudah sesuai;

$$\begin{aligned} A \text{ pipa cek} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,15\text{m})^2 \\ &= 0,017 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$v \text{ cek} = \frac{Q}{A \text{ cek}} = \frac{0,02}{0,017} = 1,1 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Hf discharge} &= \left( \frac{Q}{0,2785 \times C \times (D^2)} \right)^{1,85} \times L \\
 &= \left( \frac{0,02}{0,2785 \times 120 \times (0,15^2)} \right)^{1,85} \times 5,7 \\
 &= 0,0073 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Minor Losses

$$\begin{aligned}
 \text{Hf belokan} &= k \frac{V^2}{2g} = \left[ 0,25 \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \right] \\
 &= 0,012 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

Headloss Total Pompa

$$\begin{aligned}
 \text{Head total} &= \text{Hf discharge} + \text{Hf belokan} + \text{H static} + \text{H kecepatan} \\
 &= 0,0073 + 0,012 + 4,2 + 0,05 \\
 &= 4,26 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Daya pompa dengan efisiensi 75 %;

$$\text{Power pompa} = \frac{\gamma \times H_{tot} \times Q}{\eta} = \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 4,26 \text{ m} \times 0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{0,75 \text{ kW.kN m/s}} = 0,94 \text{ kW}$$

Cluster III

Direncanakan:

- V asumsi = 1 m/s
- Q peak = 1.309 m<sup>3</sup>/hari  
= 0,015 m<sup>3</sup>/detik
- *Static Head* air bak distribusi = dari muka air sumur ke muka  
= 3,1 m
- Panjang *discharge* (L) = jarak tertinggi pipa  
menyembur = 4,5 m

Mayor Losses

Mencari luas penampang pipa (A) dari kecepatan rencana pengaliran air limbah pada pipa yaitu 1 m/s.

$$A \text{ pipa} = \frac{Q_{\text{peak}}}{v} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/s}} = 0,015 \text{ m}^2$$

Maka, diameter *discharge* pada pompa;

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,015}{3,14}} = 0,13 \text{ m}$$

Mengecek luas penampang pipa dan kecepatan aliran air dalam pompa apakah sudah sesuai;

$$\begin{aligned} A \text{ pipa cek} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,13\text{m})^2 \\ &= 0,015 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$v \text{ cek} = \frac{Q}{A_{\text{cek}}} = \frac{0,015}{0,015} = 1 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} H_f \text{ discharge} &= \left( \frac{Q}{0,2785 \times C \times (D^2)} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left( \frac{0,015}{0,2785 \times 120 \times (0,13^2)} \right)^{1,85} \times 4,5 \\ &= 0,0057 \text{ m} \end{aligned}$$

### Minor Losses

$$H_f \text{ belokan} = k \frac{v^2}{2g} = \left[ 0,25 \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \right] = 0,012 \text{ m}$$

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

### Headloss Total Pompa

$$\begin{aligned} \text{Head total} &= H_f \text{ discharge} + H_f \text{ belokan} + H \text{ static} + H \text{ kecepatan} \\ &= 0,0057 + 0,012 + 3,1 + 0,05 \\ &= 3,16 \text{ m} \end{aligned}$$

Daya pompa dengan efisiensi 75 %;

$$\text{Power pompa} = \frac{\rho \times H_{\text{tot}} \times Q}{\eta} = \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 3,16 \text{ m} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,75 \text{ kW.kN m/s}} = 0,45 \text{ kW}$$

### Jenis Pompa

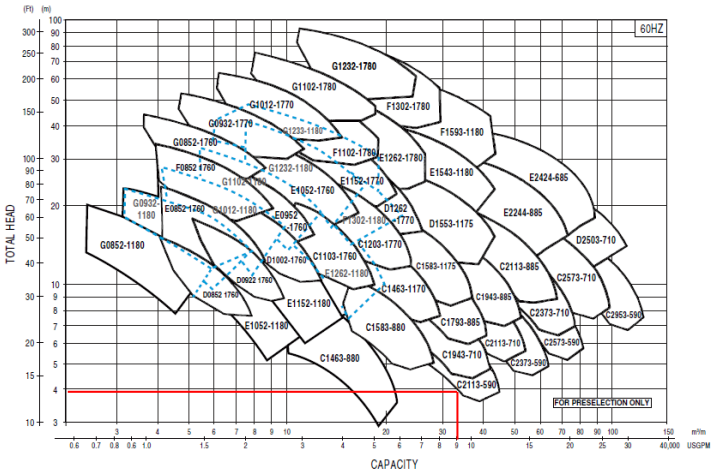


Kemudian ketiga pompa diplot pada grafik hubungan antara total head dan debit;

- *Cluster I*;  
total Head = 3,96 m  
Q = 1,2 m<sup>3</sup>/menit
  
- *Cluster II*;  
total Head = 4,26 m  
Q = 1,07 m<sup>3</sup>/menit:
  
- *Cluster III*;  
total Head = 3,16 m  
Q = 0,69 m<sup>3</sup>/menit:

Dari ketiga hasil yang diperoleh bahwa total head berada pada kisaran 3 – 4 sehingga dapat menggunakan jenis pompa yang sama. Dalam grafik dibawah ini tidak diperoleh debit yang sesuai karena terlalu kecil sehingga diambil langkah memilih berdasarkan total head, maka ditemukan 2 pilihan pompa yang dapat digunakan yaitu pompa *submersible* spesifikasi C1463-880 dan C2113-590. Maka dalam perencanaan ini diambil pompa dengan spesifikasi C2113-590 karena bentuknya yang minimalis sehingga cocok untuk berada dalam sumur pengumpul.

## Selection chart



Gambar 6. 1 Grafik hubungan total head dan kapasitas pompa

(Sumber: [www.ebara.com](http://www.ebara.com))

Diperoleh jenis pompa C2113-590 untuk sumur pengumpul. Berikut adalah tabel spesifikasi pompa C2113-590:

Tabel 6. 2 Spesifikasi Pompa C2113-590

Dimensions: inch

W1: pump weight

W2: QDC weight

Model (Pole)	HP	Pump & Motor																	Weight (Lbs)††				
		d	A	B1	B2	C	E	F	G	H	I	M	N	P	Q	V	W	X	Y	Z	q	W1	W2
C2113-590 (12 Poles)	50	20	82 <sup>3/4</sup>	30 <sup>1/2</sup>	24 <sup>3/4</sup>	51 <sup>1/4</sup>	19 <sup>1/4</sup>	5 <sup>1/2</sup>	4	19 <sup>1/4</sup>	39 <sup>1/4</sup>	42 <sup>3/4</sup>	28 <sup>1/4</sup>	103 <sup>1/4</sup>	18 <sup>1/4</sup>	17 <sup>1/4</sup>	0	33 <sup>1/4</sup>	25 <sup>1/4</sup>	7 <sup>1/4</sup>	1 <sup>1/4</sup>	6305	1433
	60	20	82 <sup>3/4</sup>	30 <sup>1/2</sup>	24 <sup>3/4</sup>	51 <sup>1/4</sup>	19 <sup>1/4</sup>	5 <sup>1/2</sup>	4	19 <sup>1/4</sup>	39 <sup>1/4</sup>	42 <sup>3/4</sup>	28 <sup>1/4</sup>	103 <sup>1/4</sup>	18 <sup>1/4</sup>	17 <sup>1/4</sup>	0	33 <sup>1/4</sup>	25 <sup>1/4</sup>	7 <sup>1/4</sup>	1 <sup>1/4</sup>	6305	1433
	75	20	82 <sup>3/4</sup>	30 <sup>1/2</sup>	24 <sup>3/4</sup>	51 <sup>1/4</sup>	19 <sup>1/4</sup>	5 <sup>1/2</sup>	4	19 <sup>1/4</sup>	39 <sup>1/4</sup>	42 <sup>3/4</sup>	28 <sup>1/4</sup>	116 <sup>1/4</sup>	18 <sup>1/4</sup>	17 <sup>1/4</sup>	0	33 <sup>1/4</sup>	25 <sup>1/4</sup>	7 <sup>1/4</sup>	1 <sup>1/4</sup>	7540	1433
C2113-710 (10 Poles)	75	20	82 <sup>3/4</sup>	30 <sup>1/2</sup>	24 <sup>3/4</sup>	51 <sup>1/4</sup>	19 <sup>1/4</sup>	5 <sup>1/2</sup>	4	19 <sup>1/4</sup>	39 <sup>1/4</sup>	42 <sup>3/4</sup>	28 <sup>1/4</sup>	103 <sup>1/4</sup>	18 <sup>1/4</sup>	17 <sup>1/4</sup>	0	33 <sup>1/4</sup>	25 <sup>1/4</sup>	7 <sup>1/4</sup>	1 <sup>1/4</sup>	6151	1433
	100	20	82 <sup>3/4</sup>	30 <sup>1/2</sup>	24 <sup>3/4</sup>	51 <sup>1/4</sup>	19 <sup>1/4</sup>	5 <sup>1/2</sup>	4	19 <sup>1/4</sup>	39 <sup>1/4</sup>	42 <sup>3/4</sup>	28 <sup>1/4</sup>	116 <sup>1/4</sup>	18 <sup>1/4</sup>	17 <sup>1/4</sup>	0	33 <sup>1/4</sup>	25 <sup>1/4</sup>	7 <sup>1/4</sup>	1 <sup>1/4</sup>	7474	1433
	120	20	82 <sup>3/4</sup>	30 <sup>1/2</sup>	24 <sup>3/4</sup>	51 <sup>1/4</sup>	19 <sup>1/4</sup>	5 <sup>1/2</sup>	4	19 <sup>1/4</sup>	39 <sup>1/4</sup>	42 <sup>3/4</sup>	28 <sup>1/4</sup>	116 <sup>1/4</sup>	18 <sup>1/4</sup>	17 <sup>1/4</sup>	0	33 <sup>1/4</sup>	25 <sup>1/4</sup>	7 <sup>1/4</sup>	1 <sup>1/4</sup>	7606	1433

Dimensions: mm

Model (Pole)	KW	Pump & Motor																	Weight (kg)††				
		d	A	B1	B2	C	E	F	G	H	I	M	N	P	Q	V	W	X	Y	Z	q	W1	W2
C2113-590 (12 Poles)	37	500	2100	770	630	1305	490	140	100	500	1000	1090	730	2620	470	450	0	850	650	200	24	2860	650
	45	500	2100	770	630	1305	490	140	100	500	1000	1090	730	2620	470	450	0	850	650	200	24	2860	650
	55	500	2100	770	630	1305	490	140	100	500	1000	1090	730	2960	470	450	0	850	650	200	24	3420	650
C2113-710 (10 Poles)	55	500	2100	770	630	1305	490	140	100	500	1000	1090	730	2620	470	450	0	850	650	200	24	2790	650
	75	500	2100	770	630	1305	490	140	100	500	1000	1090	730	2960	470	450	0	850	650	200	24	3390	650
	90	500	2100	770	630	1305	490	140	100	500	1000	1090	730	2960	470	450	0	850	650	200	24	3450	650

Sumber: [www.ebara.com](http://www.ebara.com)

### 6.3 Distribution Box

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

Dalam mendesain bak distribusi, hal yang harus diperhatikan juga yaitu dimensi yang didesain tidak terlalu besar agar tidak terjadi pengendapan sedimen dan tidak menggunakan pompa pada zona outlet untuk efisiensi. Waktu detensi bak distribusi ( $t_d$ ) < 3 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur. Pada perencanaan ini, bak distribusi digunakan pada ketiga *Cluster* IPAL karena disetiap *Cluster* memiliki lebih dari satu bangunan ABR. Berikut ini merupakan perhitungan dari bak distribusi pada setiap *Cluster*.

Bak distribusi direncanakan sebagai berikut;

- Tebal dinding = 20 cm
- $t_d$  = 0,75 menit
- Freeboard = 30 cm

#### Cluster I

Perhitungan;

$$Q_{\text{peak}} = 2.345 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,6 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Volume bak} = Q_{\text{peak}} \times T_d$$

$$= 1,6 \text{ m}^3/\text{menit} \times 0,75 \text{ menit}$$

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

Direncanakan kedalam bak distribusi = 1,2 m

$$A_{\text{surface}} \text{ bak} = \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{1,2 \text{ m}^3}{1,2 \text{ m}} = 1 \text{ m}^2$$

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

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

$$\text{Volume bak} = p \times l \times h$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \\
 &= 1,2 \text{ m}^3 \\
 \text{Cek td} &= \frac{\text{volume}}{\text{debit peak}} = \frac{1,2 \text{ m}^3}{1,6 \text{ m}^3/\text{detik}} = 0,75 \text{ menit (OK)}
 \end{aligned}$$

### **Cluster II**

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Qpeak} &= 2.088 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 1,45 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 \text{Volume bak} &= \text{Q}_{\text{peak}} \times \text{Td} \\
 &= 1,45 \text{ m}^3/\text{menit} \times 0,75 \text{ menit} \\
 &= 1,1 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan kedalam bak distribusi = 1,1 m

$$\text{Asurface bak} = \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{1,1 \text{ m}^3}{1,1 \text{ m}} = 1 \text{ m}^2$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= p \times l \times h \\
 &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \\
 &= 1,1 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek td} = \frac{\text{volume}}{\text{debit peak}} = \frac{1,1 \text{ m}^3}{1,45 \text{ m}^3/\text{detik}} = 0,75 \text{ menit (OK)}$$

### **Cluster III**

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Qpeak} &= 1.309 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,9 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 \text{Volume bak} &= \text{Q}_{\text{peak}} \times \text{Td} \\
 &= 0,9 \text{ m}^3/\text{menit} \times 0,75 \text{ menit} \\
 &= 0,7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan kedalam bak distribusi = 0,7 m

$$\text{Asurface bak} = \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{0,7 \text{ m}^3}{0,7 \text{ m}} = 1 \text{ m}^2$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= p \times l \times h \\
 &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \\
 &= 0,7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek td} = \frac{\text{volume}}{\text{debit peak}} = \frac{0,7 \text{ m}^3}{0,9 \text{ m}^3/\text{detik}} = 0,75 \text{ menit (OK)}$$

#### 6.4 Anaerobic Baffle Reactor

IPAL adalah bangunan yang digunakan untuk mengolah air limbah agar karakteristik yang dihasilkan setelah olahan memenuhi standart baku mutu yang sudah ditetapkan. Didalam merancang IPAL domestic komunal yang paling penting adalah menentukan jumlah air limbah yang akan diolah. Cara paling akurat adalah menghitung jumlah rata-rata air bersih sebenarnya yang digunakan perhari. Atau dapat dilakukan dengan menentukan debit air limbah perkapita. Selanjutnya menentukan besarnya polutan organik (BOD) inlet, BOD air olahan yang diharapkan, efisiensi pengolahan serta beban pengolahan atau waktu tinggal di dalam reactor IPAL serta jenis proses yang digunakan. Besarnya polutan dan karakteristik limbah yang akan diolah dapat dilihat pada tabel 6.1. besarnya parameter yang ditetapkan akan menentukan besarnya IPAL yang akan digunakan.

Pengolahan air limbah domestik yang hanya menggunakan proses anaerob maka hasil olahan hanya dapat menurunkan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik (BOD,COD) dan total padatan tersuspensi (TSS), sedangkan amoniak, deterjen dan hydrogen sulfide tidak bisa turun. Jika prosesnya anaerob-aerob, maka dapat menurunkan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik, amoniak, TSS, deterjen serta phospat. Karakteristik air limbah hasil uji laboratoriu disajikan pada Tabel 6.3.

**Tabel 6. 3 Karakteristik Air Limbah Hasil Sampling**

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	210	30
COD	mg/L	268	100
BOD	mg/L	162	30
Rasio BOD/COD	-	0,6	-
Minyak & lemak	mg/L	20	5

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal	Baku Mutu
Amonia	mg/L	48,57	10
Total Koliform	MPN/100 mL	22 x 10 <sup>8</sup>	3000

Sumber:

\* Hasil Analisa Laboratorium

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

Pada perencanaan ini, baku mutu yang digunakan berdasarkan PERMEN LH & KEHUTANAN No.68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Berdasarkan baku mutu air limbah domestik tersebut, diketahui bahwa karakteristik air limbah ini telah melebihi baku mutu, maka perlu dilakukan pengolahan agar air limbah domestik yang dihasilkan memenuhi baku mutu tersebut.

#### 6.4.1 Grease Trap

Pada umumnya, *Grease trap* direncanakan sebagai pengolahan awal dan berfungsi hanya untuk mengolah parameter minyak dan lemak. Nantinya air limbah *grey water* dan *black water* akan disatukan pada satu pipa dan akan memasuki unit *grease trap*. Pada perencanaan ini dilakukan sebuah inovasi desain yaitu bangunan *grease trap* dikombinasi dengan zona pengendapan atau kompartemen I unit bangunan ABR. Inovasi ini dilakukan dengan alasan bangunan *greas trap* memiliki kesamaan bentuk dengan zona pengendapan ABR, sehingga pada zona pengendapan ABR akan diberi tambahan dinding untuk menangkap minyak dan lemak sehingga nantinya minyak dan lemak akan tertangkap karena tidak mungkin larut dalam air.

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

- Konsentrasi minyak lemak awal = 20 mg/L,
- Persen pengolahan = 95 %
- Konsentrasi minyak lemak outlet  
= (100 – 95) % x 20 mg/L

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

Hasil yang diperoleh sudah memenuhi baku mutu yaitu 1 mg/L dari batas minimum 5 mg/L. Perhitungan removal ini adalah untuk ketiga *Cluster* karena memiliki konstrasi yang sama.

#### **6.4.2 Anaerobic Baffle Reactor *Cluster* I**

Dari parameter air limbah yang diperoleh maka unit bangunan IPAL *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) dapat dilakukan perhitungan:

##### Debit Air Limbah

$$Q \text{ rata-rata} = 1.564 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q \text{ peak} = 1.564 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{faktor peak}$$

$$= 1.564 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5$$

$$= 2.345 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Karena debit yang masuk terlalu besar, maka direncanakan akan dibangun 3 bagian ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

$$Q \text{ peak} = Q \text{ peak} / 3 \text{ unit}$$

$$= 2.345 \text{ m}^3/\text{hari} / 3 \text{ unit}$$

$$= 781 \text{ m}^3/\text{hari}$$

##### Kompartemen I

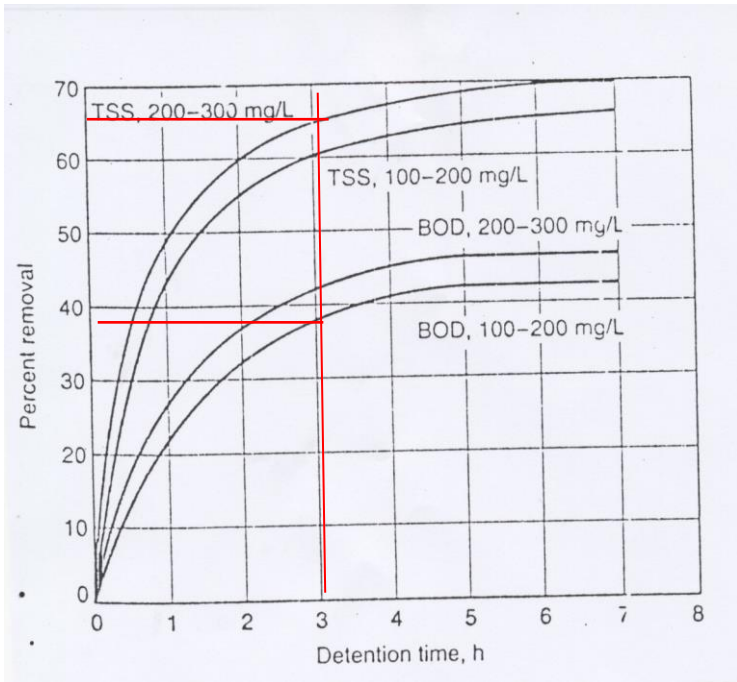
###### ➔ Waktu Pengendapan

Waktu pengendapan direncanakan selama 3 jam (kriteria 2-6 jam), Konsentrasi awal yang masuk untuk kadar BOD dan COD yang akan diolah yaitu

$$\text{BOD} = 268 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD} = 162 \text{ mg/L}$$

Setelah diketahui  $t_d$  dan konsentrasi awal maka dapat diperoleh % removal TSS dan BOD melalui grafik hubungan  $t_d$  dan persen removal.



% removal TSS = 68 %  
 % removal BOD = 38 %

→ Effluent BOD, TSS, COD

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= (100 - 68) \% \times 210 \text{ mg/L} \\ &= 67,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= (100 - 38) \% \times 268 \text{ mg/L} \\ &= 166 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (100 - 38) \% \times 162 \text{ mg/L} \\ &= 100,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$



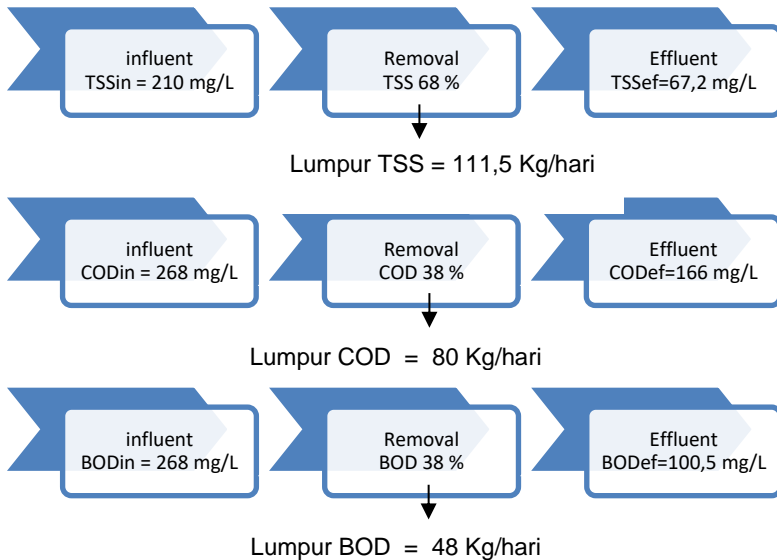
→ Massa Lumpur BOD, TSS, COD

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS} &= \text{removal TSS} \times \text{kadar TSS} \times Q \text{ limbah} \\ &= 68 \% \times 0,21 \text{ Kg/L} \times 781 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 111,5 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD} &= \text{removal COD} \times \text{kadar COD} \times Q \text{ limbah} \\ &= 38 \% \times 0,27 \text{ Kg/L} \times 781 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 80 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD} &= \text{removal BOD} \times \text{kadar BOD} \times Q \text{ limbah} \\ &= 38 \% \times 0,16 \text{ Kg/L} \times 781 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 48 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

→ Mass Balance BOD, TSS, COD



**Gambar 6. 2 Mass Balance Cluster I**

→ Massa Solid selama 2 tahun (SNI)

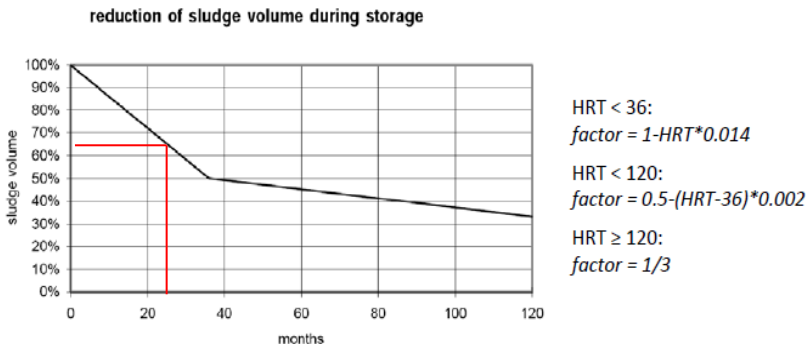
Massa lumpur yang dihasilkan;

$$= \text{Lumpur TSS} \times \text{durasi pengurangan}$$

$$= 111,5 \text{ Kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 81.395 \text{ Kg/tahun}$$

Stabilisasi lumpur setelah 2 tahun atau 24 bulan, maka dapat diketahui prosentase volume lumpur melalui grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur pada bulan tertentu yaitu 62 %



**Gambar 6. 3 Grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur oleh waktu *cluster* I**

(Sumber: Sasse, 2009)

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 62 \% \times \text{produksi lumpur} \\
 &= 62 \% \times 81.395 \text{ Kg/tahun} \\
 &= 50.465 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

→ Densitas Lumpur

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5\% ;$$

$$\text{Densitas lumpur} = 2,65 \text{ kg/L} ;$$

$$\text{Konsentrasi air} = 95\%$$

$$\text{densitas air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{densitas lumpur} = \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%}$$

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$

$$= 1.09 \text{ kg/L}$$

→ Volume Lumpur pada *settling zone*

$$\begin{aligned}\text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= 50.465 \text{ kg} / 1.09 \text{ kg/L} \\ &= 46.298 \text{ L} \\ &= 46 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dimensi ruang pada Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

Menentukan rencana kedalaman air di dalam ruang ABR kompartemen 1;

Kemampuan gali	= 4,5 m
Free board	= 10 m
Tebal dinding bawah	= 20 cm
Tebal dinding atas	= 20 cm
Ketinggian ABR rencana (H)	= 4 m
Lebar ABR rencana	= 3 m

→ Dimensi *Settling Zone*

<i>td settling zone</i>	= 3 jam
Q peak	= 781 m <sup>3</sup> /hari
	= 32,5 m <sup>3</sup> /jam
Volume <i>settling zone</i>	= Q peak x <i>td</i>
	= 32,5 m <sup>3</sup> /jam x 3 jam
	= 95,2 m <sup>3</sup>
A <i>surface</i>	= Volume / H
	= 95,2 m <sup>3</sup> / 4 m
	= 23,8 m <sup>2</sup> ~ 24 m <sup>2</sup>
Lebar <i>settling zone</i>	= 3 m
Panjang <i>settling zone</i>	= 8 m

→ Ruang Lumpur Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

✓ Volume ruang lumpur	= 46 m <sup>3</sup>
✓ A <i>surface</i>	= V ruang lumpur / Tinggi ABR
	= 46 m <sup>3</sup> / 4 m
	= 11,5 m <sup>2</sup>
✓ Panjang ruang lumpur	= A <i>surface</i> / Lebar ABR
	= 11,5 m <sup>2</sup> / 3 m
	= 3,8 m

- Ruang Pengendapan Kompartemen 1 (*Settling Zone*)
- Volume ruang Pengendapan  
 = Volume *settling zone* – Volume ruang lumpur  
 =  $95,2 \text{ m}^3 - 46 \text{ m}^3$   
 =  $49,2 \text{ m}^3$
- A *surface* = V ruang pengendapan/ Tinggi ABR  
 =  $49,2 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}$   
 =  $12,3 \text{ m}^2$
- Panjang ruang pengendapan  
 = A *surface* / Lebar ABR  
 =  $12,3 \text{ m}^2 / 3 \text{ m}$   
 =  $4,1 \text{ m}$

### Kompartemen II

Setelah melalui kompartemen I, maka effluent BOD, TSS, COD yang diperoleh yaitu:

- TSS eff = 67,2 mg/L
- COD eff = 166 mg/L
- BOD eff = 100,5 mg/L
- Qpeak = 781 m<sup>3</sup>/hari

Debit pada ABR ini menggunakan debit puncak karena mengantisipasi datangnya debit air limbah yang besar sehingga ABR mampu menampung debit yang datang. Direncanakan lebar kompartemen II sama dengan kompartemen I dan panjang setiap bagian kompartemen II adalah  $\frac{1}{2}$  dari tinggi ABR karena merupakan kriteria desain dari ABR sendiri dimana ketika terlalu panjang maka akan terjadi *dead zone* sehingga kecepatan air untuk naik sangat lambat. Berikut ini merupakan rencana desain dari kompartemen II:

- Lebar = 3 m
- Tinggi ABR = 4 m
- Panjang komp.II =  $\frac{1}{2} H$   
= 2 m
- HLR= 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hari (kriteria 16.8 – 38.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hari)
- HRT= 10 jam ( kriteria 6 – 20 jam)

→ Luas ABR Kompartemen II

$$A_{\text{surface}} = \frac{Q_{\text{peak}}}{\text{HLR}} = \frac{781 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{30 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ hari}}} = 26 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{\text{rencana}} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \\ &= 2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\ &= 6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

→ H total (Tinggi ABR kompartemen II)

$$\begin{aligned} H_{\text{total}} &= \text{HLR} \times \text{HRT} \\ &= 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari}/24 \text{ jam} \times 10 \text{ jam} \\ &= 12,5 \text{ m} \end{aligned}$$

→ Jumlah kompartemen II ABR

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kompartemen} &= \frac{H_{\text{total}}}{\text{Lebar}} \\ &= \frac{12,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} \\ &= 4 \text{ kompartemen} \end{aligned}$$

→ Check HRT

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{\text{Volume kompartemen II}}{Q_{\text{peak}}} = \frac{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen II}}{Q_{\text{peak}}} \\ &= \frac{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ buah}}{781 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \\ &= 0,12 \text{ hari} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \\ &= 3 \text{ jam (tidak memenuhi kriteria)} \end{aligned}$$

Karena tidak sesuai dengan kriteria desain HRT yang berada pada *range* 6-20 jam, maka sisa waktu yang ada dapat dilanjutkan pada kompartemen berikutnya dalam ini adalah unit HAPS.

→ Jumlah kompartemen Total ABR

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah keseluruhan kompartemen} \\ &= \text{Kompartemen I} + \text{Kompartemen II} \\ &= 1+4 = 5 \text{ kompartemen ABR} \end{aligned}$$

→ Check Vup

$$V_{\text{up}} = \frac{Q_{\text{peak}}}{A_{\text{cross}}} = \frac{Q_{\text{peak}}}{p \times l} = \frac{781 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ buah}}$$

$$= 32,5 \text{ m/hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 1,3 \text{ m/jam (memenuhi kriteria } \leq 2 \text{ jam)}$$

Jika  $V_{up}$  diatas 2 jam, maka yang terjadi adalah pengendapan terjadi terlalu lama sehingga penyisihin lumpur tidak maksimal

→ Dimensi keseluruhan ABR

➤ Panjang ABR:

$$= \text{Komp I} + \text{komp II} + \dots + ((n+1) \times \text{tebal dinding}) + (\text{diameter pipa} \times n)$$

$$= 8 \text{ m} + (2 \text{ m} \times 4 \text{ buah}) + ((5+1) \times 0,2 \text{ m}) + (0,1 \text{ m} \times 5)$$

$$= 16,62 \text{ m}$$

➤ Lebar ABR:

$$= \text{Lebar ABR desain} + (2 \times \text{tebal dinding})$$

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

$$= 9,4 \text{ m}$$

➤ Tinggi ABR

$$= \text{kemampuan gali yang paling dalam}$$

$$= 4,5 \text{ m}$$

### Produksi Lumpur

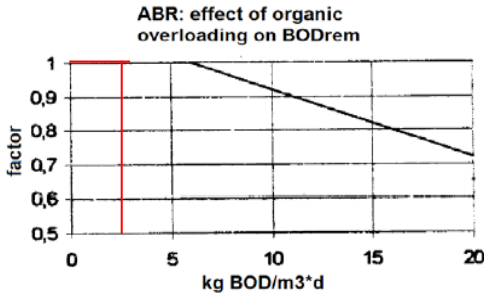
Untuk mengetahui efisiensi BOD yang nantinya akan digunakan untuk mencari lumpur BOD, digunakan beberapa parameter grafik BORDA diantaranya Organic Loading Rate, BOD strength, Temperatur, jumlah kompartemen dan HRT:

→ **Organic Loading Rate**

$$OLR = \frac{Q_{peak} \times [BOD \text{ in}]}{Vol} = \frac{781 \frac{m^3}{hari} \times 94 \text{ mg/L}}{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen}}$$

$$= \frac{781 \frac{m^3}{hari} \times 94 \text{ mg/L}}{3,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ buah}}$$

$$= 0.43 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari (faktor removal OLR} = 1)$$



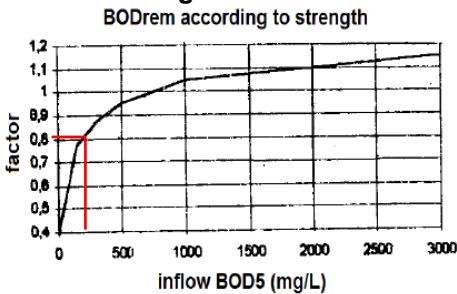
load < 6 kg/m<sup>3</sup>\*d:

$$factor = 1.00$$

load ≥ 6 kg/m<sup>3</sup>\*d:

$$factor = 1 - (load - 6) * 0.28 / 14$$

### → BOD strength



BOD<sub>in</sub> < 150 mg/L:

$$factor = BOD_{in} * 0.37 / 150 + 0.4$$

BOD<sub>in</sub> < 300 mg/L:

$$factor = (BOD_{in} - 150) * 0.1 / 150 + 0.77$$

BOD<sub>in</sub> < 500 mg/L:

$$factor = (BOD_{in} - 300) * 0.08 / 200 + 0.87$$

BOD<sub>in</sub> < 1000 mg/L:

$$factor = (BOD_{in} - 500) * 0.1 / 500 + 0.95$$

BOD<sub>in</sub> < 3000 mg/L:

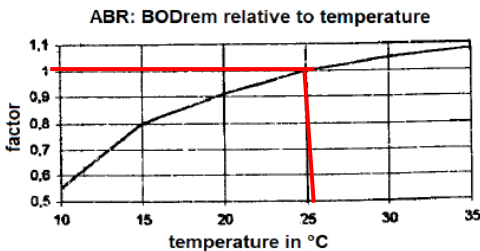
$$factor = (BOD_{in} - 1000) * 0.1 / 2000 + 1.05$$

BOD<sub>in</sub> ≥ 3000 mg/L:

$$factor = 1.15$$

BOD influent pada kompartemen I = 100,5 mg/L, maka factor BOD strength 0.8

### → Temperature



temp < 15 °C:

$$factor = (temp - 10) * 0.25 / 5 + 0.55$$

temp < 20 °C:

$$factor = (temp - 15) * 0.11 / 5 + 0.8$$

temp < 25 °C:

$$factor = (temp - 20) * 0.09 / 5 + 0.91$$

temp < 30 °C:

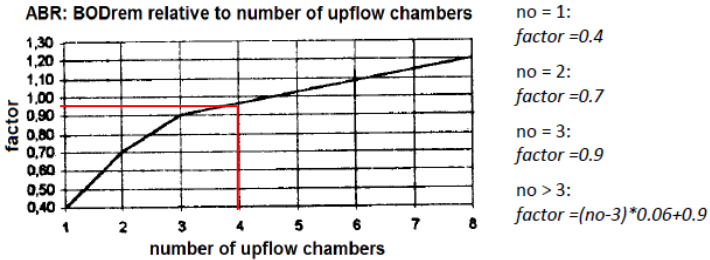
$$factor = (temp - 25) * 0.05 / 5 + 1$$

temp ≥ 30 °C:

$$factor = (temp - 30) * 0.03 / 5 + 1.05$$

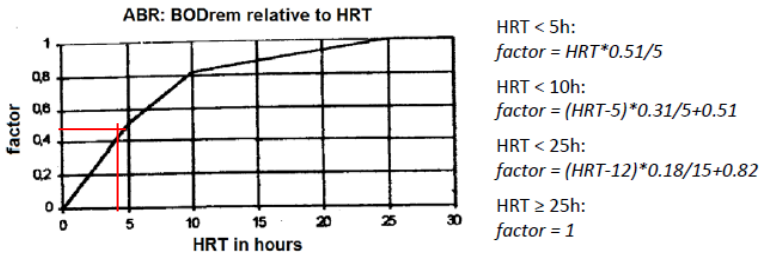
Temperatur pada ABR pada umumnya yaitu sekitar 25 °C, maka factor BOD removal untuk *temperature* 1

→ **Chamber**



Jumlah kompartemen ABR yang diperoleh berjumlah 4 kompartemen, sehingga diperoleh pada grafik faktor BOD removal sebesar 0,95

→ **HRT factor**



Pada hasil perhitungan HRT diperoleh 5 jam sehingga diperoleh pada grafik faktor BOD removal sebesar 0.5

Dari keseluruhan parameter grafik-grafik diatas, maka perhitungan efisiensi BOD dapat dicari:

→ **Lumpur BOD**

Efisiensi BOD removal

$$= OLR \times BOD \text{ Strength} \times T^\circ \times \Sigma \text{kompt} \times HRT \times 100\%$$

$$= 1 \times 0.8 \times 1 \times 0,95 \times 0.5 \times 100\%$$

$$= 38 \%$$



Lumpur BOD (P)

= Efisiensi BOD rem x eff BOD komp I x BOD strength x Q peak  
 = 38 % x (38% x 100,5 mg/L) x 0,8 x 781 m<sup>3</sup>/hari  
 = 11,5 kg/hari

→ **Lumpur TSS**

TSS influent = 67,2 mg/L

TSS teremoval

= (TSS influent – baku mutu) mg/L x Qpeak

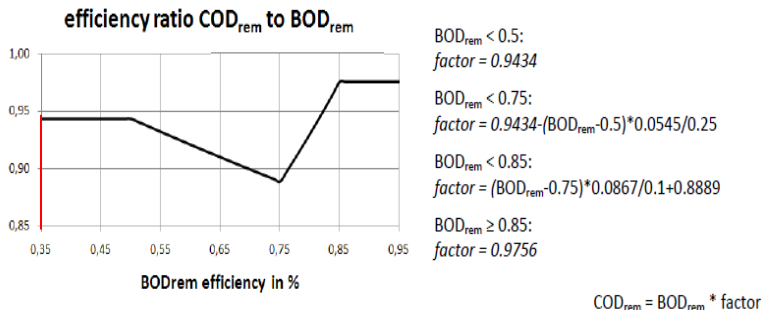
= (67,2 – 30) mg/L x 781 m<sup>3</sup>/hari x  $\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}}$

= 29 kg/hari

**Effluent dari Kompartemen II**

Dari pengolahan kompartemen II tersebut, didapatkan efisiensi (persen removal) dari masing-masing parameter (BOD, TSS, dan COD), maka efisiensi COD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi BOD dengan efisiensi COD.

✓ Efisiensi BOD = 38 %,



Grafik factor efisiensi COD menunjukan 0.94, maka

Efisiensi COD

= Efisiensi BOD x factor efisiensi rasio COD/BOD

= 38 % x 0.94

= 35,7 %

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi TSS} &= \frac{\text{effluent dari kompartemen I} - \text{effluent baku mutu}}{\text{effluent dari kompartemen I}} \times 100\% \\ &= \frac{67,2 - 30}{67,2} \times 100\% \\ &= 55,4\% \end{aligned}$$

→ **Effluent BOD, TSS, COD**

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= (100 - 55,4)\% \times 67,2 \text{ mg/L} \\ &= 30 \text{ mg/L} \\ \text{COD} &= (100 - 35,7)\% \times 166 \text{ mg/L} \\ &= 107 \text{ mg/L} \\ \text{BOD} &= (100 - 38)\% \times 100,5 \text{ mg/L} \\ &= 63 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

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

**Tabel 6. 4 Efisiensi Pengolahan dengan ABR Cluster I**

Parameter	Influent (mg/l)	Effluent (mg/l)	Baku Mutu Air Limbah Domestik (mg/l)	Keterangan
TSS	210	30	30	Memenuhi
COD	268	107	100	Tidak
BOD	162	63	30	Tidak
Minyak lemak	20	1	5	Memenuhi
NH3	48,57	9,7	10	Memenuhi

Dengan mengacu pada baku mutu Permen KLHK No. 68 tahun 2016, effluen dari ABR dengan parameter BOD dan COD belum memenuhi baku mutu sedangkan untuk parameter lain sudah memenuhi baku mutu.

**6.4.3 Anaerobic Baffle Reactor Cluster II**

Dari parameter air limbah yang diperoleh maka unit bangunan IPAL *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) dapat dilakukan perhitungan:

### → Debit Air Limbah

$$Q \text{ rata-rata} = 1.392 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ peak} &= 1.392 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{faktor peak} \\ &= 1.392 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5 \\ &= 2.088 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Karena debit yang masuk terlalu besar, maka direncanakan akan dibangun 3 bagian ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

$$\begin{aligned} Q \text{ peak} &= Q \text{ peak} / 3 \text{ unit} \\ &= 2.088 \text{ m}^3/\text{hari} / 3 \text{ unit} \\ &= 696 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

### Kompartemen I

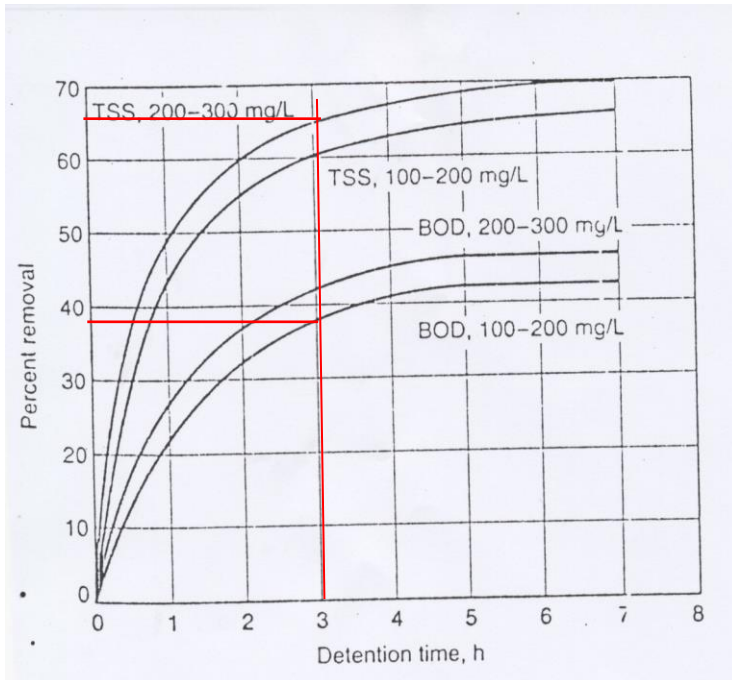
#### → Waktu Pengendapan

Waktu pengendapan direncanakan selama 3 jam (kriteria 2-6 jam), Konsentrasi awal yang masuk untuk kadar BOD dan COD yang akan diolah yaitu

$$\text{BOD} = 268 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD} = 162 \text{ mg/L}$$

Setelah diketahui  $t_d$  dan konsentrasi awal maka dapat diperoleh % removal TSS dan BOD melalui grafik hubungan  $t_d$  dan persen removal.



% removal TSS = 68 %  
 % removal BOD = 38 %

→ Effluent BOD, TSS, COD

TSS =  $(100 - 68) \% \times 210 \text{ mg/L}$   
 = 67,2 mg/L  
 COD =  $(100 - 38) \% \times 268 \text{ mg/L}$   
 = 166 mg/L  
 BOD =  $(100 - 38) \% \times 162 \text{ mg/L}$   
 = 100,5 mg/L

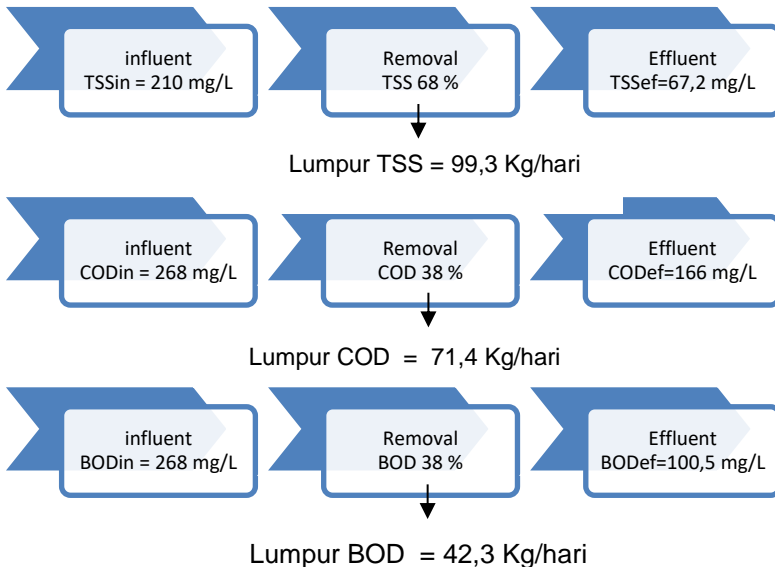
→ Massa Lumpur BOD, TSS, COD

Massa TSS= removal TSS x kadar TSS x Q limbah  
 = 68 % x 0,21 Kg/L x 696 m<sup>3</sup>/hari  
 = 99,3 Kg/hari

Massa COD= removal COD x kadar COD x Q limbah

$$\begin{aligned}
 &= 38 \% \times 0,27 \text{ Kg/L} \times 696 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 71,4 \text{ Kg/hari} \\
 \text{Massa BOD} &= \text{removal BOD} \times \text{kadar BOD} \times Q \text{ limbah} \\
 &= 38 \% \times 0,16 \text{ Kg/L} \times 696 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 42,3 \text{ Kg/hari}
 \end{aligned}$$

→ Mass Balance BOD, TSS, COD



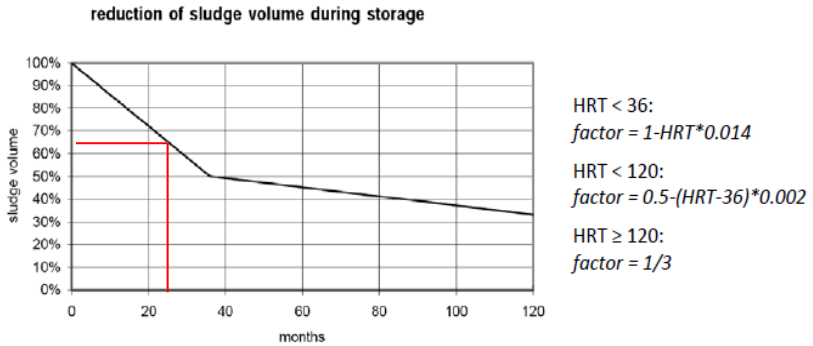
**Gambar 6. 4 Mass Balance Cluster II**

→ Massa Solid selama 2 tahun (SNI)

Massa lumpur yang dihasilkan;

$$\begin{aligned}
 &= \text{Lumpur TSS} \times \text{durasi pengurangan} \\
 &= 99,3 \text{ Kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\
 &= 72.489 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Stabilisasi lumpur setelah 2 tahun atau 24 bulan, maka dapat diketahui prosentase volume lumpur melalui grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur pada bulan tertentu yaitu 62 %



**Gambar 6. 5 Grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur oleh waktu *cluster II***  
(Sumber: Sasse, 2009)

Stabilisasi lumpur 2 tahun = 62 % x produksi lumpur  
 = 62 % x 72.489 Kg/tahun  
 = 44.943 Kg/tahun

→ **Densitas Lumpur**

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

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$
 = 1.09 kg/L

→ **Volume Lumpur pada *settling zone***

Volume lumpur = stabilisasi lumpur 1 tahun / ρ Lumpur  
 = 44.943 kg / 1.09 kg/L  
 = 41.232 L  
 = 41,2 m<sup>3</sup>

Dimensi ruang pada Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

Menentukan rencana kedalaman air di dalam ruang ABR kompartemen 1;

- Kemanpuan gali = 4,5 m

- Freeboard = 10 m
- Tebal dinding bawah = 20 cm
- Tebal dinding atas = 20 cm
- Ketinggian ABR rencana (H) = 4 m
- Lebar ABR rencana = 3 m

→ Dimensi Settling Zone

$$\begin{aligned}
 T_d \text{ settling zone} &= 3 \text{ jam} \\
 Q \text{ peak} &= 696 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 29 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Volume settling zone} &= Q \text{ peak} \times t_d \\
 &= 29 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 87 \text{ m}^3 \\
 A \text{ surface} &= \text{Volume} / H \\
 &= 87 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} \\
 &= 21 \text{ m}^2 \\
 \text{Lebar settling zone} &= 3 \text{ m} \\
 \text{Panjang settling zone} &= 7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

→ Ruang Lumpur Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume ruang lumpur} &= 41,2 \text{ m}^3 \\
 A \text{ surface} &= V \text{ ruang lumpur} / \text{Tinggi ABR} \\
 &= 41,2 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} \\
 &= 10,3 \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang ruang lumpur} &= A \text{ surface} / \text{Lebar ABR} \\
 &= 10,3 \text{ m}^2 / 3 \text{ m} \\
 &= 3,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

→ Ruang Pengendapan Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume ruang Pengendapan} &= \text{Volume settling zone} - \text{Volume ruang lumpur} \\
 &= 87 \text{ m}^3 - 41,2 \text{ m}^3 \\
 &= 45,8 \text{ m}^3 \\
 A \text{ surface} &= V \text{ ruang pengendapan} / \text{Tinggi ABR} \\
 &= 45,8 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} \\
 &= 11,4 \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang ruang pengendapan} &= A \text{ surface} / \text{Lebar ABR} \\
 &= 11,4 \text{ m}^2 / 3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$= 3,8 \text{ m}$$

### Kompartemen II

Setelah melalui kompartemen I, maka effluent BOD, TSS, COD yang diperoleh yaitu:

- TSS eff = 67,2 mg/L
- COD eff = 166 mg/L
- BOD eff = 100,5 mg/L
- Q peak = 696 m<sup>3</sup>/hari

Debit pada ABR ini menggunakan debit puncak karena mengantisipasi datangnya debit air limbah yang besar sehingga ABR mampu menampung debit yang datang. Direncanakan lebar kompartemen II sama dengan kompartemen I dan panjang setiap bagian kompartemen II adalah  $\frac{1}{2}$  dari tinggi ABR karena merupakan kriteria desain dari ABR sendiri dimana ketika terlalu panjang maka akan terjadi *dead zone* sehingga kecepatan air untuk naik sangat lambat. Berikut ini merupakan rencana desain dari kompartemen II.

- Lebar = 3 m
- Tinggi ABR = 4 m
- Panjang komp.II =  $\frac{1}{2}$  H  
= 2 m
- HLR = 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hari (kriteria 16.8 – 38.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hari)
- HRT = 10 jam ( kriteria 6 – 20 jam)

→ Luas ABR Kompartemen II

$$A_{\text{surface}} = \frac{Q_{\text{peak}}}{\text{HLR}} = \frac{696 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{30 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ hari}}} = 23,2 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{\text{rencana}} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \\ &= 2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\ &= 6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

→ H total (Tinggi ABR kompartemen II)

$$\begin{aligned} H_{\text{total}} &= \text{HLR} \times \text{HRT} \\ &= 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari} / 24 \text{ jam} \times 10 \text{ jam} \\ &= 12,5 \text{ m} \end{aligned}$$



→ Jumlah kompartemen II ABR

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Kompartemen} &= \frac{H \text{ total}}{\text{Lebar}} \\ &= \frac{12,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} \\ &= 4 \text{ kompartemen}\end{aligned}$$

→ Check HRT

$$\begin{aligned}\text{HRT} &= \frac{\text{Volume kompartemen II}}{Q_{\text{peak}}} = \frac{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen II}}{Q_{\text{peak}}} \\ &= \frac{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ buah}}{696 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \\ &= 0,13 \text{ hari} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \\ &= 3,3 \text{ jam (tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

Karena tidak sesuai dengan kriteria desain HRT yang berada pada *range* 6-20 jam, maka sisa waktu yang ada dapat dilanjutkan pada kompartemen berikutnya dalam ini adalah unit HAPS.

→ Jumlah kompartemen Total ABR

$$\begin{aligned}n &= \text{jumlah keseluruhan kompartemen} \\ &= \text{Kompartemen I} + \text{Kompartemen II} \\ &= 1+4 = 5 \text{ kompartemen ABR}\end{aligned}$$

→ Check Vup

$$\begin{aligned}V_{\text{up}} &= \frac{Q_{\text{peak}}}{A_{\text{cross}}} = \frac{Q_{\text{peak}}}{p \times l} = \frac{696 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ buah}} \\ &= 29 \text{ m/hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 1,2 \text{ m/jam (memenuhi kriteria } \leq 2 \text{ jam)}\end{aligned}$$

Jika Vup diatas 2 jam, maka yang terjadi adalah pengendapan terjadi terlalu lama sehingga penyisihan lumpur tidak maksimal

→ Dimensi keseluruhan ABR

$$\begin{aligned}&\text{➤ Panjang ABR:} \\ &= \text{Komp I} + \text{komp II} + \dots + ((n+1) \times \text{tebal dinding}) + \\ &\quad (\text{diameter pipa} \times n) \\ &= 7 \text{ m} + (2 \text{ m} \times 4 \text{ buah}) + ((5+1) \times 0,2\text{m}) + (0,1 \text{ m} \times 5) \\ &= 15,6 \text{ m}\end{aligned}$$

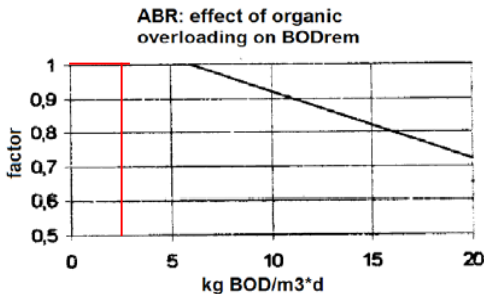
- Lebar ABR:
  - = Lebar ABR desain + (2 x tebal dinding)
  - = (3 m x 3 buah) + (2 x 0,2 m)
  - = 9,4 m
  
- Tinggi ABR
  - = kemampuan gali yang paling dalam
  - = 4,5 m

### Produksi Lumpur

Untuk mengetahui efisiensi BOD yang nantinya akan digunakan untuk mencari lumpur BOD, digunakan beberapa parameter grafik BORDA diantaranya Organic Loading Rate, BOD strength, Temperatur, jumlah kompartemen dan HRT:

#### ➔ Organic Loading Rate

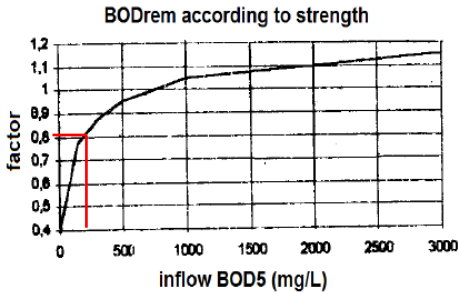
$$\begin{aligned}
 \text{OLR} &= \frac{Q_{\text{ave}} \times [\text{BOD in}]}{\text{Vol}} = \frac{696 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 100,5 \text{ mg/L}}{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen}} \\
 &= \frac{696 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 100,5 \text{ mg/L}}{3,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ buah}} \\
 &= 0.42 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (faktor removal OLR} = 1)
 \end{aligned}$$



load < 6 kg/m<sup>3</sup>\*d:  
*factor = 1.00*

load ≥ 6 kg/m<sup>3</sup>\*d:  
*factor = 1-(load-6)\*0.28/14*

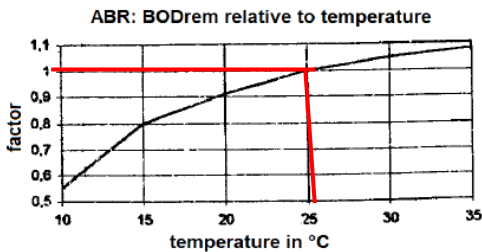
#### ➔ BOD strength



$BOD_{in} < 150 \text{ mg/L:}$   
 $factor = BOD_{in} * 0.37/150 + 0.4$   
 $BOD_{in} < 300 \text{ mg/L:}$   
 $factor = (BOD_{in} - 150) * 0.1/150 + 0.77$   
 $BOD_{in} < 500 \text{ mg/L:}$   
 $factor = (BOD_{in} - 300) * 0.08/200 + 0.87$   
 $BOD_{in} < 1000 \text{ mg/L:}$   
 $factor = (BOD_{in} - 500) * 0.1/500 + 0.95$   
 $BOD_{in} < 3000 \text{ mg/L:}$   
 $factor = (BOD_{in} - 1000) * 0.1/2000 + 1.05$   
 $BOD_{in} \geq 3000 \text{ mg/L:}$   
 $factor = 1.15$

BOD influent pada kompartemen I = 100,5 mg/L, maka factor BOD strength 0.8

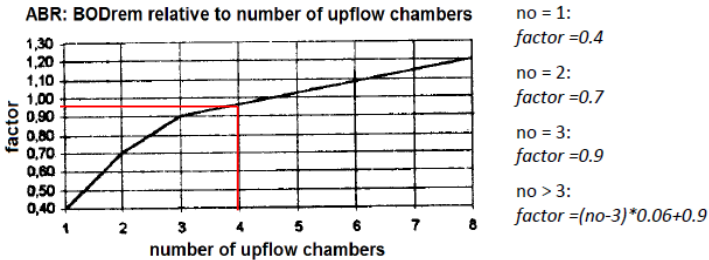
→ **Temperature**



$temp < 15 \text{ °C:}$   
 $factor = (temp - 10) * 0.25/5 + 0.55$   
 $temp < 20 \text{ °C:}$   
 $factor = (temp - 15) * 0.11/5 + 0.8$   
 $temp < 25 \text{ °C:}$   
 $factor = (temp - 20) * 0.09/5 + 0.91$   
 $temp < 30 \text{ °C:}$   
 $factor = (temp - 25) * 0.05/5 + 1$   
 $temp \geq 30 \text{ °C:}$   
 $factor = (temp - 30) * 0.03/5 + 1.05$

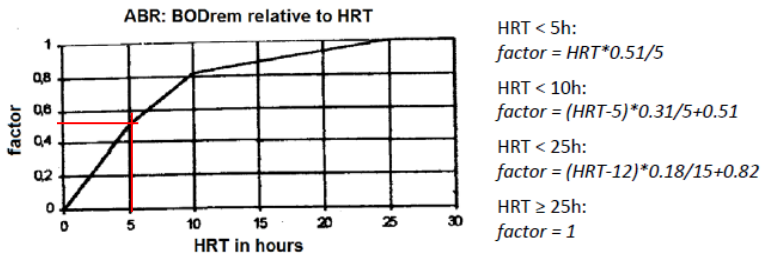
Temperatur pada ABR pada umumnya yaitu sekitar 25 °C, maka factor BOD removal untuk *temperature* 1

→ **Chamber**



Jumlah kompartemen ABR yang diperoleh berjumlah 4 kompartemen, sehingga diperoleh pada grafik faktor BOD removal sebesar 0,95

### → HRT factor



Pada hasil perhitungan HRT diperoleh 5,7 jam sehingga diperoleh pada grafik faktor BOD removal sebesar 0.5

Dari keseluruhan parameter grafik-grafik diatas, maka perhitungan efisiensi BOD dapat dicari:

### → Lumpur BOD

Efisiensi BOD removal

$$= \text{OLR} \times \text{BOD Strength} \times T^{\circ} \times \Sigma \text{kompt} \times \text{HRT} \times 100\%$$

$$= 1 \times 0.8 \times 1 \times 0.95 \times 0.5 \times 100\% = 38 \%$$

Lumpur BOD (P)

$$= \text{Efisiensi BOD rem} \times \text{eff BOD komp I} \times \text{BOD strength} \times \text{Q ave}$$

$$= 38 \% \times (38\% \times 100,5 \text{ mg/L}) \times 0,8 \times 696 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 21,7 \text{ mg/L} \times 510,5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

= 8 kg/hari

→ **Lumpur TSS**

TSS influent = 67,2 mg/L

TSS teremoval

= (TSS influent – baku mutu) mg/L x Qpeak

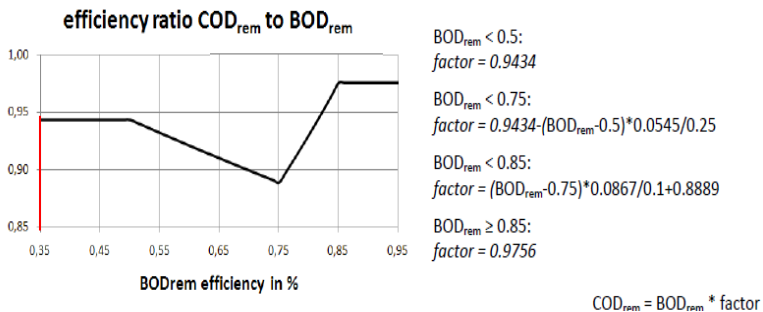
= (67,2 – 30) mg/L x 696 m<sup>3</sup>/hari x  $\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3}$  x  $\frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}}$

= 25,8 kg/hari

**Effluent dari Kompartemen II**

Dari pengolahan komparten II tersebut, didapatkan efisiensi (persen removal) dari masing-masing parameter (BOD, TSS, dan COD), maka efisiensi COD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi BOD dengan efisiensi COD.

✓ Efisiensi BOD = 38 %,



Grafik factor efisiensi COD menunjukan 0.94, maka

Efisiensi COD

= Efisiensi BOD x factor efisiensi rasio COD/BOD

= 38 % x 0.94

= 35,7 %

Efisiensi TSS =  $\frac{\text{effluent dari kompartemen I} - \text{effluent baku mutu}}{\text{effluent dari kompartemen I}}$  x 100%

$$= \frac{67,2 - 30}{67,2} \times 100\%$$

$$= 55,4 \%$$

→ **Effluent BOD, TSS, COD**

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= (100 - 55,4) \% \times 67,2 \text{ mg/L} \\ &= 30 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= (100 - 35,7) \% \times 166 \text{ mg/L} \\ &= 107 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (100 - 38) \% \times 100,5 \text{ mg/L} \\ &= 63 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Sehingga effluent dari masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 6.5 berikut ini:

**Tabel 6. 5 Efisiensi Pengolahan dengan ABR Cluster II**

Parameter	Influent (mg/l)	Effluent (mg/l)	Baku Mutu Air Limbah Domestik (mg/l)	Keterangan
TSS	210	30	30	Memenuhi
COD	268	107	100	Tidak
BOD	162	63	30	Tidak
Minyak lemak	20	1	5	Memenuhi
NH3	48,57	9,7	10	Memenuhi

Dengan mengacu pada baku mutu Permen KLHK No. 68 tahun 2016, effluent ABR dengan parameter BOD dan COD belum memenuhi baku mutu sedangkan untuk parameter TSS sudah memenuhi baku mutu.

#### 6.4.4 Anaerobic Baffle Reactor Cluster III

Dari parameter air limbah yang diperoleh maka unit bangunan IPAL *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) dapat dilakukan perhitungan:

→ **Debit Air Limbah**

$$Q \text{ rata-rata} = 873 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ peak} &= 873 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{faktor peak} \\ &= 873 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5 \\ &= 1.309 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Karena debit yang masuk terlalu besar, maka direncanakan akan dibangun 2 bagian ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} / 3 \text{ unit} \\
 &= 1.309 \text{ m}^3/\text{hari} / 3 \text{ unit} \\
 &= 654,5 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

### Kompartemen I

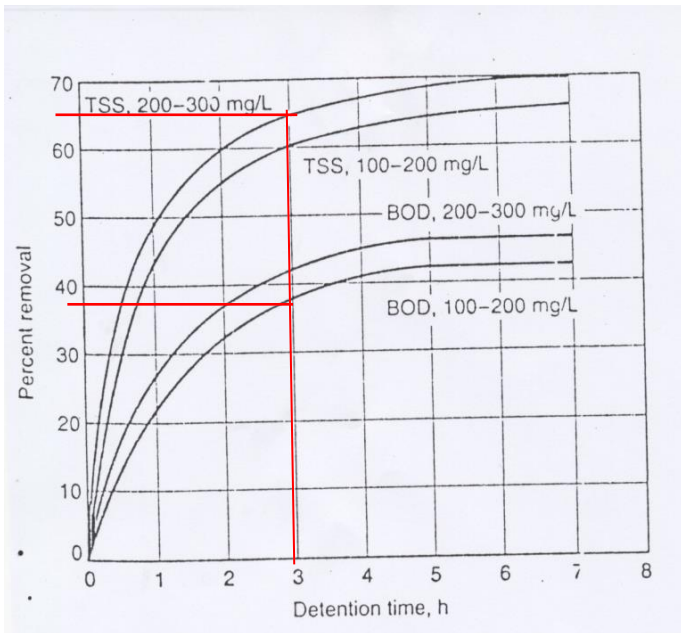
→ Waktu Pengendapan (td)

Waktu pengendapan direncanakan selama 3 jam (kriteria 2-6 jam), Konsentrasi awal yang masuk untuk kadar BOD dan COD yang akan diolah yaitu

BOD = 268 mg/L

COD = 162 mg/L

Setelah diketahui td dan konsentrasi awal maka dapat diperoleh % removal TSS dan BOD melalui grafik hubungan td dan persen removal.



% removal TSS = 68 %  
 % removal BOD = 38 %

→ Effluent BOD, TSS, COD

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= (100 - 68) \% \times 210 \text{ mg/L} \\ &= 67,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= (100 - 38) \% \times 268 \text{ mg/L} \\ &= 166 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (100 - 38) \% \times 162 \text{ mg/L} \\ &= 100,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

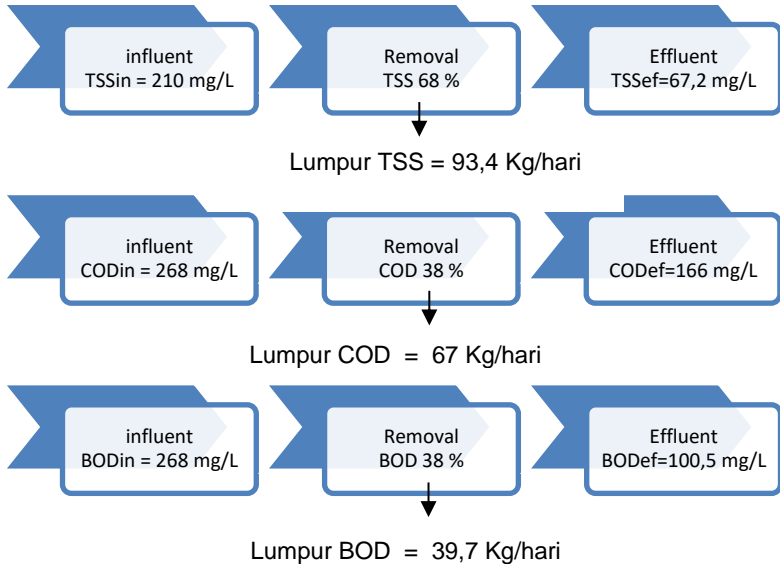
→ Massa Lumpur BOD, TSS, COD

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS} &= \text{removal TSS} \times \text{kadar TSS} \times \text{Q limbah} \\ &= 68 \% \times 0,21 \text{ Kg/L} \times 654,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 93,4 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD} &= \text{removal COD} \times \text{kadar COD} \times \text{Q limbah} \\ &= 38 \% \times 0,27 \text{ Kg/L} \times 654,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 67 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD} &= \text{removal BOD} \times \text{kadar BOD} \times \text{Q limbah} \\ &= 38 \% \times 0,16 \text{ Kg/L} \times 654,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 39,7 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

→ Mass Balance BOD, TSS, COD



**Gambar 6. 6 Mass balance Cluster III**



→ Massa Solid selama 2 tahun (SNI)

Massa lumpur yang dihasilkan;

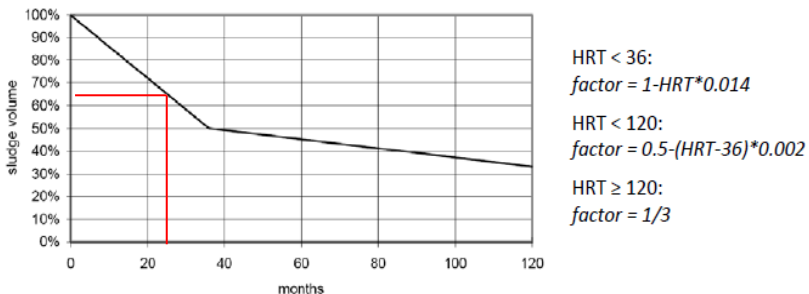
$$= \text{Lumpur TSS} \times \text{durasi pengurangan}$$

$$= 93,4 \text{ Kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 68.182 \text{ Kg/tahun}$$

Stabilisasi lumpur setelah 2 tahun atau 24 bulan, maka dapat diketahui prosentase volume lumpur melalui grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur pada bulan tertentu yaitu 62 %

reduction of sludge volume during storage



Gambar 6. 7 Grafik hubungan antara pengurangan volume lumpur oleh waktu *cluster III*

(Sumber: Sasse, 2009)

$$\begin{aligned} \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 62 \% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 62 \% \times 68.182 \text{ Kg/tahun} \\ &= 42.273 \text{ Kg/tahun} \end{aligned}$$

→ Densitas Lumpur

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5 \% ;$$

$$\text{Densitas lumpur} = 2,65 \text{ kg/L} ;$$

$$\text{Konsentrasi air} = 95 \%$$

$$\text{densitas air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{densitas lumpur} = \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%}$$

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$

$$= 1.09 \text{ kg/L}$$

→ Volume Lumpur pada *settling zone*

$$\begin{aligned}
\text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 1 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\
&= 42.273 \text{ kg} / 1.09 \text{ kg/L} \\
&= 38.782 \text{ L} \\
&= 38,7 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

### Dimensi ruang pada Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

Menentukan rencana kedalaman air di dalam ruang ABR kompartemen 1;

- Kemanpuan gali = 4,5 m
- Free board = 10 m
- Tebal dinding bawah = 20 cm
- Tebal dinding atas = 20 cm
- Ketinggian ABR rencana (H) = 4 m
- Lebar ABR rencana = 3 m

#### → Dimensi *Settling Zone*

$$\begin{aligned}
T_d \text{ settling zone} &= 3 \text{ jam} \\
Q \text{ peak} &= 654,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 27,3 \text{ m}^3/\text{jam} \\
\text{Volume settling zone} &= Q \text{ peak} \times T_d \\
&= 27,3 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\
&= 80 \text{ m}^3 \\
A \text{ surface} &= \text{Volume} / H \\
&= 80 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} \\
&= 20 \text{ m}^2 \\
\text{Lebar settling zone} &= 3 \text{ m} \\
\text{Panjang settling zone} &= 6,7 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### → Ruang Lumpur Kompartemen 1 (*Settling Zone*)

$$\begin{aligned}
\text{Volume ruang lumpur} &= 38,7 \text{ m}^3 \\
A \text{ surface} &= V \text{ ruang lumpur} / \text{Tinggi ABR} \\
&= 38,7 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} \\
&= 9,6 \text{ m}^2 \\
\text{Panjang ruang lumpur} &= A \text{ surface} / \text{Lebar ABR} \\
&= 9,6 \text{ m}^2 / 3 \text{ m} \\
&= 3,2 \text{ m}
\end{aligned}$$

- Ruang Pengendapan Kompartemen 1 (*Settling Zone*)
- Volume ruang Pengendapan  
 = Volume *settling zone* – Volume ruang lumpur  
 =  $80 \text{ m}^3 - 38,7 \text{ m}^3$   
 =  $41,3 \text{ m}^3$
- A *surface* = V ruang pengendapan/ Tinggi ABR  
 =  $41,3 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}$   
 =  $10,3 \text{ m}^2$
- Panjang ruang pengendapan  
 = A *surface* / Lebar ABR  
 =  $10,3 \text{ m}^2 / 3 \text{ m}$   
 =  $3,4 \text{ m}$

### **Kompartemen II**

Setelah melalui kompartemen I, maka effluent BOD, TSS, COD yang diperoleh yaitu:

- TSS eff = 67,2 mg/L
- COD eff = 166 mg/L
- BOD eff = 100,5 mg/L
- Qrata-rata = 291 m<sup>3</sup>/hari

Debit pada ABR *cluster* III menggunakan debit rata-rata karena pada *cluster* III tidak digunakan unit HAPS sehingga untuk memenuhi kriteria dari ABR dibutuhkan waktu pengendapan yang lama agar menghasilkan efisiensi removal yang tinggi. Direncanakan lebar kompartemen II sama dengan kompartemen I dan panjang setiap bagian kompartemen II adalah  $\frac{1}{2}$  dari tinggi ABR karena merupakan kriteria desain dari ABR sendiri dimana ketika terlalu panjang maka akan terjadi *dead zone* sehingga kecepatan air untuk naik sangat lambat. Berikut ini merupakan rencana desain dari kompartemen II.

- Lebar = 3 m
  - Tinggi ABR = 4 m
  - Panjang komp.II =  $\frac{1}{2}$  H
  - = 2 m
  - HLR=  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari}$  (kriteria 16.8 –  $38.4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari}$ )
  - HRT= 10 jam ( kriteria 6 – 20 jam)
- Luas ABR Kompartemen II

$$A_{\text{surface}} = \frac{Q_{\text{peak}}}{\text{HLR}} = \frac{291 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{30 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ hari}}} = 13,3 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{\text{rencana}} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \\ &= 2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\ &= 6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

→ H total (Tinggi ABR kompartemen II)

$$\begin{aligned} H_{\text{total}} &= \text{HLR} \times \text{HRT} \\ &= 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari}/24 \text{ jam} \times 10 \text{ jam} \\ &= 12,5 \text{ m} \end{aligned}$$

→ Jumlah kompartemen II ABR

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kompartemen} &= \frac{H_{\text{total}}}{\text{Lebar}} \\ &= \frac{12,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} \\ &= 4 \text{ kompartemen} \end{aligned}$$

→ Check HRT

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{\text{Volume kompartemen II}}{\text{Q rata-rata}} = \frac{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen II}}{\text{Q rata-rata}} \\ &= \frac{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ buah}}{291 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \\ &= 0,32 \text{ hari} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \\ &= 8 \text{ jam (memenuhi kriteria)} \end{aligned}$$

→ Jumlah kompartemen Total ABR

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah keseluruhan kompartemen} \\ &= \text{Kompartemen I} + \text{Kompartemen II} \\ &= 1+4 \\ &= 5 \text{ kompartemen ABR} \end{aligned}$$

→ Check Vup

$$\begin{aligned} V_{\text{up}} &= \frac{Q_{\text{rata-rata}}}{A_{\text{cross}}} = \frac{Q_{\text{rata-rata}}}{p \times l} = \frac{291 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{3,5 \text{ m} \times 3 \text{ m}} \\ &= 27,7 \text{ m/hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 1,1 \text{ m/jam (memenuhi kriteria} \leq 2 \text{ jam)} \end{aligned}$$

→ Dimensi keseluruhan ABR

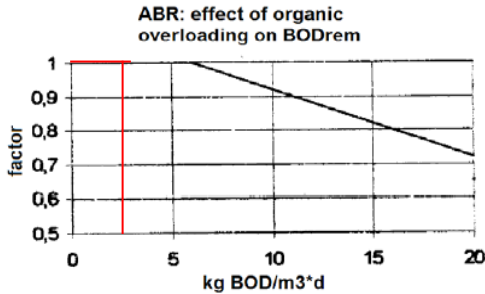
- Panjang ABR:
  - = Komp I + komp II + .... + ((n+1) x tebal dinding) + (diameter pipa x n)
  - = 6,7 m + (2 m x 4 buah) + ((5+1) x 0,2m) + (0,1 m x 5)
  - = 15,3 m
- Lebar ABR:
  - = Lebar ABR desain + (2 x tebal dinding)
  - = (3 m x 2 buah) + (2 x 0,2 m)
  - = 6,4 m
- Tinggi ABR
  - = kemampuan gali yang paling dalam
  - = 4,5 m

### **Produksi Lumpur**

Untuk mengetahui efisiensi BOD yang nantinya akan digunakan untuk mencari lumpur BOD, digunakan beberapa parameter grafik BORDA diantaranya Organic Loading Rate, BOD strength, Temperatur, jumlah kompartemen dan HRT:

#### **➔ Organic Loading Rate**

$$\begin{aligned}
 \text{OLR} &= \frac{\text{Qrata-rata} \times [\text{BOD in}]}{\text{Vol}} = \frac{291 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 100,5 \text{ mg/L}}{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen}} \\
 &= \frac{291 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 100,5 \text{ mg/L}}{2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ buah}} \\
 &= 0.3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (faktor removal OLR} = 1)
 \end{aligned}$$



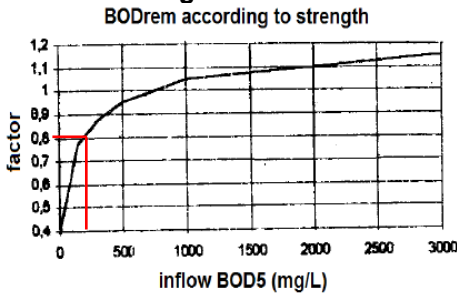
load < 6 kg/m<sup>3</sup>\*d:

$$factor = 1.00$$

load ≥ 6 kg/m<sup>3</sup>\*d:

$$factor = 1 - (load - 6) * 0.28 / 14$$

### → BOD strength



BOD<sub>in</sub> < 150 mg/L:

$$factor = BOD_{in} * 0.37 / 150 + 0.4$$

BOD<sub>in</sub> < 300 mg/L:

$$factor = (BOD_{in} - 150) * 0.1 / 150 + 0.77$$

BOD<sub>in</sub> < 500 mg/L:

$$factor = (BOD_{in} - 300) * 0.08 / 200 + 0.87$$

BOD<sub>in</sub> < 1000 mg/L:

$$factor = (BOD_{in} - 500) * 0.1 / 500 + 0.95$$

BOD<sub>in</sub> < 3000 mg/L:

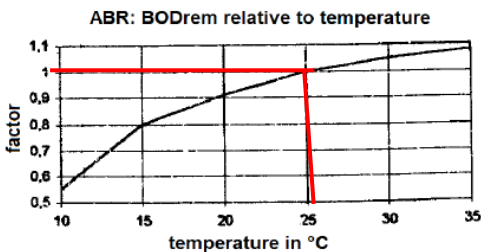
$$factor = (BOD_{in} - 1000) * 0.1 / 2000 + 1.05$$

BOD<sub>in</sub> ≥ 3000 mg/L:

$$factor = 1.15$$

BOD influent pada kompartemen I = 100,5 mg/L, maka factor BOD strength 0.8

### → Temperature



temp < 15 °C:

$$factor = (temp - 10) * 0.25 / 5 + 0.55$$

temp < 20 °C:

$$factor = (temp - 15) * 0.11 / 5 + 0.8$$

temp < 25 °C:

$$factor = (temp - 20) * 0.09 / 5 + 0.91$$

temp < 30 °C:

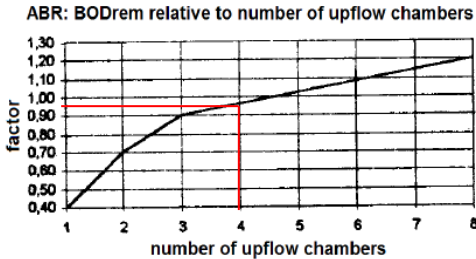
$$factor = (temp - 25) * 0.05 / 5 + 1$$

temp ≥ 30 °C:

$$factor = (temp - 30) * 0.03 / 5 + 1.05$$

Temperatur pada ABR pada umumnya yaitu sekitar 25 °C, maka factor BOD removal untuk temperature 1

## → Chamber



no = 1:  
factor = 0.4

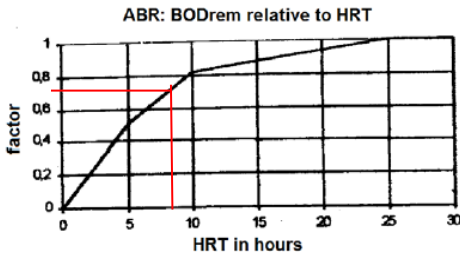
no = 2:  
factor = 0.7

no = 3:  
factor = 0.9

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

Jumlah kompartemen ABR yang diperoleh berjumlah 4 kompartemen, sehingga diperoleh pada grafik faktor BOD removal sebesar 0,95

## → HRT factor



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

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

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

HRT ≥ 25h:  
factor = 1

Pada hasil perhitungan HRT diperoleh 8 jam sehingga diperoleh pada grafik faktor BOD removal sebesar 0.7

Dari keseluruhan parameter grafik-grafik diatas, maka perhitungan efisiensi BOD dapat dicari:

## → Lumpur BOD

Efisiensi BOD removal

$$= OLR \times BOD \text{ Strength} \times T^\circ \times \Sigma \text{kompt} \times HRT \times 100\%$$

$$= 1 \times 0.8 \times 1 \times 0.95 \times 0.7 \times 100\%$$

$$= 54 \%$$

## Lumpur BOD (P)

$$\begin{aligned}
 &= \text{Efisiensi BOD rem} \times \text{eff BOD komp I} \times \text{BOD strength} \times Q \text{ peak} \\
 &= 54 \% \times (38\% \times 100,5 \text{ mg/L}) \times 0,8 \times 654,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 10,8 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

### → Lumpur TSS

$$\text{TSS influent} = 67,2 \text{ mg/L}$$

TSS teremoval

$$= (\text{TSS influent} - \text{baku mutu}) \text{ mg/L} \times Q_{\text{peak}}$$

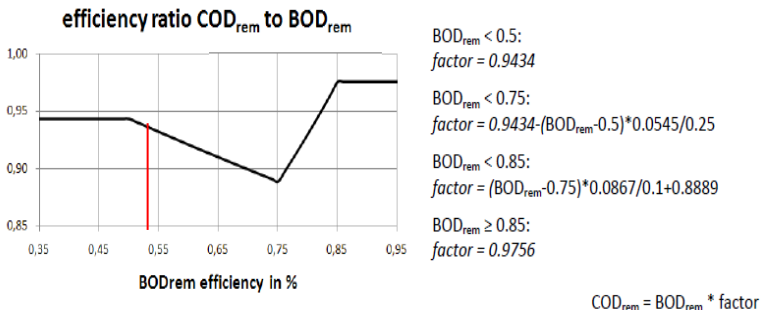
$$= (67,2 - 30) \text{ mg/L} \times 654,5 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}}$$

$$= 24,3 \text{ kg/hari}$$

## Effluent dari Kompartemen II

Dari pengolahan kompartemen II tersebut, didapatkan efisiensi (persen removal) dari masing-masing parameter (BOD, TSS, dan COD), maka efisiensi COD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi BOD dengan efisiensi COD.

✓ Efisiensi BOD = 54 %,



Grafik factor efisiensi COD menunjukkan 0.94, maka

**Efisiensi COD**

$$= \text{Efisiensi BOD} \times \text{factor efisiensi rasio COD/BOD}$$

$$= 54 \% \times 0.94$$

$$= 51 \%$$

**Efisiensi TSS**

$$= \frac{\text{effluent dari kompartemen I} - \text{effluent baku mutu}}{\text{effluent dari kompartemen I}} \times 100\%$$



$$= \frac{67,2-30}{67,2} \times 100\%$$

$$= 55,4 \%$$

➔ **Effluent BOD, TSS, COD**

TSS = (100 – 55,4) % x 67,2 mg/L  
= 30 mg/L

COD = (100 – 51) % x 166 mg/L  
= 81 mg/L

BOD = (100 – 54) % x 100,5 mg/L  
= 46,2 mg/L

Sehingga effluent dari masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 6.6.

**Tabel 6. 6 Efisiensi Pengolahan dengan ABR Cluster III**

Parameter	Influent (mg/l)	Effluent (mg/l)	Baku Mutu Air Limbah Domestik (mg/l)	Keterangan
TSS	210	30	30	Memenuhi
COD	268	81	100	Memenuhi
BOD	162	46,2	30	Tidak
Minyak lemak	20	1	5	Memenuhi
NH3	48,57	9,7	10	Memenuhi

Dengan mengacu pada baku mutu Permen KLHK No. 68 tahun 2016, effluent ABR untuk semua parameter sudah memenuhi baku mutu sedangkan untuk parameter BOD belum memenuhi baku mutu. Pada perencanaan *cluster* III tidak dibangun unit HAPS karena materialnya yang mahal sedangkan penduduk yang dilayani tidak sebanyak *cluster* I dan *cluster* II, sehingga baku mutu yang belum terpenuhi perlu dilakukan pengolahan lanjutan yaitu HAPS namun dengan waktu pembangunan secara bertahap.

### 6.5 Hybrid Aero-Plant Reactor System

Pada unit *Hybrid Aero-Plant Reactor System* (HAPS) akan berlangsung proses full aerobic dengan tujuan bisa menurunkan kandungan total coliform yang belum memenuhi baku mutu di ABR. Total coliform adalah bakteri yang hidup pada kondisi anaerob sehingga ketika diberikan kondisi aerob maka total coliform akan mati. Pada unit ini akan dibantu dengan suplai oksigen dari diffuser, selain itu ada media tanam dan tanaman-tanaman yang digunakan untuk mereduksi bakteri total coliform. Kemudian bisa dengan bantuan sinar UV atau sinar matahari baik ke dalam ataupun di saluran outlet apabila dibiarkan terbuka. Tanaman yang digunakan untuk membantu proses pembentukan biofilm dalam HAPS diantaranya

- *Scripus grossus*
- Bunga Irish
- Bunga kana
- Pepaya
- Bambu air
- *Cyperus papyrus*

Jumlah tanaman yang digunakan yaitu bervariasi berdasarkan luas permukaan dari bangunan HAPS pada *cluster* I dan *cluster* II. Berikut merupakan perhitungan removal pada HAPS untuk semua *cluster* kecuali *cluster* III yang tidak dibangun karena efisiensi biaya.

#### Diketahui:

[TSS in]	= 30 mg/L
[COD in]	= 107 mg/L
[BOD in]	= 63 mg/L
[N in]	= 9,7 mg/L
T	= 25°C

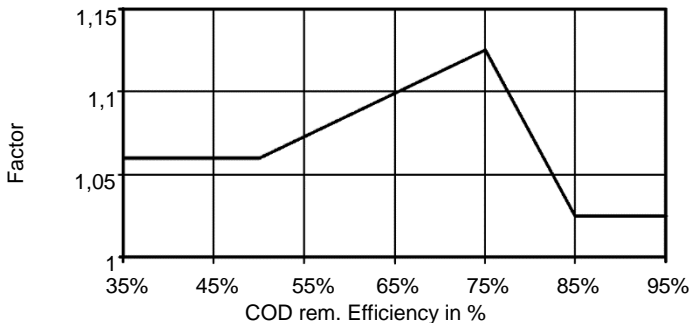
#### Direncanakan:

HRT tiap bak	= 2,2 jam
Jumlah bak direncanakan (n)	= 1 buah
Porositas media ( $P_m$ )	= 98%
Luas spesifik media	= 100 m

#### Perhitungan Removal

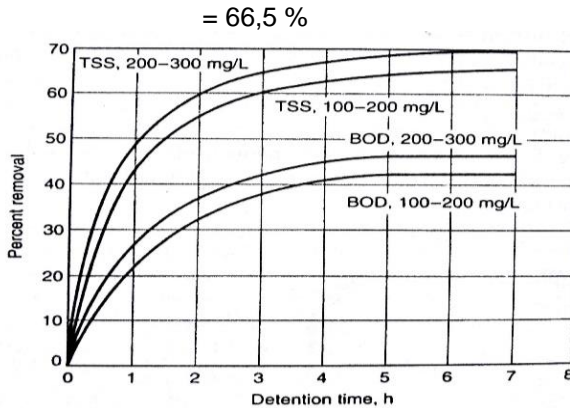
$$\begin{aligned}
 f\text{-temp (temp} < 30^\circ\text{C)} &= ((\text{temp}-25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
 &= ((25 - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
 &= 1 \\
 f\text{-strenght} &= \text{COD in} \times 0,17 / 2.000 + 0,87 \\
 (\text{COD in} < 2.000 \text{ mg/L}) &= 107 \times 0,17 / 2.000 + 0,87 \\
 &= 0,87 \\
 f\text{-HRT (HRT} < 24 \text{ jam)} &= ((\text{HRT} - 33) \times 0,09 / 67) + 0,7 \\
 &= ((2,2 - 33) \times 0,09 / 67) + 0,7 \\
 &= 0,66 \\
 f\text{-surface} &= 1 \text{ (surface} < 200 \text{ m}^2\text{/m}^3\text{)} \\
 \text{COD removal} &= f\text{-temp} \times f\text{-strenght} \times f\text{-HRT} \times f\text{-surface} (1 + (n \times 0,04)) \\
 &= 1 \times 0,87 \times 0,66 \times 1 (1 + (1 \times 0,04)) \\
 &= 61 \%
 \end{aligned}$$

Rasio BOD/COD removal didapatkan dari memplotkan efisiensi removal COD pada Gambar dibawah ini



**Gambar 6. 8 Rasio Efisiensi Penyisihan BOD terhadap Penyisihan COD**  
 Sumber: Sasse, 2009

$$\begin{aligned}
 \text{BOD/COD removal (COD removal} < 75\%) &= (\text{COD removal} - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \\
 &= (0,61 - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \\
 &= 1,08 \\
 \text{BOD removal} &= \text{BOD/COD removal} \times \text{COD removal} \\
 &= 1,08 \times 61 \%
 \end{aligned}$$



**Tipikal Removal BOD dan TSS pada Sedimentasi Primer**

Dengan persamaan pada Gambar diatas removal TSS dihitung dengan merencanakan waktu tinggal di HAPS selama 2,2 jam.

$$\begin{aligned}
 \text{TSS removal} &= td / (0,014 + 0,0075 td) \\
 &= 3,5 / (0,014 + (0,0075 \times 3,5)) \\
 &= 87 \% \\
 [\text{COD out}] &= [\text{COD in}] \times (1 - \text{COD removal}) \\
 &= 107 \times (1 - 61 \%) \\
 &= 42 \text{ mg/L} \\
 [\text{BOD out}] &= [\text{BOD in}] \times (1 - \text{BOD removal}) \\
 &= 63 \times (1 - 66,5 \%) \\
 &= 22 \text{ mg/L} \\
 [\text{TSS out}] &= [\text{TSS in}] \times (1 - \text{TSS removal}) \\
 &= 30 \times (1 - 87\%) \\
 &= 4 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

### **6.5.1 Removal Ammonia (NH<sub>3</sub>) di IPAL** **Kebutuhan Nutrien Anaerob (ABR)**

Air limbah dengan konsentrasi tinggi akan membutuhkan penambahan nitrogen dan fosfor untuk menunjang pertumbuhan bakteri anaerobik. Pada influen direkomendasikan rasio COD:N:P adalah 600:5:1 selama *start up* dan 300:5:1 selama operasi dalam jangka panjang (Tchobanoglous, 2014).

$$\text{Rasio COD:N:P} = 300:5:1$$

$$\begin{aligned}
[\text{COD in}] &= 166 \text{ mg/L} \\
[\text{COD out}] &= 107 \text{ mg/L} \\
[\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD in}] - [\text{COD out}] \\
&= 166 - 107 \\
&= 59 \text{ mg/L} \\
[\text{Kebutuhan N}] &= (5/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
&= (5/300) \times 59 \\
&= 0,98 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

#### Kebutuhan Nutrien Aerob (HAPS)

Untuk nilai SRT lebih dari 7 hari, sekitar 5 gram nitrogen dan 1 gram fosfor akan dibutuhkan per 100 gram BOD untuk mencukupi kebutuhan nutrien (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

$$\begin{aligned}
\text{Rasio BOD:N:P} &= 100:5:1 \\
\text{BOD in} &= 63 \text{ mg/L} \\
\text{BOD out} &= 22 \text{ mg/L} \\
\text{BOD tersisihkan} &= \text{BOD in} - \text{BOD out} \\
&= 63 - 22 \\
&= 41 \text{ mg/L} \\
[\text{Kebutuhan N}] &= (5 / 100) \times \text{BOD tersisihkan} \\
&= (5 / 100) \times 41 \\
&= 2,05 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

#### Sisa Ammonia

$$\begin{aligned}
\text{Sisa ammonia} &= \text{Nin dari SPAL} - \text{kebutuhan nutrient ABR} - \\
&\text{kebutuhan nutrient HAPS} \\
&= 9,7 - 0,98 - 2,05 \\
&= 6,67 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

#### **6.5.2 Removal E-Coli**

Bakteri E.Coli atau patogen adalah bakteri yang hidup pada kondisi anaerob sehingga ketika diberikan kondisi aerob maka E.Coli akan mati. Bakteri E.Coli tidak bisa hidup ketika diberikan sinar UV atau sinar matahari. Penyisihan bakteri E.Coli menggunakan pendekatan koefisien kematian E.Coli (Kb) dengan memperhatikan waktu detensi pada dan suhu pada ABR.

Diketahui:

- T HAPS = 30°
- Td HAPS = 2,2 jam
- Ne = Bakteri E.Coli effluen
- No = Bakteri E.Coli influen  
= 22 x 10<sup>8</sup> MPN/100 mL
- Kb = koefisien kematian E.Coli

$$\begin{aligned} \text{➤ Kb} &= 2,6 \times (1,19)^{T-20} \\ &= 2,6 \times (1,19)^{30-20} \\ &= 14,8 \text{ hari} \\ &= 355,2 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } \frac{Ne}{No} = \frac{1}{1+kb \text{ td}}$$

$$Ne = No \left( \frac{1}{1+355,2 \text{ jam} \times 2,2 \text{ jam}} \right)$$

$$Ne = 22 \times 10^8 \left( \frac{1}{1+355,2 \text{ jam} \times 2,2 \text{ jam}} \right)$$

$$Ne = 2.811.717 \text{ mg/L (MPN/100 mL)}$$

Hasil yang diperoleh ketika menggunakan pendekatan suhu dan waktu detensi menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi namun belum cenderung masih tinggi. Maka agar bisa diturunkan kembali hingga memenuhi baku mutu air limbah, maka dilakukan cara lain, diantaranya:

- Berdasarkan penelitian Agustika 2013, Bakteri E.Coli dapat direduksi menggunakan media pasir dan media tanaman mangrove berumur 6 bulan dengan masing-masing removal sebesar 82% dan 96%
- Menginjeksikan sinar UV atau sinar matahari kedalam bak HAPS
- Menginjeksikan oksigen sehingga terjadi suasana aerob pada HAPS yang menyebabkan kematian pada E.Coli.

Berikut merupakan perhitungan konsentrasi effluen air limbah dengan media pasir dan tanaman, khususnya mangrove;

- Media Pasir

- Konsentrasi awal = 2.811.717 mg/L,
- % removal = 82 %
- Penyisihan E.Coli  
= (100 – 82) % x 2.811.717 mg/L  
= 506.109 mg/L

- Media Tanaman  
Konsentrasi awal = 506.109 mg/L,  
% removal = 96 %  
Penyisihan E.Coli  
= (100 – 96) % x 506.109 mg/L  
= 20.244 mg/L

Effluen yang tersisa masih berada diatas baku mutu sehingga hal yang bisa dilakukan adalah memanfaatkan aerasi dengan suplai oksigen melalui difuser didalam bak HAPS dan memanfaatkan sinar matahari yang dipancarkan ke arah bak HAPS untuk membunuh bakteri e.coli.

### 6.5.3 Produksi Lumpur HAPS

Direncanakan:

*Synthesis yield in aerob* (Y) = 0,6 mg VSS/mg COD

*Synthesis yield in anaerob* (Y) = 0,03 dan 0,06 g VSS/g COD

*Endogenousdecay coefficient*(b) =0,15 gVSS/gVSS.hari

*Fraction of biomass as cell debris* (f<sub>d</sub>) = 0,15 g VSS/g VSS

*Sludge retention time* (SRT) = 5 hari

VSS/TSS = 0,85

#### Lumpur HAPS

$$\begin{aligned} \text{Observed yield coefficient } (Y_{\text{obs}}) &= \frac{Y}{1+b(\text{SRT})} + \frac{(f_d)(b)(Y)(\text{SRT})}{1+b(\text{SRT})} \\ &= \frac{0,6}{1+0,15(5)} + \frac{(0,15)(0,15)(0,6)(5)}{1+0,15(5)} \\ &= \frac{0,6675}{1,75} \\ &= 0,38 \end{aligned}$$

#### Cluster I

$$\begin{aligned} P_{x \text{ VSS}} &= Y_{\text{obs}} \times Q \text{ in} \times ([\text{COD in aerob}] - [\text{COD out}]) / 1.000 \\ &= 0,38 \times 2.345 \times (90,2 - 36) / 1.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 48,3 \text{ kg VSS/hari} \\
 P_{x \text{ TSS}} &= P_{x \text{ VSS}} / 0,85 \\
 &= 48,3 / 0,85 \\
 &= 56,8 \text{ kg TSS/hari} \\
 S_{sl} &= 1,05 \text{ (lumpur hasil proses lumpur aktif)} \\
 \rho_{air} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\
 \%solid &= 5\% \\
 \text{Debit lumpur (} Q_w \text{)} &= P_{x \text{ TSS}} / (S_s \times \rho_{air} \times 5) \\
 &= 56,8 / (1,02 \times 1000 \times 5) \\
 &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

### **Cluster II**

$$\begin{aligned}
 P_{x \text{ VSS}} &= Y_{obs} \times Q \text{ in} \times ([\text{COD in aerob}] - [\text{COD out}]) / 1.000 \\
 &= 0,38 \times 2.088 \times (90,2 - 36) / 1.000 \\
 &= 43 \text{ kg VSS/hari} \\
 P_{x \text{ TSS}} &= P_{x \text{ VSS}} / 0,85 \\
 &= 43 / 0,85 \\
 &= 50,5 \text{ kg TSS/hari} \\
 S_{sl} &= 1,05 \text{ (lumpur hasil proses lumpur aktif)} \\
 \rho_{air} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\
 \%solid &= 5\% \\
 \text{Debit lumpur (} Q_w \text{)} &= P_{x \text{ TSS}} / (S_s \times \rho_{air} \times 5) \\
 &= 50,5 / (1,02 \times 1000 \times 5) \\
 &= 0,009 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

### **6.5.4 Kebutuhan Oksigen untuk aerasi (Bak Aerob HAPS)**

$$\begin{aligned}
 \text{Massa jenis } O_2 \text{ (} \rho \text{)} &= 1,1725 \text{ kg/m}^3 \\
 O_2 \text{ dalam udara kering} &= 23,2\% \\
 \text{Asumsi } O_2 \text{ terlarut} &= 50\% \\
 \text{COD resirkulasi} &= 1,42 \times Y_{obs} \times Q_w \times ([\text{COD in aerob}] - [\text{COD out}]) \\
 &= 1,42 \times 0,38 \times 0,02 \times (90,2 - 36) \\
 &= 0,6 \text{ g/hari}
 \end{aligned}$$

### **Cluster I**

$$\begin{aligned}
 \text{COD teroksidasi} &= (Q \times [\text{COD in aerob}]) - \text{COD resirkulasi} - \text{COD out} \\
 &= (2.345 \text{ m}^3/\text{hari} \times 90,2) - 0,7 - 36 \\
 &= 211.482 \text{ g/hari} \\
 &= 211,5 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$



Kebutuhan udara teoritis	$= \text{COD teroksidasi} / (\rho \times 23,2\%)$ $= 211,5 / (1,1725 \times 23,2\%)$ $= 777,5 \text{ m}^3/\text{hari}$
Kebutuhan udara aktual	$= \text{Kebutuhan udara teoritis} / \text{O}_2 \text{ terlarut}$ $= 777,5 / 50\%$ $= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari}$ $= 1.500.000 \text{ L/hari}$ $= 1.041 \text{ L/menit}$

### **Cluster II**

COD teroksidasi	$= (Q \times [\text{COD in aerob}]) - \text{COD resirkulasi} - \text{COD out}$ $= (2.088 \text{ m}^3/\text{hari} \times 90,2) - 0,7 - 36$ $= 188.300 \text{ g/hari}$ $= 188,3 \text{ kg/hari}$
-----------------	--

Kebutuhan udara teoritis	$= \text{COD teroksidasi} / (\rho \times 23,2\%)$ $= 188,3 / (1,1725 \times 23,2\%)$ $= 692,2 \text{ m}^3/\text{hari}$
Kebutuhan udara aktual	$= \text{Kebutuhan udara teoritis} / \text{O}_2 \text{ terlarut}$ $= 692,2 / 50\%$ $= 1.384 \text{ m}^3/\text{hari}$ $= 1.384.400 \text{ L/hari}$ $= 961,3 \text{ L/menit}$

Digunakan 3 buah blower yang dipasang secara paralel untuk menyuplai oksigen melalui pipa yang dihubungkan langsung dengan diffuser. Berdasarkan prinsip aerobik bahwa bakteri e-coli akan mati apabila kondisi benar-benar full aerobik.

### **6.5.3 Dimensi HAPS**

HAPS didesain tersambung langsung dengan bangunan ABR, sehingga hasil dimensi yang diperoleh ada penambahan dimensi untuk panjang HAPS, disesuaikan dengan dimensi dari ABR.

- td = 2,2 Jam

- Kedalaman HAPS = kedalaman ABR = 4 m
- Freeboard = 0,3 m

Cluster I

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak}} &= 2.345 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 97,7 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Volume HAPS I} &= Q_{\text{peak}} \times t_d \\
 &= 97,7 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 217 \text{ m}^3 \\
 \text{Asurface HAPS I} &= \frac{\text{Volume Organica I}}{\text{Kedalaman Organica I}} \\
 &= \frac{217 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\
 &= 54 \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang HAPS I} &= 5,7 \text{ m} \\
 \text{lebar HAPS I} &= 9,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Cluster II

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak}} &= 1.553,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 64,7 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Volume HAPS II} &= Q_{\text{peak}} \times T_d \\
 &= 64,7 \text{ m}^3/\text{menit} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 194,1 \text{ m}^3 \\
 \text{Asurface HAPS II} &= \frac{\text{Volume Organica II}}{\text{Kedalaman Organica II}} \\
 &= \frac{194,1 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\
 &= 48,5 \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang HAPS II} &= 5,2 \text{ m} \\
 \text{lebar HAPS II} &= 9,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## BAB 7

### BOQ & RAB

Bill Of Quantity (BOQ) merupakan perhitungan suatu bahan atau bangunan untuk mengetahui jumlah atau volume yang dibutuhkan, sedangkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan suatu bahan atau bangunan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan melalui Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) setelah diketahui BOQ.

#### 7.1 Perpipaan

Dalam perencanaan ini digunakan pipa PVC. data masing masing diameter dan panjang pipa diketahui dari perhitungan dimensi pipa. Setiap batang pipa PVC sepanjang 6 m. Berikut ini adalah perincian jumlah pipa yang dibutuhkan yang disajikan pada Tabel 7.1, 7.2, dan 7.3.

**Tabel 7. 1 Panjang pipa tiap segmen *Cluster* I**

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
0	SR		5	0.1	3066
	<b>Saluran A</b>				
1	A1-AA	tersier	539.0	0.1	90
2	A2'-A2	tersier	263.5	0.1	44
3	A2-AA1	tersier	533.0	0.15	89
4	AA-A	sekunder	60.0	0.15	10
5	A3-A	tersier	506.0	0.1	84
6	A4-AB3	tersier	497.5	0.1	83
7	A5-AB	tersier	188.0	0.1	31
8	A6-AB1	tersier	168.0	0.1	28
9	A7-AB2	tersier	155.0	0.1	26

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
10	AB-A	sekunder	172.0	0.15	29
11	A8-A1'	tersier	270.0	0.1	45
12	A9-A1'	tersier	231.0	0.1	39
13	A-C1'	Primer	194.5	0.15	32
<b>Saluran B</b>					
14	B1-BA1	tersier	178.0	0.1	30
15	B2-BA2	tersier	265.5	0.1	44
16	BA-B	sekunder	345.0	0.15	58
17	B3-BB1	tersier	314.5	0.1	52
18	B4-BB	tersier	314.5	0.1	52
19	BB-B1'	sekunder	123.5	0.15	21
20	B5-B2'	tersier	364.0	0.1	61
21	B6-B3'	tersier	170.0	0.1	28
22	B-C	Primer	652.0	0.2	109
<b>saluran C</b>					
23	C1-CA	tersier	329.5	0.1	55
24	C2-CA1	tersier	354.0	0.1	59
25	CA-C2'	sekunder	65.0	0.15	11
26	C-D	Primer	561.0	0.2	94
<b>saluran D</b>					
27	D1-DA	tersier	138.50	0.1	23
28	D2-DA1	tersier	130.00	0.1	22
29	D3-DA2	tersier	164.00	0.1	27
30	D4-DA3	tersier	131.50	0.1	22
31	DA-D	sekunder	667.00	0.15	111

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
32	D5-DB6	tersier	68.50	0.1	11
33	D6-DB5	tersier	65.50	0.1	11
34	D7-DB4	tersier	60.50	0.1	10
35	D8-DB3	tersier	53.50	0.1	9
36	D9-DB2	tersier	48.50	0.1	8
37	D10-DB1	tersier	43.50	0.1	7
38	D11-DB	tersier	39.50	0.1	7
39	DB-D1'	sekunder	270.00	0.15	45
40	D12-D2'	tersier	262.50	0.1	44
41	D13-D3'	tersier	257.00	0.1	43
42	D14-D4'	tersier	247.00	0.1	41
43	D15-D5'	tersier	239.00	0.1	40
44	D16-D6'	tersier	107.00	0.1	18
45	D17-D7'	tersier	101.00	0.1	17
46	D18-D8'	tersier	92.50	0.1	15
47	D19a-D19"	tersier	32.00	0.1	5
48	D19b-D19"	tersier	36.50	0.1	6
49	D19c-D19"	tersier	47.50	0.1	8
50	D19"-D19	tersier	121.50	0.1	20
51	D19'-D19	tersier	121.50	0.1	20
52	D19-DC	tersier	214.50	0.1	36
53	D20-DC1	tersier	224.50	0.1	37
54	D21-DC2	tersier	235.50	0.1	39
55	D22-DC3	tersier	247.00	0.1	41
56	D23-DC4	tersier	256.50	0.1	43

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
57	D24-DC5	tersier	113.00	0.1	19
58	D25-DC6	tersier	113.00	0.1	19
59	D26-DC7	tersier	113.00	0.1	19
60	DC-D9'	sekunder	337.00	0.15	56
61	D27-D10'	tersier	337.00	0.1	56
62	D28-D11'	tersier	337.00	0.1	56
63	D29-D12'	tersier	80.50	0.1	13
64	D30-DD	tersier	308.00	0.1	51
65	D31-DD1	tersier	319.50	0.1	53
66	D32-DD2	tersier	319.50	0.1	53
67	D33-DD3	tersier	323.00	0.1	54
68	D34-DD4	tersier	326.00	0.1	54
69	D35-DD5	tersier	261.00	0.1	44
70	D36-DD6	tersier	261.00	0.1	44
71	D37-DD7	tersier	284.00	0.1	47
72	D38-DD8	tersier	154.50	0.1	26
73	D39-DD9	tersier	83.50	0.1	14
74	D40-DD10	tersier	82.00	0.1	14
75	D41-DD11	tersier	77.00	0.1	13
76	D42-DD12	tersier	73.00	0.1	12
77	D43-DD13	tersier	64.50	0.1	11
78	D44-DD14	tersier	65.00	0.1	11
79	D45-DD15	tersier	70.00	0.1	12
80	D46-DD16	tersier	71.00	0.1	12
81	DD-D13'	sekunder	632.00	0.15	105

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
82	D-IPAL	Primer	486	0.2	81

**Tabel 7. 2 Panjang pipa tiap segmen *Cluster II***

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
0	SR		5	0.1	2730
	<b>Saluran A</b>				
1	A1-AA	tersier	242.0	0.1	40
2	A2-AA	tersier	117.0	0.1	20
3	A3-A5	tersier	86.0	0.1	14
4	A4-A5	tersier	85.5	0.1	14
5	A5-AA1	tersier	250.5	0.1	42
6	A6-AA1	tersier	123.0	0.1	21
7	A7-A9	tersier	144.0	0.1	24
8	A8-A9	tersier	60.5	0.1	10
9	A9-AA	tersier	266.0	0.1	44
10	A10-A11	tersier	166.0	0.1	28
11	A11-AA	tersier	120.0	0.1	20
12	AA-AA'	sekunder	193.5	0.15	32
13	AA'-A1'	sekunder	742.0	0.15	124
14	A12-AB	tersier	138.0	0.1	23
15	A13-AB1	tersier	286.0	0.1	48
16	A14-AB2	tersier	185.5	0.1	31

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
17	A15-AB3	tersier	292.0	0.1	49
18	A16-AB4	tersier	300.0	0.1	50
19	A17-AB5	tersier	258.5	0.1	43
20	A18-AB6	tersier	255.5	0.1	43
21	A19-AB7	tersier	250.5	0.1	42
22	A20-AB8	tersier	443.0	0.1	74
23	A21-AB9	tersier	462.0	0.1	77
24	A22-AB10	tersier	481.0	0.1	80
25	A23-AB11	tersier	500.0	0.1	83
26	AB-A	sekunder	408.0	0.15	68
27	A24-A	tersier	506.0	0.1	84
28	A25-AC12	tersier	526.5	0.1	88
29	A26-AC11	tersier	95.5	0.1	16
30	A27-AC10	tersier	90.5	0.1	15
31	A28-AC9	tersier	90.5	0.1	15
32	A29-AC8	tersier	90.5	0.1	15
33	A30-A32	tersier	217.5	0.1	36
34	A31-A32	tersier	235.0	0.1	39
35	A32-A33	tersier	125.0	0.1	21
36	A33-AC7	tersier	593.0	0.1	99
37	A34-AC6	tersier	561.5	0.1	94
38	A35-AC5	tersier	625.0	0.1	104
39	A36-AC4	tersier	90.5	0.1	15
40	A37-AC3	tersier	652.0	0.1	109
41	A38-AC2	tersier	90.5	0.1	15



No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
42	A39-AC1	tersier	671.5	0.1	112
43	A40-AC	tersier	686.0	0.1	114
44	AC-A	sekunder	403.0	0.15	67
45	A41-A1'	tersier	400.0	0.1	67
46	A42-A2'	tersier	400.0	0.1	67
47	A43-A2'	tersier	280.5	0.1	47
48	A-B	Primer	272	0.2	45
49	B1-BA	tersier	146.0	0.1	24
50	B2-BA1	tersier	150.0	0.1	25
51	B3-BA2	tersier	150.0	0.1	25
52	B4-BA3	tersier	150.0	0.1	25
53	B5-BA4	tersier	150.0	0.1	25
54	B6-BA5	tersier	150.0	0.1	25
55	B7-BA6	tersier	150.0	0.1	25
56	B8-BA7	tersier	150.0	0.1	25
57	BA-B	sekunder	293.5	0.15	49
58	B9-B1'	tersier	140.0	0.1	23
59	B10-B2'	tersier	136.5	0.1	23
60	B11-B3'	tersier	130.0	0.1	22
61	B-C	primer	176	0.2	29
62	C1-CA	tersier	84.5	0.1	14
63	C2-CA1	tersier	93	0.1	16
64	C3-CA2	tersier	103	0.1	17

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
65	C4-CA3	tersier	113	0.1	19
66	C5-CA4	tersier	122	0.1	20
67	CA-C	sekunder	220	0.15	37
68	C-IPAL	Primer	70	0.2	12

**Tabel 7. 3 Panjang pipa tiap segmen Cluster III**

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
0	SR		5	0.1	1711
	<b>Saluran A</b>				
1	A1-AA	tersier	328	0.1	55
2	A2-AA	tersier	102.5	0.1	17
3	A3-AA1	tersier	110	0.1	18
4	A4-AA2	tersier	94	0.1	16
5	A5-AA3	tersier	90	0.1	15
6	A1'-A6	tersier	100	0.1	17
7	A2'-A6	tersier	100	0.1	17
8	A3'-A6	tersier	100	0.1	17
9	A4'-A6	tersier	100	0.1	17
10	A6-AA1	tersier	148.5	0.1	25
11	A7-AA	tersier	80.5	0.1	13
12	AA-AB	sekunder	273	0.15	46
13	A8-A9	tersier	353	0.1	59

No	Jalur pipa	saluran	Panjang pipa	Diameter pipa	Jumlah pipa
			m	m	buah
14	A9-A10	tersier	150	0.1	25
15	A10-AB1	tersier	547.5	0.15	91
16	A11-AB2	tersier	237	0.1	40
17	A12-AB3	tersier	206	0.1	34
18	AB-A3'	sekunder	677	0.2	113
19	A13-AC	tersier	172.5	0.1	29
20	AC-A1'	sekunder	354	0.15	59
21	A14-A	tersier	181.5	0.1	30
22	A15-AD	tersier	230	0.1	38
23	AD-A2'	sekunder	190	0.15	32
24	A-B	primer	361.5	0.2	60
	<b>Saluran B</b>				
25	B1-BA	tersier	108	0.1	18
26	B2-BA	tersier	102	0.1	17
27	B3-BA	tersier	95	0.1	16
28	B4-BA	tersier	85.5	0.1	14
29	B5-BA	tersier	76.5	0.1	13
30	B1'-B6	tersier	100	0.1	17
31	B2'-B6	tersier	100	0.1	17
32	B6-BA	tersier	75	0.1	13
33	B7-BA	tersier	65	0.1	11
34	BA-BB	sekunder	155.5	0.15	26
35	BB-B	sekunder	60	0.15	10
36	B-IPAL	primer	40	0.2	7

## 7.2 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap yang digunakan yaitu *manhole* pada sistem penyaluran air limbah dan bak kontrol yang diletakkan di setiap rumah.

### 7.2.1 *Manhole*

*Manhole* setiap *Cluster* memiliki jumlah yang berbeda, dimana *manhole* yang digunakan diantaranya yaitu *manhole* lurus, *manhole* belokan, *manhole* pertigaan, *manhole* perempatan, dan *drop manhole*. Jumlah keseluruhan *manhole* disajikan pada Tabel 7.4. Setelah diketahui jumlah yang dibutuhkan, maka dapat ditentukan HSPK *manhole* yang disajikan pada Tabel 7.5.

**Tabel 7. 4 BOQ *manhole* seluruh *Cluster***

No.	Jenis <i>Manhole</i>	<i>cluster</i> I	<i>cluster</i> II	<i>cluster</i> III
		buah	buah	buah
1	Lurus	163	169	58
2	Belokan	22	5	13
3	Pertigaan	56	43	18
4	Perempatan	2	7	4
5	Drop	1	1	1
Total		244	225	94

**Tabel 7. 5 HSPK 1 unit *manhole* tipikal**

No.	Uraian	Satuan	Harga	
			Bahan	Upah
I.	<b>Bahan</b>			
1	Galian Tanah	m <sup>3</sup>	-	86,450.00
2	Pas Urug	m <sup>3</sup>	180,240.00	34,580.00
3	Rabat Beton	m <sup>3</sup>	57,287.98	10,040.63
4	Lantai kerja K-225	m <sup>3</sup>	754,392.16	168,640.00

No.	Uraian	Satuan	Harga	
			Bahan	Upah
5	Dinding, Beton Bertulang 1:2:3	m <sup>3</sup>	1,663,561.05	612,160.96
6	Cover, Beton Bertulang 1:2:3	m <sup>3</sup>	786,076.97	343,988.10
7	Tutup, Beton Bertulang 1:2:3	m <sup>3</sup>	287,807.20	103,341.93
Jumlah			3,729,365.36	1,359,201.62
TOTAL			5,088,566.98	

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2015

### 7.2.2 Bak kontrol

Jumlah bak kontrol dihitung sama dengan jumlah KK atau rumah terlayani yaitu *cluster* I sebanyak 3.066 buah, *cluster* II sebanyak 2.730 buah dan *cluster* III 1.711 buah. Berikut merupakan HSPK dari unit bak kontrol yang didesain sama untuk seluruh rumah yang disajikan pada Tabel 7.6.

**Tabel 7. 6 HSPK 1 unit bak kontrol tipikal**

No.	Uraian	Satuan	Harga (Rp)	
			Bahan	Upah
I.	<b>Bahan</b>			
1	Galian Tanah	m <sup>3</sup>	-	86,450.00
2	Pasir Urug	m <sup>3</sup>	180,240.00	34,580.00
3	Pasangan 1/2 Bata 1:2	m <sup>2</sup>	157,994.90	45,926.25
4	Cover, Beton Bertulang 1:2:3	m <sup>3</sup>	786,076.97	343,988.10
5	Tutup, Beton Bertulang 1:2:3	m <sup>3</sup>	287,807.20	103,341.93
6	Lantai Kerja K-225	m <sup>2</sup>	754,392.16	168,640.00
Jumlah			2,166,511.23	782,926.28

No.	Uraian	Satuan	Harga (Rp)	
			Bahan	Upah
TOTAL			2,949,437.51	

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2015

### RAB Bangunan Pelengkap

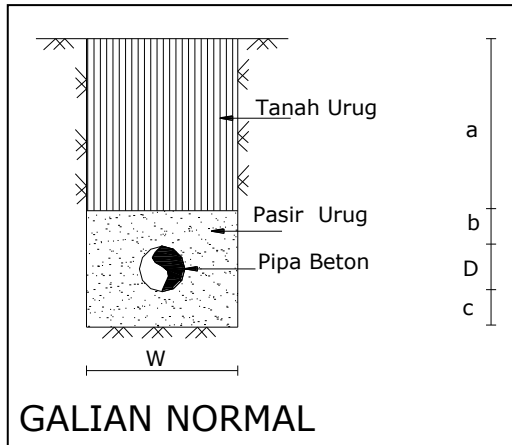
Berikut merupakan rencana anggaran biaya untuk bangunan pelengkap yang disesuaikan dengan HSPK Kota Surabaya Tahun 2015 yang disajikan pada Tabel 7.7

**Tabel 7. 7 RAB Bangunan Pelengkap seluruh Cluster**

cluster	jumlah	satuan	harga satuan	jumlah harga
	buah		Rp	Rp
1	3066	unit	2,949,438	9,042,975,406
2	2730			8,051,964,402
3	1711			5,046,487,580
1	244	unit	5,088,567	1,241,610,343
2	225			1,144,927,571
3	94			478,325,296

### 7.3 Galian dan Urugan Pipa

Penggalian pipa disesuaikan pada keadaan tanah di wilayah perencanaan yang cenderung stabil atau normal. Penanaman pipa dari muka tanah direncanakan sesuai dengan perhitungan penanaman pipa yang telah dihitung sebelumnya. Bentuk galian yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 7.1



**Gambar 7. 1 Galian Normal Pipa Penyalur Limbah**

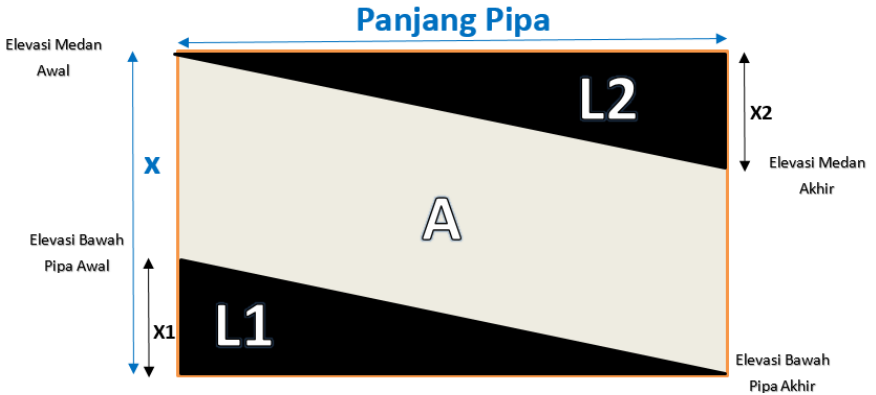
Adapun nilai a,b,c,d dan w telah diatur dalam standar Departemen Pekerjaan Umum yang dapat dilihat melalui Tabel 7.8.

**Tabel 7. 8 Standar Urugan Gali yang Diperkenankan**

No	Diameter	H	Lebar	h tanah	h pasir	h pasir
	mm	Abcd (cm)	w (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)
1	50 -100	100 -115	55 - 60	65 - 75	15	15
2	150 - 200	120 - 125	65 -70	75	15	15
3	250 - 300	130 - 135	75 -80	75	15	15
4	350 - 400	140 -150	85 - 95	75	15	15
5	500 - 600	160 -170	100 -110	75	15	15
6	600 -700	180 - 190	120 -130	75	15	15
7	700 - 900	190 - 200	140 - 150	75	15	15
8	900 - 1100	200 - 210	160 -170	75	15	15
9	1100 - 1300	210 - 220	180 -190	75	15	15

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum

Berdasarkan peraturan di atas maka dapat ditentukan dimensi setiap saluran. Direncanakan memiliki dimensi yang sama untuk ketiga *Cluster* sesuai dengan pipa tersier, sekunder, maupun primer. Bentuk Galian yang direncanakan sepanjang pipa dapat dilihat pada Gambar 7.2



**Gambar 7. 2 Bentuk galian penanaman pipa SPAL**

Berdasarkan gambar bentuk galian yang direncanakan sepanjang pipa, maka dapat dihitung untuk galian pipa.

- $X$  = kedalaman pipa dari elevasi tanah awal hingga elevasi pipa akhir  
= Elevasi tanah awal – elevasi bawah pipa akhir.
- $X1$  = Elevasi bawah pipa awal – elevasi bawah pipa akhir.
- $X2$  = Elevasi tanah awal – elevasi tanah akhir.
- $L1$  = Luas galian area bawah pipa ( $m^2$ ).
- $L2$  = Luas galian area atas pipa ( $m^2$ ).
- Lebar galian =  $w$
- Bongkar paving = Lebar galian x panjang pipa
- Volume galian I = (Luas persegi- $L1$ - $L2$ ) x lebar galian
- Volume pipa =  $\frac{1}{4} \pi D^2 \times Ld$
- Volume urugan pasir =  $[(2 \times 0,1) + D] \times [2,5 \times D] \times Ld - V \text{ pipa}$



- Volume Tanah urug  
= Volume galian- Volume pipa – Volume pasir
- Volume Sisa Tanah Galian  
= Volume galian total – Volume urugan pasir
- Pasir pemasangan paving kembali  
= Panjang pipa x Lebar galian x tebal pasir (3cm)

Perhitungan lengkap BOQ galian pipa untuk ketiga *Cluster* selengkapnya disajikan pada Lampiran 2. Berikut merupakan hasil analisa HSPK yang digunakan untuk pekerjaan SPAL yang disajikan pada Tabel 7.9.

**Tabel 7. 9 Analisa HSPK SPAL**

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
1	<b>Pembongkaran Paving Dipakai Kembali (m<sup>2</sup>)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.0200	org/hr	158,000.00	3160
	Tenaga Kasar	0.0400	org/hr	110,000.00	4400
	<b>Jumlah</b>				7560
	<b>Nilai HSPK</b>				7560
2	<b>Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.0250	org/hr	158,000.00	3950
	Pembantu Tukang	0.7500	org/hr	110,000.00	82500
	<b>Jumlah</b>				82500
	<b>Nilai HSPK</b>				82500
3	<b>Pengurugan Pasir (PADAT) (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pasir Urug	1.2000	m <sup>3</sup>	150,200.00	180240
	<b>Jumlah</b>				180240

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0100	org/hr	158,000.00	1580
	Pembantu Tukang	0.3000	org/hr	110,000.00	33000
	<b>Jumlah</b>				34580
	<b>Nilai HSPK</b>				214820
<b>4</b>	<b>Penggalian Tanah Kembali Untuk Konstruksi (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0190	org/hr	158,000.00	3002
	Pembantu Tukang	0.1020	org/hr	110,000.00	11220
	<b>Jumlah</b>				14222
	<b>Nilai HSPK</b>				14222
<b>5</b>	<b>Pengangkutan Tanah Keluar Proyek (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b><u>Sewa Peralatan</u></b>				
	Sewa Dump Truk 5 Ton	0.2500	Jam	69,200.00	17300
	<b><u>Upah</u></b>				
	Pembantu Tukang	0.2500	org/hr	110,000.00	27500
	<b>Jumlah</b>				27500
	<b>Nilai HSPK</b>				44800
<b>6</b>	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 4" (m)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 4" panjang 4m	0.3000	Batang	93,000.00	27900
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 4" panjang 4m	0.1050	Batang	93,100.00	9775.5
	<b>Jumlah</b>				37675.5

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0041	org/hr	158,000.00	647.8
	Kepala Tukang	0.0135	org/hr	148,000.00	1998
	Tukang	0.1350	org/hr	121,000.00	16335
	Pembantu Tukang	0.0810	org/hr	110,000.00	8910
	<b>Jumlah</b>				27890.8
	<b>Nilai HSPK</b>				65566.3
<b>7</b>	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 6" (m)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 6" panjang 6m	0.2000	Batang	554,900.00	110980
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 6" panjang 6m	0.1050	Batang	554,900.00	58264.5
	<b>Jumlah</b>				169244.5
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0041	org/hr	158,000.00	647.8
	Kepala Tukang	0.0135	org/hr	148,000.00	1998
	Tukang	0.1350	org/hr	121,000.00	16335
	Pembantu Tukang	0.0810	org/hr	110,000.00	8910
	<b>Jumlah</b>				27890.8
	<b>Nilai HSPK</b>				197135.3
<b>8</b>	<b>Pengurugan Pasir Untuk Paving (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Pasir Urug	1.2000	m <sup>3</sup>	150,200.00	180240
	<b>Jumlah</b>				180240
	<b><u>Upah</u></b>				

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Mandor	0.0100	org/hr	158,000.00	1580
	Pembantu Tukang	0.3000	org/hr	110,000.00	33000
	<b>Jumlah</b>				34580
	<b>Nilai HSPK</b>				214820
9	<b>Pemasangan Paving Stone (Blok) Tebal 6 cm Abu-Abu Empat Persegi Panjang (m<sup>2</sup>)</b>				
	<u><b>Bahan</b></u>				
	Paving Stone Abu-Abu Persegi Panjang Tebal 6cm	1.0000	m <sup>2</sup>	78,500.00	78500
	<b>Jumlah</b>				78500
	<u><b>Upah</b></u>				
	Mandor	0.0250	org/hr	158,000.00	3950
	Kepala Tukang	0.0250	org/hr	148,000.00	3700
	Tukang	0.5000	org/hr	121,000.00	60500
	Pembantu Tukang	0.5000	org/hr	110,000.00	55000
	<b>Jumlah</b>				123150
	<b>Nilai HSPK</b>				201650

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2015

Setelah dilakukan perhitungan BOQ dan dilakukan analisis HSPK SPAL, maka dapat diketahui RAB SPAL seluruh *cluster* yang disajikan pada Tabel 7.10, 7.11, dan 7.12

**Tabel 7. 10 RAB SPAL Cluster I**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	pembongkaran paving	m <sup>2</sup>	11288.90	7,560	85,344,084
2	Galian	m <sup>3</sup>	13790.89	82,500	1,137,748,833
3	Urugan Pasir	m <sup>3</sup>	1554.25	214,820	333,883,639
4	Urugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	12020.19	14,222	170,951,124
5	Pembuangan Tanah	m <sup>3</sup>	1770.71	44,800	79,327,640
6	Pemasangan Pipa 4"	m	5098.00	65,566	334,256,997
7	Pemasangan Pipa 6"	m	13130.50	197,135	2,588,485,057
8	Pasir Paving	m <sup>3</sup>	338.67	214,820	72,752,445
9	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	11288.90	201,650	2,276,406,685
Total					7,079,156,503

**Tabel 7. 11 RAB SPAL Cluster II**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	pembongkaran paving	m <sup>2</sup>	10751.70	7,560	81,282,852
2	Galian	m <sup>3</sup>	11677.68	82,500	963,408,661
3	Urugan Pasir	m <sup>3</sup>	1328.33	214,820	285,351,260
4	Urugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	10178.11	14,222	144,753,020
5	Pembuangan Tanah	m <sup>3</sup>	1499.58	44,800	67,180,960
6	Pemasangan Pipa 4"	m	14658	65,566	961,070,825
7	Pemasangan Pipa 6"	m	2778	197,135	547,641,863
8	Pasir Paving	m <sup>3</sup>	322.55	214,820	69,290,406
9	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	10751.70	201,650	2,168,080,305

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Total					5,288,060,152

**Tabel 7. 12 RAB SPAL Cluster III**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	pembongkaran paving	m <sup>2</sup>	4040.58	7,560	30,546,747
2	Galian	m <sup>3</sup>	3446.44	82,500	284,331,316
3	Urugan Pasir	m <sup>3</sup>	609.12	214,820	130,851,250
4	Urugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	2746.58	14,222	39,061,828
5	Pembuangan Tanah	m <sup>3</sup>	699.86	44,800	31,353,840
6	Pemasangan Pipa 4"	m	2111.00	65,566	138,410,459
7	Pemasangan Pipa 6"	m	4238.00	197,135	835,459,401
8	Pasir Paving	m <sup>3</sup>	121.22	214,820	26,039,890
9	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	4040.58	201,650	814,781,949
Total					2,330,836,679

### 7.3 BOQ dan RAB IPAL

BOQ IPAL terdiri dari sumur pengumpul, *Distribution Box*, ABR dan HAPS pada ketiga *Cluster*. Pekerjaan untuk sumur pengumpul dan *Distribution Box* terdiri dari pekerjaan tanah dan pembetonan.

#### 7.4.1 Sumur pengumpul

##### *Cluster 1*

##### Dimensi:

Panjang unit = 200 cm

Lebar unit = 150 cm

Tinggi unit = 200 cm

Tebal tutup = 10 cm

Kedalaman dari muka tanah ke muka sumur pengumpul = 280 cm

(Bangunan digali tepat dimuka tanah)

*Freeboard* = 30 cm

Tebal plat dasar = 30 cm

Lebar Sepatu lantai = 30 cm

Tebal lantai kerja = 5 cm

Tebal pasir = 10 cm

Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

=  $P \times L \times h$

= (panjang SP + sepatu lantai) x (lebar SP + sepatu lantai) x (tebal tutup + Kedalaman dari muka tanah ke muka sumur pengumpul + tinggi SP + freeboard + tebal plat dasar + tebal lantai kerja + tebal pasir)

=  $(200+30+30) \times (150 + 30 +30) \times (280+200+15+30+30+5+10)$

= 31,2 m<sup>3</sup>

Pengurangan pasir dengan pematatan

=  $P \times L \times$  tebal pasir

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal pasir)

=  $(200+30+30) \times (150+30+30) \times 10$

= 0,55 m<sup>3</sup>

Pekerjaan beton K-225

→ beton lantai bangunan

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal lantai kerja + tebal plat dasar) – ruang pompa

=  $(200+30+30) \times (150+30+30) \times (5 + 30) - (150 \times 50 \times 25)$

= 1,7 m<sup>3</sup>

→ beton dinding bangunan

= [(panjang x 2) + (lebar x 2)] x tebal dinding x tinggi

=  $[(200 \times 2) + (150 \times 2)] \times 20 \times 280$

= 3,92 m<sup>3</sup>

→ beton tutup bangunan

= panjang x lebar x tebal tutup

$$\begin{aligned} &= 200 \times 150 \times 15 \\ &= 0,45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

→ Total volume beton bangunan  
= beton lantai + beton dinding + beton tutup  
= 1,7 + 3,9 + 0,45  
= 6,1 m<sup>3</sup>

#### Pekerjaan Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi

$$\begin{aligned} &= \text{panjang sepatu lantai} \times \text{lebar sepatu lantai} \times \text{tinggi urugan} \\ &= [(260 \times 210) - (200 \times 150)] \times 565 \\ &= 13,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu 3,92 m<sup>3</sup>. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/ m<sup>3</sup>, sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \text{volume pembesian} \times \text{berat besi} \\ &= 3,92 \times 110 \\ &= 431,2 \text{ Kg} \end{aligned}$$

#### Pekerjaan Bekisting Sloof

$$\begin{aligned} &= [(\text{panjang} \times 2) + (\text{lebar} \times 2)] \times (\text{kedalaman} + \text{freeboard}) \\ &= [(200 \times 2) + (150 \times 2)] \times (280 + 200 + 30) \\ &= 35,7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### Pekerjaan pompa

Pompa yang digunakan sebanyak 2 buah pada sumur pengumpul sebelum masuk menuju *Distribution Box*

#### Pekerjaan pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 14 meter untuk 2 buah saluran. Panjang pipa per batang yaitu 4 meter, maka dibutuhkan sebanyak 4 buah pipa. Pipa yang digunakan dengan diameter 4".



## 7.4.2 Distribution Box

### Cluster 1

Dimensi:

Panjang unit	= 100 cm
Lebar unit	= 100 cm
Tinggi unit	= 120 cm
Tinggi unit diatas tanah	= 80 cm
Tinggi unit dibawah tanah	= 40 cm
Tebal tutup	= 15 m
Freeboard	= 20 cm
Tebal dinding	= 15 cm
Tebal plat dasar	= 20 cm
Lebar sepatu lantai	= 30 cm
Tebal lantai kerja	= 5 cm
Tebal pasir	= 10 cm

#### Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

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

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (kedalaman bangunan yang digali + tebal plat dasar + tebal pasir + tebal lantai kerja)

$$=(100\text{cm} + 30\text{cm} + 30\text{cm}) \times (100\text{cm} + 30\text{cm} + 30\text{cm}) \times (40\text{cm} + 20\text{cm} + 5\text{cm} + 10\text{cm})$$

$$= 1,92 \text{ m}^3$$

#### Pengurugan pasir dengan pemadatan

$$= P \times L \times \text{tebal pasir}$$

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal pasir)

$$= (100 + 30\text{cm} + 30\text{cm}) \times (100\text{cm} + 30\text{cm} + 30\text{cm}) \times 10\text{cm}$$

$$= 0,25 \text{ m}^3$$

#### Pekerjaan beton K-225

→ beton lantai bangunan

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal lantai kerja + tebal plat dasar)

$$= (100 + 30\text{cm} + 30\text{cm}) \times (100\text{cm} + 30\text{cm} + 30\text{cm}) \times (5 + 20)$$

$$= 0,64 \text{ m}^3$$

→ beton dinding bangunan

$$\begin{aligned}
&= [(panjang \times 2) + (lebar \times 2)] \times tebal \text{ dinding} \times (tinggi + \text{freeboard}) \\
&= [(100 \times 2) + (100 \times 2)] \times 15 \times (120 + 20) \\
&= 0,84 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

→ beton tutup bangunan

$$\begin{aligned}
&= panjang \times lebar \times tebal \text{ tutup} \\
&= 100 \times 100 \times 15 \\
&= 0,15 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

→ Total volume beton bangunan

$$\begin{aligned}
&= \text{beton lantai} + \text{beton dinding} + \text{beton tutup} \\
&= 0,64 + 0,84 + 0,15 \\
&= 1,63 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

#### Pekerjaan Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi

$$\begin{aligned}
&= \text{panjang sepatu lantai} \times \text{lebar sepatu lantai} \times \text{tinggi urugan} \\
&= [(160 \times 160) - (100 \times 100)] \times 0,75 \\
&= 13,8 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

#### Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu  $0,84 \text{ m}^3$ . Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat  $110 \text{ kg/m}^3$ , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
&= \text{volume pembesian} \times \text{berat besi} \\
&= 0,84 \times 110 \\
&= 92,4 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

#### Pekerjaan Bekisting Sloof

$$\begin{aligned}
&= [(panjang \times 2) + (lebar \times 2)] \times (\text{kedalaman} + \text{freeboard}) \\
&= [(100 \times 2) + (100 \times 2)] \times (120 + 20) \\
&= 5,6 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

#### Pekerjaan Pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 9 meter untuk 3 buah saluran. Panjang pipa per batang yaitu 4 meter, maka dibutuhkan sebanyak 3 buah pipa. Pipa yang digunakan dengan diameter 4".

### RAB Sumur Pengumpul dan *Distribution Box*

Pekerjaan yang dilakukan pada sumur pengumpul dan *Distribution Box* adalah sama, hanya saja pada *Distribution Box* tidak ada pompa, maka dari itu HSPK yang digunakan sama, berikut adalah HSPK sumur pengumpul dan *Distribution Box* yang disajikan pada Tabel 7.13.

**Tabel 7. 13 HSPK Sumur Pengumpul & *Distribution Box***

No	Analisis	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
<b>1</b>	<b>Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.025	O.H	158,000.00	3,950.00
	Pembantu Tukang	0.75	O.H	110,000.00	82,500.00
				Jumlah:	<b>86,450.00</b>
				<b>Nilai HSPK :</b>	<b>86,450.00</b>
<b>2</b>	<b>Pengurangan Pasir (PADAT) (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.01	O.H	158,000.00	1,580.00
	Pembantu Tukang	0.3	O.H	110,000.00	33,000.00
	<b>Bahan:</b>			Jumlah:	<b>34,580.00</b>
	Pasir Urug	1.2	M3	150,200.00	180,240.00
				Jumlah:	<b>180,240.00</b>
				<b>Nilai HSPK :</b>	<b>214,820.00</b>
<b>3</b>	<b>Pekerjaan Beton K-225 (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.083	O.H	158,000.00	13,114.00
	Kepala Tukang Batu	0.028	O.H	148,000.00	4,144.00

No	Analisis	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Tukang Batu	0.275	O.H	121,000.00	33,275.00
	Pembantu Tukang	1.65	O.H	110,000.00	181,500.00
	<b>Bahan:</b>			Jumlah:	<b>232,033.00</b>
	Semen PC 40 Kg	9.6	Zak	60,700.00	562,992.50
	Pasir Cor	0.43	M3	243,000.00	106,008.75
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0.54	M3	487,900.00	268,858.58
	Air Kerja	215	Liter	28	6,020.00
				Jumlah:	<b>943,879.83</b>
				<b>Nilai HSPK :</b>	<b>1,175,912.83</b>
<b>4</b>	<b>Pengurugan Tanah Kembali untuk Konstruksi (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.019	O.H	158,000.00	3,002.00
	Pembantu Tukang	0.102	O.H	110,000.00	11,220.00
				Jumlah:	<b>14,222.00</b>
				<b>Nilai HSPK :</b>	<b>14,222.00</b>
<b>5</b>	<b>Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos/ulir) (Kg)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.0004	O.H	158,000.00	63.2
	Kepala Tukang Besi	0.0007	O.H	148,000.00	103.6
	Tukang Besi	0.007	O.H	121,000.00	847
	Pembantu Tukang	0.007	O.H	110,000.00	770
	<b>Bahan:</b>			Jumlah:	<b>1,783.80</b>
	Besi Beton Polos	1.05	Kg	12,500.00	13,125.00
	Kawat Beton	0.015	Kg	25,500.00	382.5

No	Analisis	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
				Jumlah:	<b>13,507.50</b>
				Nilai HSPK :	<b>15,291.30</b>
<b>6</b>	<b>Pekerjaan Bekisting Sloof (m<sup>2</sup>)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.026	O.H	158,000.00	4,108.00
	Kepala Tukang kayu	0.026	O.H	148,000.00	3,848.00
	Tukang Kayu	0.26	O.H	121,000.00	31,460.00
	Pembantu Tukang	0.52	O.H	110,000.00	57,200.00
	<b>Bahan:</b>			Jumlah:	<b>96,616.00</b>
	Paku Usuk	0.3	Kg	19,800.00	5,940.00
	Kayu Meranti Bekisting	0.045	M3	3,350,400.00	150,768.00
	Minyak Bekisting	0.1	Liter	29,600.00	2,960.00
				Jumlah:	<b>159,668.00</b>
				Nilai HSPK :	<b>256,284.00</b>
<b>7</b>	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 4" (m)</b>				
	<b>Upah:</b>				
	Mandor	0.0041	Orang Hari	158,000.00	647.8
	Kepala Tukang	0.0135	Orang Hari	148,000.00	1,998.00
	Tukang	0.135	Orang Hari	121,000.00	16,335.00
	Pembantu Tukang	0.081	Orang Hari	110,000.00	8,910.00
	<b>Bahan:</b>			Jumlah:	<b>27,890.80</b>
	Pipa Plastik PVC Tipe C Uk. 4 inchi Pj.4mtr	0.3	Batang	93,100.00	27,930.00

No	Analisis	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Pipa Plastik PVC Tipe C Uk. 4 inchi Pj.4mtr	0.105	Batang	93,100.00	9,775.50
				Jumlah:	<b>37,705.50</b>
				<b>Nilai HSPK :</b>	<b>65,596.30</b>

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2015

Setelah diketahui HSPK beserta uraian pekerjaannya, kemudian dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya sumur pengumpul dan bak distribusi. Hasil rekapitulasi dari unit sumur pengumpul disajikan pada Tabel 7.14, 7.15, dan 7.16.

**Tabel 7. 14 RAB Sumur Pengumpul Cluster I**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	31.12	86,450	2,690,497
2	Pengurangan pasir dengan pemadatan	m <sup>3</sup>	0.55	214,820	117,292
3	Pekerjaan Beton K-225	m <sup>3</sup>	6.09	1,175,913	7,165,425
4	Pengurangan tanah kembali untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	13.90	14,222	197,672
5	Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m <sup>3</sup>	431.20	15,291	6,593,609
6	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>2</sup>	35.70	256,284	9,149,339
7	Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	m	16	65,596	1,049,541
8	Pengadaan pompa	buah	2	8,000,000	16,000,000
Total					42,963,373

**Tabel 7. 15 RAB Sumur Pengumpul Cluster II**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	30.13	86,450	2,605,084
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m <sup>3</sup>	0.49	214,820	106,121
3	Pekerjaan Beton K-225	m <sup>3</sup>	6.16	1,175,913	7,238,331
4	Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	13.22	14,222	188,029
5	Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m <sup>3</sup>	464.64	15,291	7,104,950
6	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>2</sup>	36.30	256,284	9,303,109
7	Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	m	16	65,596	1,049,541
8	Pengadaan pompa	buah	2	8,000,000	16,000,000
Total					43,595,165

**Tabel 7. 16 RAB Sumur Pengumpul Cluster III**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	18.14	86,450	1,568,549
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m <sup>3</sup>	0.42	214,820	89,365
3	Pekerjaan Beton K-225	m <sup>3</sup>	3.99	1,175,913	4,696,008
4	Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	10.51	14,222	149,459
5	Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m <sup>3</sup>	275	15,291	4,205,108

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
6	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>2</sup>	24	256,284	6,150,816
7	Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	m	12	65,596	787,156
8	Pengadaan pompa	buah	1	8,000,000	8,000,000
Total					25,646,460

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi anggaran biaya dari unit *distribution box* untuk seluruh *cluster* yang disajikan pada Tabel 7.17, 7.18, dan 7.19.

**Tabel 7. 17 RAB *Distribution Box Cluster I***

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	1.92	86,450	165,984
2	Pengurangan pasir dengan pemadatan	m <sup>3</sup>	0.26	214,820	54,994
3	Pekerjaan Beton K-225	m <sup>3</sup>	1.63	1,175,913	1,916,738
4	Pengurangan tanah kembali untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	0.72	14,222	10,240
5	Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m <sup>3</sup>	92.40	15,291	1,412,916
6	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>2</sup>	5.60	256,284	1,435,190
7	Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	m	12	65,596	787,156
Total					5,783,218



**Tabel 7. 18 RAB *Distribution Box Cluster II***

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	1.92	86,450	165,984
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m <sup>3</sup>	0.26	214,820	54,994
3	Pekerjaan Beton K-225	m <sup>3</sup>	1.57	1,175,913	1,846,183
4	Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	0.72	14,222	10,240
5	Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m <sup>3</sup>	85.80	15,291	1,311,994
6	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>2</sup>	5.20	256,284	1,332,677
7	Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	batang	12	65,596	787,156
Total					5,509,227

**Tabel 7. 19 RAB *Distribution Box Cluster III***

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	1.92	86,450	165,984
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m <sup>3</sup>	0.26	214,820	54,994
3	Pekerjaan Beton K-225	m <sup>3</sup>	1.33	1,175,913	1,563,964
4	Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m <sup>3</sup>	0.72	14,222	10,240
5	Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m <sup>3</sup>	59.40	15,291	908,303
6	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>2</sup>	3.60	256,284	922,622

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
7	Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	m	8	65,596	524,770
Total					4,150,878

#### 7.4.4 ABR dan HAPS

Contoh Perhitungan BOQ ABR dan HAPS akan dilakukan pada *Cluster 1*;

➤ Panjang total ABR

$$\begin{aligned}
 &= \text{panjang bak pengendap} + (\text{panjang kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen}) + \text{panjang HAPS} \\
 &= 8 \text{ m} + (2 \text{ m} \times 4 \text{ m}) + 6 \text{ m} \\
 &= 21,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar} &= 9 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman air} &= 3,5 \text{ m} \\
 \text{Tinggi freeboard} &= 0,5 \text{ m} \\
 \text{Tebal beton} &= 0,20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

##### Volume beton dinding

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times (\text{tinggi ABR} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar ABR}) + 4 \times (\text{tinggi ABR} \times \text{tebal beton} \times \text{panjang ABR}) \\
 &+ 2 \times (\text{tinggi HAPS} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar HAPS}) + 2 \times (\text{tinggi HAPS} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar HAPS}) \\
 &= 2 \times (4\text{m} \times 0,2\text{m} \times 9\text{m}) + 4 \times (4\text{m} \times 0,2\text{m} \times 16\text{m}) + 2 \times (4\text{m} \times 0,2\text{m} \times 9,4\text{m}) \\
 &+ 2 \times (4\text{m} \times 0,2\text{m} \times 5,7\text{m}) \\
 &= 89,76 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

##### Volume beton lantai

$$\begin{aligned}
 &= \text{ABR} + \text{HAPS} \\
 &= [(\text{panjang ABR} + (\text{tebal} \times 4)) \times (\text{lebar ABR} + (\text{tebal} \times 2)) \times \text{tebal}] \\
 &+ [(\text{panjang HAPS} + (\text{tebal} \times 2)) \times (\text{lebar HAPS} + \text{tebal}) \times \text{tebal}] \\
 &= [(16\text{m} + (0,2\text{m} \times 4)) \times (4\text{m} + (0,2\text{m} \times 2)) \times 0,2 \text{ m}] + [(5,7\text{m} + (0,2\text{m} \times 2)) \times (9,4\text{m} + 0,2\text{m}) \times 0,2 \text{ m}] \\
 &= 42,8 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

##### Volume beton atap

$$= \text{Volume beton lantai}$$

$$= 42,8 \text{ m}^3$$

Volume beton antara kompartemen

$$= \text{kompartemen ABR} + \text{sekat grease trap} - \text{lubang pipa}$$

$$= [\text{jumlah kompartemen} \times (\text{tebal} \times \text{tinggi} \times \text{lebar})] + [\text{lebar} \times \text{tinggi} \times \text{tebal}] - \text{jumlah kompartemen} \times \text{jumlah pipa per kompartemen} \times (\pi \times ((d / 2)^2) \times \text{tebal})$$

$$= [4 \times (0,2\text{m} \times 4\text{m} \times 9\text{m})] + [9\text{m} \times 3\text{m} \times 0,2\text{m}] - 4 \times 10 \times (3,14 \times ((0,1\text{m} / 2)^2) \times 0,2\text{m})$$

$$= 34,13 \text{ m}^3$$

Pemasangan pipa air kotor 4"

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

$$\text{Panjang yang dibutuhkan} = 0,2 \text{ m} \times 2 = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah pipa yang dibutuhkan} = 1 \text{ batang}$$

Pemasangan pipa air kotor 2"

$$\text{Panjang di pasaran} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah pipa yang dibutuhkan}$$

$$= \text{jumlah pipa per kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \times \text{panjang pipa yang dibutuhkan} / \text{panjang pipa di pasaran}$$

$$= 30 \text{ buah} \times 4 \text{ kompartemen} \times 3 \text{ m} / 4 \text{ m}$$

$$= 90 \text{ batang}$$

Volume total beton ABR

➤ Volume bekisting dinding

$$= \text{Volume beton dinding}$$

$$= 89,76 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting lantai

$$= \text{volume beton lantai}$$

$$= 42,8 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting atap

$$= \text{volume beton atap}$$

$$= 42,8 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting antar kompartemen  
 = volume beton antar kompartemen  
 = 34,14 m<sup>3</sup>

Volume total beton ABR  
 = Volume beton dinding + Volume beton lantai + Volume beton atap + Volume beton antara kompartemen  
 = 89,76 m<sup>3</sup> + 42,8 m<sup>3</sup> + 42,8 m<sup>3</sup> + 34,13 m<sup>3</sup>  
 = 209,51 m<sup>3</sup>

Pembuatan bouwplank

= ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x 0,2 m  
 = ( 9,8 m + (0,2 m x 2 )) x (21,7 m + (0,2 m x 2)) x 0,2 m  
 = 45,08 m<sup>3</sup>

Pemasangan trucuk bambu

= ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x tinggi bambu  
 = ( 9,8 m + (0,2 m x 2 )) x (21,7 m + (0,2 m x 2)) x 0,2 m  
 = 45,08 m<sup>3</sup>

Urugan pasir dipadatkan

= ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x tinggi pasir  
 = ( 9,8 m + (0,2 m x 2 )) x (21,7 m + (0,2 m x 2)) x 0,1 m  
 = 22,54 m<sup>3</sup>

Lantai kerja K-250

= ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x tinggi lantai  
 = ( 9,8 m + (0,2 m x 2 )) x (21,7 m + (0,2 m x 2)) x 0,05 m  
 = 11,27 m<sup>3</sup>

Kedalaman penanaman IPAL

= kedalaman air + Selisih ketinggian muka air dengan tanah  
 = 3,5 m + 0,5 m  
 = 4 m

Kedalaman galian tanah

= kedalaman penanaman IPAL + tebal beton + tinggi terucuk

bambu + tinggi urugan pasir dipadatkan + tinggi lantai kerja  
= 4 m + 0,2 m + 0,2 m + 0,1 m + 0,05 m  
= 4,55 m

### sheet pile

Pekerjaan pembuatan *sheet pile* menggunakan baja untuk pengaman galian agar tanah tidak longsor karena penanaman cukup dalam. Perhitungan volume pembuatan sheet pile dilakukan dengan cara sebagai berikut.

➤ Panjang *sheet pile*  
= (panjang total + tebal beton x 7) + 0,5 x 2  
= (21,7 + 0,2 x 7) + 0,5 x 2  
= 24,1 m

➤ Lebar *sheet pile*  
= (lebar total + lebar beton x 2) + 0,5 x 2  
= (9 + 0,2 x 4) + 0,5 x 2  
= 10,8 m

➤ Volume panjang *sheet pile*  
= panjang x lebar kayu x kedalaman penanaman x 2  
= 24,1 m x 0,06 m x 4,55 m x 2  
= 13,16 m<sup>3</sup>

➤ Volume lebar *sheet pile*  
= lebar x lebar kayu x kedalaman penanaman x 2  
= 10,8 m x 0,06 m x 4,55 m x 2  
= 5,9 m<sup>3</sup>

➤ Volume total *sheet pile*  
= 13,16 m<sup>3</sup> + 5,9 m<sup>3</sup>  
= 19,06 m<sup>3</sup>

### Pekerjaan penggalian tanah untuk konstruksi

Panjang	= pekerjaan <i>sheet pile</i> = 24,1 m
Lebar	= pekerjaan <i>sheet pile</i> = 10,8 m
Tinggi	= 4,55 m

Volume penggalian tanah untuk konstruksi  
 = panjang x lebar x tinggi  
 = 24,1 m x 10,8 m x 4,55 m  
 = 1.184,3 m<sup>3</sup>

Pengangkutan tanah dari lubang galian dalamnya lebih dari 1 m  
 = pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi  
 = 1.184,3 m<sup>3</sup>

Pengangkutan tanah keluar proyek  
 = pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi  
 = 1.184,3 m<sup>3</sup>

Aksesoris pipa

*Cluster I & II*

- Pipa vent = 19 buah/3 per pasang = 6 buah
- Tee = 120 buah/2 per pasang = 60 buah
- Elbow = 6buah/5 per pasang = 1 buah

*Cluster III*

- Pipa vent = 13buah/3 per pasang buah = 4 buah
- Tee = 80 buah/2 per pasang buah = 40 buah
- Elbow = 4 buah/5 per pasang buah = 1 buah

Diffuser HAPS

*Cluster I & II* = 12 buah 1 blower

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan analisa HSPK untuk pekerjaan ABR & HAPS yang disajikan pada Tabel 7.20.

**Tabel 7. 20 HSPK IPAL ABR & HAPS**

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
1	<b>Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi (m<sup>3</sup>)</b>				
	<u>Upah</u>				

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Mandor	0.0250	org/hr	158,000	3,950
	Pembantu Tukang	0.7500	org/hr	110,000	82,500
	<b>Jumlah</b>				82,500
	<b>Nilai HSPK</b>				82,500
2	<b>Pengangkutan Tanah Dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1m (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.0075	org/hr	158,000.00	1,185
	Pembantu Tukang	0.1500	org/hr	110,000.00	16,500
	<b>Jumlah</b>				17,685
	<b>Nilai HSPK</b>				17,685
3	<b>Pengangkutan Tanah Keluar Proyek (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Dump Truk 5 Ton	0.2500	Jam	69,200	17,300
	<b>Upah</b>				
	Pembantu Tukang	0.2500	org/hr	110,000	27,500
	<b>Jumlah</b>				27,500
	<b>Nilai HSPK</b>				44,800
4	<b>Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian / Tebing Pekerjaan Beton K-250 (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Electrode Baja	0.2000	Kg	33,600	6,720
	Gedeg Guling	2.5000	m <sup>2</sup>	50,000	125,000
	Sewa Crane 30 Ton - Min 8 Jam (Termasuk Mob/Demob Operator BBM)	0.5712	Jam	139,800	79,854

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b>Jumlah</b>				211,574
	<b><u>Sewa Peralatan</u></b>				
	Sewa Sheet Pile WF	319.5000	m <sup>2</sup>	1,100	351,450
	Sewa Sheet Profile C	22.7000	m <sup>2</sup>	1,100	24,970
	<b>Jumlah</b>				376,420
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.1000	org/hr	120,000	12,000
	Kepala Tukang	0.2000	org/hr	110,000	22,000
	Tukang	0.4000	org/hr	105,000	42,000
	Tenaga Kasar	1.0000	org/hr	99,000	99,000
	<b>Jumlah</b>				175,000
	<b>Nilai HSPK</b>				551,420
<b>5</b>	<b>Pembuatan Blowplank / Titik (Titik)</b>				
	<b><u>Bahan Material</u></b>				
	Paku Biasa 2" - 5"	0.0500	Doz	28,200	1,410
	Kayu Meranti (Usuk 4/6, 5/7)	0.0120	m <sup>3</sup>	4,188,000	50,256
	Kayu Meranti (Bekisting)	0.0080	m <sup>3</sup>	3,350,400	26,803
	<b>Jumlah</b>				78,469
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0045	org/hr	158,000	711
	Kepala Tukang	0.0100	org/hr	148,000	1,480
	Tukang	0.1000	org/hr	121,000	12,100
	Pembantu Tukang	0.1000	org/hr	110,000	11,000



No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b>Jumlah</b>				25,291
	<b>Nilai HSPK</b>				103,760
<b>6</b>	<b>Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3m (Batang)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Bambu Bongkotan dia. 10-12 P.3.00 m	1.0000	Batang	23,000	23,000
	<b>Jumlah</b>				23,000
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0025	org/hr	158,000	395
	Tukang kayu	0.0400	org/hr	121,000	4,840
	Pembantu Tukang	0.0500	org/hr	110,000	5,500
	<b>Jumlah</b>				10,735
	<b>Nilai HSPK</b>				33,735
<b>7</b>	<b>Pengurugan Pasir Padat (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Pasir Urug	1.2000	m <sup>3</sup>	150,200	180,240
	<b>Jumlah</b>				180,240
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0100	org/hr	158,000	1,580
	Pembantu Tukang	0.3000	org/hr	110,000	33,000
	<b>Jumlah</b>				34,580
	<b>Nilai HSPK</b>				214,820
<b>8</b>	<b>Lantai Kerja K-250 (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Semen PC 40 Kg	5.7500	Zak	60,700	349,025

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Pasir Cor/Beton	0.5581	m <sup>3</sup>	243,000	135,618
	Batu Pecah Mesin 1/2 Cm	0.5405	m <sup>3</sup>	487,900	263,710
	Air (Biaya Air Tawar)	215.0000	Liter	28	6,020
	<b>Jumlah</b>				754,373
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0600	org/hr	158,000	9,480
	Kepala Tukang	0.0200	org/hr	148,000	2,960
	Tukang	0.2000	org/hr	121,000	24,200
	Pembantu Tukang	1.2000	org/hr	110,000	132,000
	<b>Jumlah</b>				168,640
	<b>Nilai HSPK</b>				923,013
9	<b>Pekerjaan Bekisting Lantai (m<sup>2</sup>)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Paku Usuk	0.4000	Kg	19,800	7,920
	Plywood uk. 122X244X9mm	0.3500	Lembar	121,400	42,490
	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	0.0150	m <sup>3</sup>	4,711,500	70,673
	Kayu Meranti Bekisting	0.0400	m <sup>3</sup>	3,350,400	134,016
	Minyak Bekisting	0.2000	Liter	29,600	5,920
	<b>Jumlah</b>				261,019
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0330	org/hr	158,000	5,214
	Kepala Tukang	0.0330	org/hr	148,000	4,884
	Tukang	0.3300	org/hr	121,000	39,930
	Pembantu Tukang	0.6600	org/hr	110,000	72,600

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b>Jumlah</b>				122,628
	<b>Nilai HSPK</b>				383,647
10	<b>Pekerjaan Bekisting Dinding (m<sup>2</sup>)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Paku Usuk	0.4000	Kg	19,800	7,920
	Plywood uk. 122X244X9mm	0.3500	Lembar	121,400	42,490
	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	0.0200	m <sup>3</sup>	4,711,500	94,230
	Kayu Meranti Bekisting	0.0300	m <sup>3</sup>	3,350,400	100,512
	Minyak Bekisting	0.2000	Liter	29,600	5,920
	<b>Jumlah</b>				251,072
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0330	org/hr	158,000	5,214
	Kepala Tukang	0.0330	org/hr	148,000	4,884
	Tukang	0.3300	org/hr	121,000	39,930
	Pembantu Tukang	0.6600	org/hr	110,000	72,600
	<b>Jumlah</b>				122,628
	<b>Nilai HSPK</b>				373,700
11	<b>Pekerjaan Beton K-250 (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Semen PC 40 Kg	9.6000	Zak	60,700	582,720
	Pasir Cor/Beton	0.4325	m <sup>3</sup>	243,000	105,098
	Batu Pecah Mesin 1/2 Cm	0.5468	m <sup>3</sup>	487,900	266,784
	Air Kerja	215.0000	Liter	28	6,020
	<b>Jumlah</b>				960,621

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0830	org/hr	158,000	13,114
	Kepala Tukang	0.0280	org/hr	148,000	4,144
	Tukang	0.2750	org/hr	121,000	33,275
	Pembantu Tukang	1.6500	org/hr	110,000	181,500
	<b>Jumlah</b>				232,033
	<b>Nilai HSPK</b>				1,192,654
12	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 2" (m)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 2" panjang 4m	0.3000	Batang	50,000	15,000
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 2" panjang 4m	0.1050	Batang	50,000	5,250
	<b>Jumlah</b>				20,250
	<b><u>Upah</u></b>				
	Mandor	0.0027	org/hr	158,000	427
	Kepala Tukang	0.0090	org/hr	148,000	1,332
	Tukang	0.0900	org/hr	121,000	10,890
	Pembantu Tukang	0.0540	org/hr	110,000	5,940
	<b>Jumlah</b>				18,589
	<b>Nilai HSPK</b>				38,839
13	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 4" (m)</b>				
	<b><u>Bahan</u></b>				
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 4" panjang 4m	0.3000	Batang	93,100	27,930
	Pipa Plastik PVC Tipe C uk. 4" panjang 4m	0.1050	Batang	93,100	9,776

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	<b>Jumlah</b>				37,706
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.0041	org/hr	158,000	648
	Kepala Tukang	0.0135	org/hr	148,000	1,998
	Tukang	0.1350	org/hr	121,000	16,335
	Pembantu Tukang	0.0810	org/hr	110,000	8,910
	<b>Jumlah</b>				27,891
	<b>Nilai HSPK</b>				65,596
14	<b>Pemasangan Aksesoris Pipa Air Kotor (buah)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa Vent 1.5"	3	buah	31,550	94,650
	Tee	2	buah	16,600	33,200
	Elbow	5	buah	3,100	15,500
	<b>Jumlah</b>				143,350
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.02	org/hr	158,000	3,160
	Tukang	0.08	org/hr	121,000	9,680
	<b>Jumlah</b>				12,840
	<b>Nilai HSPK</b>				156,190
15	<b>Pemasangan Diffuser HAPS Cluster I &amp; II (buah)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Diffuser	3	buah	11,449,000	34,347,000
	<b>Jumlah</b>				34,347,000
	<b>Upah</b>				

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Mandor	0.005	org/hr	158,000	790
	Tukang	0.01	org/hr	121,000	1,210
	<b>Jumlah</b>				2,000
	<b>Nilai HSPK</b>				34,349,000

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2015

Setelah diketahui HSPK beserta uraian pekerjaannya, kemudian dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya unit ABR & HAPS. Hasil rekapitulasi dari unit ABR & HAPS disajikan pada Tabel 7.21, 7.22, dan 7.23.

**Tabel 7. 21 RAB ABR dan HAPS Cluster I**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi	m <sup>2</sup>	1184.27	82,500	97,702,605
2	Pengangkutan Tanah Dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1m	m <sup>3</sup>	1184.27	17,685	20,943,886
3	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	1184.27	44,800	53,055,475
4	Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian / Tebing Pekerjaan Beton K-100	m <sup>3</sup>	19.06	551,420	10,507,529
5	Pembuatan Blowplank / Titik	m <sup>3</sup>	45.08	103,760	4,677,925
6	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3m	m	45.08	33,735	1,520,909
7	Pengurugan Pasir Padat	m	22.54	214,820	4,842,472
8	Lantai Kerja K-100	m <sup>3</sup>	11.27	923,013	10,403,282

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
9	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	42.81	383,647	16,423,139
10	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	42.808	383,647	16,423,139
11	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	89.76	373,700	33,543,312
12	Pekerjaan Beton K-200	m <sup>3</sup>	209.51	1,192,654	249,876,802
13	Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 2"	batang	90	38,839	3,495,474
14	Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 4"	batang	2	65,596	131,193
15	Pemasangan Aksesoris Pipa Air Kotor Cluster I	buah	67	156,190.00	10,464,730
16	Pemasangan Diffuser HAPS Cluster I	buah	1	34,349,000	34,349,000
Total					523,547,142

**Tabel 7. 22 RAB ABR dan HAPS Cluster II**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi	m <sup>2</sup>	1110.56	82,500	91,621,530
2	Pengangkutan Tanah Dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1m	m <sup>3</sup>	1110.56	17,685	19,640,324
3	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	1110.56	44,800	49,753,267
4	Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian / Tebing Pekerjaan Beton K-100	m <sup>3</sup>	18.24	551,420	10,055,916
5	Pembuatan Blowplank / Titik	m <sup>3</sup>	42.02	103,760	4,360,419
6	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3m	m	42.02	33,735	1,417,680

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
7	Pengurugan Pasir Padat	m	21.01	214,820	4,513,798
8	Lantai Kerja K-100	m <sup>3</sup>	10.51	923,013	9,697,177
9	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	41.89	383,647	16,070,185
10	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	41.89	383,647	16,070,185
11	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	88.96	373,700	33,244,352
12	Pekerjaan Beton K-200	m <sup>3</sup>	206.87	1,192,654	246,728,195
13	Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 2"	batang	90	38,839	3,495,474
14	Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 4"	batang	2	65,596	131,193
15	Pemasangan Aksesoris Pipa Air Kotor <i>Cluster</i> II	buah	67	156,190	10,464,730
16	Pemasangan Diffuser HAPS <i>Cluster</i> I I	buah	1	34,349,000	34,349,000
Total					506,799,693

**Tabel 7. 23 RAB ABR *Cluster* III**

No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi	m <sup>2</sup>	606.88	82,500	50,067,518
2	Pengangkutan Tanah Dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1m	m <sup>3</sup>	606.88	17,685	10,732,655
3	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	606.88	44,800	27,188,179
4	Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian / Tebing Pekerjaan Beton K-100	m <sup>3</sup>	13.60	551,420	7,496,775



No	uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
5	Pembuatan Blowplank / Titik	m <sup>3</sup>	2.42	103,760	250,685
6	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3m	m	2.42	33,735	81,504
7	Pengurugan Pasir Padat	m	1.21	214,820	259,503
8	Lantai Kerja K-100	m <sup>3</sup>	0.60	923,013	557,500
9	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	22.00	383,647	8,440,223
10	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	22.00	383,647	8,440,223
11	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	60.80	373,700	22,720,960
12	Pekerjaan Beton K-200	m <sup>3</sup>	127.54	1,192,654	152,107,780
13	Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 2"	batang	60	38,839	2,330,316
14	Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 4"	batang	2	65,596	131,193
15	Pemasangan Aksesoris Pipa Air Kotor <i>Cluster</i> III	buah	45	156,190	7,028,550
Total					297,833,563

#### 7.4 Total RAB SPAL dan IPAL

Setelah diketahui perhitungan biaya anggaran jaringan SPAL dan IPAL, maka dapat dicari biaya investasi setiap Kepala Keluarga berdasarkan pembagian ketiga *Cluster*. Berikut adalah perhitungan investasi total yang disajikan pada Tabel 7.24 dan investasi per kepala keluarga yang disajikan pada Tabel 7.25.

**Tabel 7. 24 Total Biaya Investasi ketiga *Cluster***

No.	Uraian	<i>cluster I</i>	<i>cluster II</i>	<i>cluster III</i>
		Rp	Rp	Rp
1	SPAL	7,079,156,503	5,288,060,152	2,330,836,679
2	Bangunan Pelengkap	10,284,585,749	9,196,891,973	5,524,812,876
3	Sumur pengumpul	42,963,373	43,595,165	25,646,460
4	Distribution box	5,783,218	5,509,227	4,150,878
5	ABR & HAPS	523,547,142	506,799,693	297,833,563
Total		17,936,035,985	15,040,856,211	8,183,280,455

**Tabel 7. 25 Biaya per Kepala Keluarga seluruh *Cluster***

<i>Cluster</i>	Total	jumlah	investasi per KK
	Rp	KK	
1	17,936,035,985	3066	5,849,979.12
2	15,040,856,211	2730	5,509,471.14
3	8,183,280,455	1711	4,782,747.20

## **BAB 8**

### **OPERASI & PEMELIHARAAN**

#### **8.1 Pemeliharaan**

Masyarakat adalah subjek utama dalam memelihara sistem pengelolaan air limbah ketika hasil perencanaan direalisasikan. Masyarakat yang terlayani sebagai pengguna menjadi pihak yang mengetahui pertama kali ketika terjadi masalah sehingga mereka perlu diberikan pengetahuan tentang pengoperasian dan pemeliharaan sistem pengelolaan air limbah yang ada di lingkungan mereka.

Partisipasi aktif dari masyarakat sangat dibutuhkan untuk memelihara SPAL dan IPAL yang nantinya akan dibangun, 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:

- a. Membentuk wadah organisasi yang bertanggung jawab mengelola jaringan SPAL dan IPAL
- b. Menyusun rencana kegiatan program kerja tahunan untuk pengelolaan jaringan SPAL dan IPAL
- c. Berkomunikasi secara instruktif kepada Kelurahan, RW, dan RT setempat
- d. Kampanye peduli lingkungan dengan berpartisipasi aktif menjaga dan memelihara IPAL yang telah dibangun.

#### **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 pengguna:

- a. Tidak membuang limbah padat kedalam jaringan pipa air limbah dan bangunan pelengkap yang menyebabkan tersambat.
- b. Tidak membuang limbah cair berbau kimia kedalam jaringan pipa air limbah dan bangunan pelengkap yang menyebabkan membunuh bakteri dalam air limbah.
- c. Bertanggung jawab merawat bak kontrol 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 masing-masing dan *manhole* yang berada disekitar rumah mereka.
- b. Melakukan penggelontoran pada setiap titik *manhole* minimal 1 bulan sekali.
- c. Melakukan pengecekan sumur pengumpul dan bak distribusi minimal 1 minggu sekali.
- d. Melakukan pengecekan pompa dan blower HAPS beserta jaringan listriknya minimal 2 hari sekali.
- e. Melakukan perawatan IPAL ABR dengan mengambil lumpur pada setiap kompartemen minimal 6 bulan sekali.
- f. Melakukan perawatan IPAL HAPS dengan menyiram tanaman dan perawatan taman diatas bangunan HAPS selama 2 hari sekali.
- g. Melakukan pengurasan lumpur selama 2 tahun sekali melalui jasa pengurasan setempat

### **8.3 Biaya Retribusi**

Dalam pengoperasian dan pemeliharaan tentunya dibutuhkan biaya, maka pengguna yaitu masyarakat diwajibkan berpartisipasi melalui biaya retribusi yang dikelola oleh organisasi lingkungan yang telah didirikan. Masyarakat merupakan subjek utama sehingga dibebani biaya retribusi, disisi lain biaya retribusi

bertujuan agar masyarakat mempunyai rasa memiliki sehingga timbul kesadaran dan kepedulian, tentunya dengan kemampuan ekonomi dari masyarakat pengguna. Berikut adalah rincian pengeluaran dana operasi dan pemeliharaan jaringan SPAL dan IPAL yang disajikan pada Tabel 8.1, 8.2, dan 8.3.

**Tabel 8. 1 Biaya Operasi & Pemeliharaan Cluster I**

No	Rincian pengeluaran	biaya retribusi	biaya per bulan
		Rp	Rp
1	Penggelontoran (45 <i>manhole</i> )/bulan	50,000	2,250,000
2	pemeriksaan sampel effluen/3 bulan	1,000,000	333,333
3	Listrik dari pompa& blower /bulan	8,500,000	8,500,000
4	perawatan tanaman dan taman/2 hari	150,000	2,250,000
5	pengurusan lumpur/2 tahun	4,500,000	187,500
6	Gaji operator (3) /bulan	3,000,000	9,000,000
Jumlah			22,520,833

**Tabel 8. 2 Biaya Operasi & Pemeliharaan Cluster II**

No	Rincian pengeluaran	biaya retribusi	biaya per bulan
		Rp	Rp
1	Penggelontoran (48 <i>manhole</i> )/bulan	50,000	2,400,000
2	pemeriksaan sampel effluen/3 bulan	1,000,000	333,333
3	Listrik dari pompa& blower /bulan	8,000,000	8,000,000
4	perawatan tanaman dan taman/2 hari	100,000	1,500,000
5	pengurusan lumpur/2 tahun	3,500,000	145,833
6	Gaji operator (3) /bulan	3,000,000	9,000,000
Jumlah			21,379,167

**Tabel 8. 3 Biaya Operasi & Pemeliharaan Cluster III**

No	Rincian pengeluaran	rincian biaya	biaya per bulan
		Rp	Rp
1	Penggelontoran (26 <i>manhole</i> )/bulan	50,000	1,300,000
2	pemeriksaan sampel effluen/3 bulan	1,000,000	333,333
3	Listrik dari pompa/bulan	5,500,000	5,500,000
4	pengurusan lumpur/2 tahun	2,000,000	83,333
5	Gaji operator (2) /bulan	3,000,000	6,000,000
Jumlah			13,216,667

Setelah diperoleh jumlah biaya retribusi bulanan, maka dapat diketahui berapa jumlah biaya iuran warga perbulan berdasarkan jumlah kepala keluarga sesuai dengan pembagian *Cluster*. Berikut adalah rincian biaya per kepala keluarga yang disajikan pada Tabel 8.4.

**Tabel 8. 4 Biaya Retribusi per Kepala Keluarga Seluruh Cluster**

<i>Cluster</i>	jumlah kepala keluarga	Biaya retribusi	luran per KK
	KK	Rp	Rp
1	3066	22,520,833	7,345
2	2730	21,379,167	7,831
3	1711	13,216,667	7,725

Dari hasil perhitungan diperoleh angka rata—rata 7.500 rupiah, maka untuk memudahkan nantinya akan dikenai biaya retribusi perbulan sebesar Rp 8.000 setiap kepala keluarga sesuai kesepakatan bersama. Kelebihan dari biaya retribusi nantinya akan masuk sebagai uang kas bersama untuk kebutuhan lain.

## BAB 9

### KESIMPULAN & SARAN

#### 9.1 Kesimpulan

Kesimpulan akhir yang dapat diambil dalam perencanaan dengan ini diantaranya.

1. Perencanaan SPAL dan IPAL
  - a. Daerah yang dilayani yaitu Kelurahan Magersari, Kelurahan Jati dan Kelurahan pagerwojo yang terbagi menjadi 3 *Cluster* dengan jumlah penduduk keseluruhan yaitu 37.535 orang.
  - b. Sistem SPAL menggunakan sistem *shallow sewer*, sedangkan unit IPAL terdiri dari Sumur Pengumpul, *Distribution Box*, Anaerobic Baffled Reactor, dan HAPS.
  - c. Besar debit yang diolah dalam unit IPAL yaitu:
    - *Cluster* I = 1.564 m<sup>3</sup>/hari
    - *Cluster* II = 1.392 m<sup>3</sup>/hari
    - *Cluster* III = 873 m<sup>3</sup>/hari.
  - d. Efluen hasil perencanaan IPAL dirancang memenuhi Permen KLHK No. 68 Tahun 2016
2. Rencana Anggaran Biaya SPAL dan IPAL
  - a. Anggaran Biaya total yang dibutuhkan sebesar:
    - *Cluster* I = Rp 17,936,035,985
    - *Cluster* II = Rp 15,040,856,211
    - *Cluster* III = Rp 8,183,280,455
  - b. Biaya retribusi setiap kepala keluarga untuk operasi dan pemeliharaan yang dibayar melalui organisasi lingkungan setempat sebesar Rp 8.000/bulan

#### 9.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah dilakukan perencanaan diantaranya:

- a. Perlu dilakukan analisa jika dalam ketiga *cluster* hanya menggunakan 1 unit IPAL yang diletakan secara terpusat pada lahan yang tersedia
- b. Perlu dilakukan penelitian terkait efisiensi removal

- ammonia yang terjadi didalam SPAL
- c. Pada unit HAPS perlu ditambahkan disinfeksi untuk mengurangi total coliform.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abramian Lara dan El-Rassy Houssam. 2009. **Adsorption Kinetics and Thermodynamic of Azo-Dye Orange II Onto Highly Porous Titania Aerogel**. Chemical Engineering Journal Vol. 150. Page 403-410
- Afganistan Engineer District. 2009. **Grease Trap Design**. US Army Corps of Engineers
- Angenent, L., Banik, G., dan Sung, S. 2001. **Anaerobic Migrating Blanket Reactor Treatment of Low-Strength Wastewater at Low Temperatures**. Water Environment Research. Vol. 73. pp : 567-574.
- Anonim. 2012. [www.OrganicaWater.com](http://www.OrganicaWater.com)
- Anonim. 2015. [www.OrganicaWater.com](http://www.OrganicaWater.com)
- Anonim. 2015. **Standar Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya 2016**. Surabaya. Pemerintah Kota Surabaya
- Austin Water Utility. 2011. **City of Austin**. <URL:<https://www.austintexas.gov/department/greasetrapdesign-Criteria>>
- Badan Perencanaan dan Pembangunan Nasional. 2014. **Dukungan STBM dalam Pencapaian Target Universal Access**.
- Badan Pusat Statistik. 2016. **Kecamatan Sidoarjo dalam angka**
- Carl, P. 2007. **Planning of flushing station in sewer system**. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), ISSN 0154-2143, ISSN 0154- 2151, Vol. 3, Issue 2, July-December.
- Carrollton. 2012. **Guidance Document for Sizing and Installation of Grease Traps and Interceptors**.
- Fair, G. M. dan Geyer, J. C., 1954. **Water Supply and Wastewater Disposal**. New York: John Wiley and Son.
- Foxon, K. M., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F., dan Buckley, C. A. 2004. **The anaerobic baffled reactor (ABR): an appropriate technology for on-site sanitation**. Water SA. Vol. 30. pp : 44-50.
- Herrari, Silvana. 2015. Perencanaan Teknologi Sanitasi Sebagai Upaya Bebas Buang Air Besar Sembarangan di Kecamatan

- Tegalsari kota Surabaya. **Skripsi**. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS. Surabaya
- Hoelman, MB., dKK. 2015. **Panduan SDGs untuk pemerintah Daerah (Kota dan Kabupaten) dan Pemangku Kepentingan Daerah**. International NGO Forum on Indonesian Development (INFID).
- H. Movahedian, A. Assadi, A. Parvaresh, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2007. Performance Evaluation of Anaerobic Baffled Reactor Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater. Vol. 4, No. 2, pp. 77-84*
- IPEXAmerica. 2002. **Municipal Piping Systems**. America
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. **Materi Bidang Air Limbah I Diseminasi dan Sosialisasi keteknikan Bidang PLP**
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. **Petunjuk Teknis Pembangunan Infrastruktur**.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2016. **Buku 3 SPAL terpusat skala permukiman**.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. 2009. **Review of the Technology Approach for Grey Water Treatment and Reuses**. Science of the Total Environment. Vol. 407. pp : 3439-3449
- Morel, A., dan Diener, S. 2006. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods**. SANDEC.
- Nguyen, H., Turgeon, S., dan Matte, J. 2010. **The Anaerobic Baffled Reactor**. Worcester Polytechnic Institute.
- Pamsimas. 2011. **Petunjuk Teknis Perencanaan Kegiatan Pamsimas Tingkat Masyarakat**. Jakarta.
- Pemerintah Kabupaten Sidoarjo. 2009. **Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sidoarjo Tahun 2009-2029**
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. **Baku Mutu Air Limbah Domestik Nomor 72 Tahun 2013**
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. **Baku Mutu Air Limbah Domestik Nomor 68 Tahun 2016**
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2009. **Pengendalian lingkungan tercemar UU Nomor 32 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup Tahun 2009**

- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. 2007. **Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Nomor 18 Tahun 2007 tentang Tata Cara Survei.**
- Qin Yuje., Wu Jiandong., Ouyang Hai. 2013. **The Application of *Organica* Ecological Technology in Residential Sewage Treatment.** Journal of Environmental Protection. Vol. 4. Pp 31-34.
- Said,N.I. 2000. **Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob.** Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.1.Jakarta
- Sasse, L., Gutterer, B., Panzerbieter, T., dan Reckerzügel, T. 2009. **Decentralised Wasterwater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitattion in Developing Countries.** BORDA.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., dan Stensel, H.D. 2014. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**, 4<sup>th</sup> Edition. Metcalf & Eddy.
- Wongthanate, J., Mapracha, N., Prapagdee, B., dan Arunlertaree, C. 2014. **Efficiency of Modified Grease Trap for Domestic Wastewater Treatment.** The Journal of Industrial Technology. Vol. 10. pp : 2557-2569

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:

### PETA KECAMATAN SIDOARJO

**DOSEN PEMBIMBING:**

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

**MAHASISWA:**

FAJAR ARINAL KHAQ

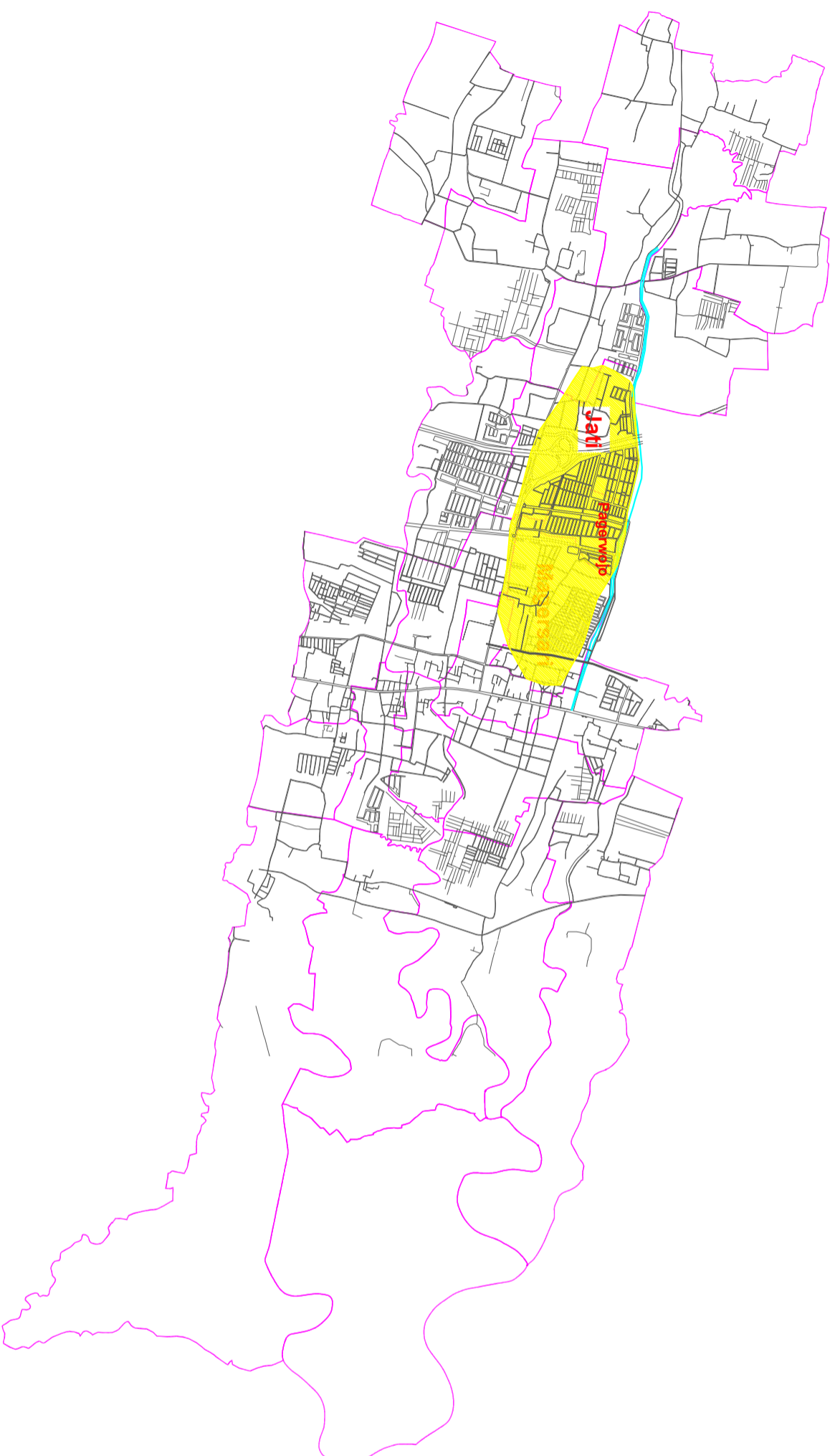
**NRP:**

3313 100 088

**KETERANGAN:**



Daerah Pelayanan



NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

1

22





TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:

### PETA SPAL SEMUA CLUSTER

#### DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc










MAHASISWA:

FAJAR ARINAL KHAQ

NRP:

3313 100 088

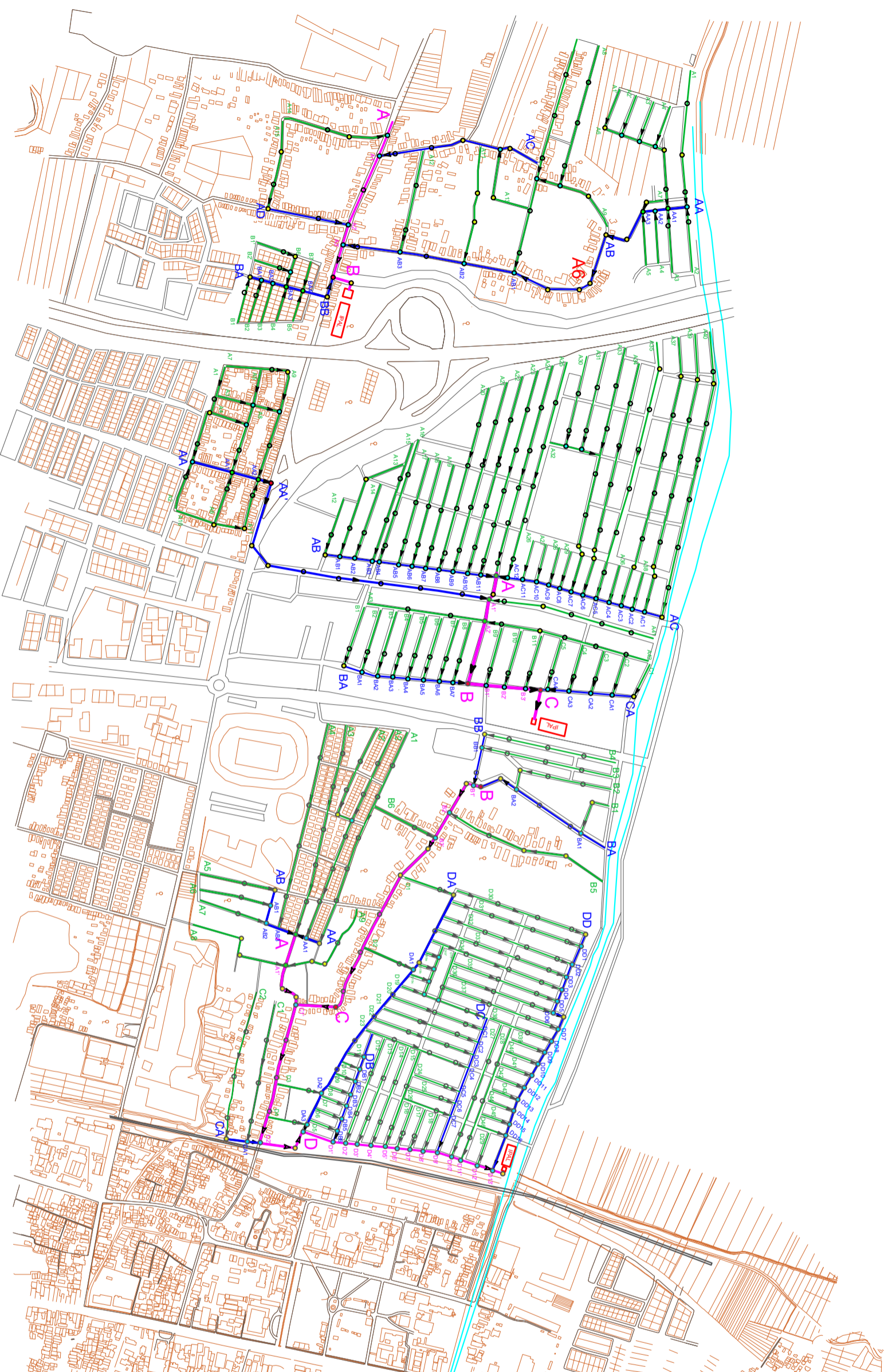
#### KETERANGAN:

-  pipa primer
-  pipa sekunder
-  pipa tersier
-  manhole lurus
-  manhole belokan
-  manhole pertigaan
-  manhole perempatan
-  drop manhole
-  arah aliran pipa

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

2

22







TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN










JUDUL GAMBAR:  
**PETA SPAL  
CLUSTER I**

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**  
3313 100 088

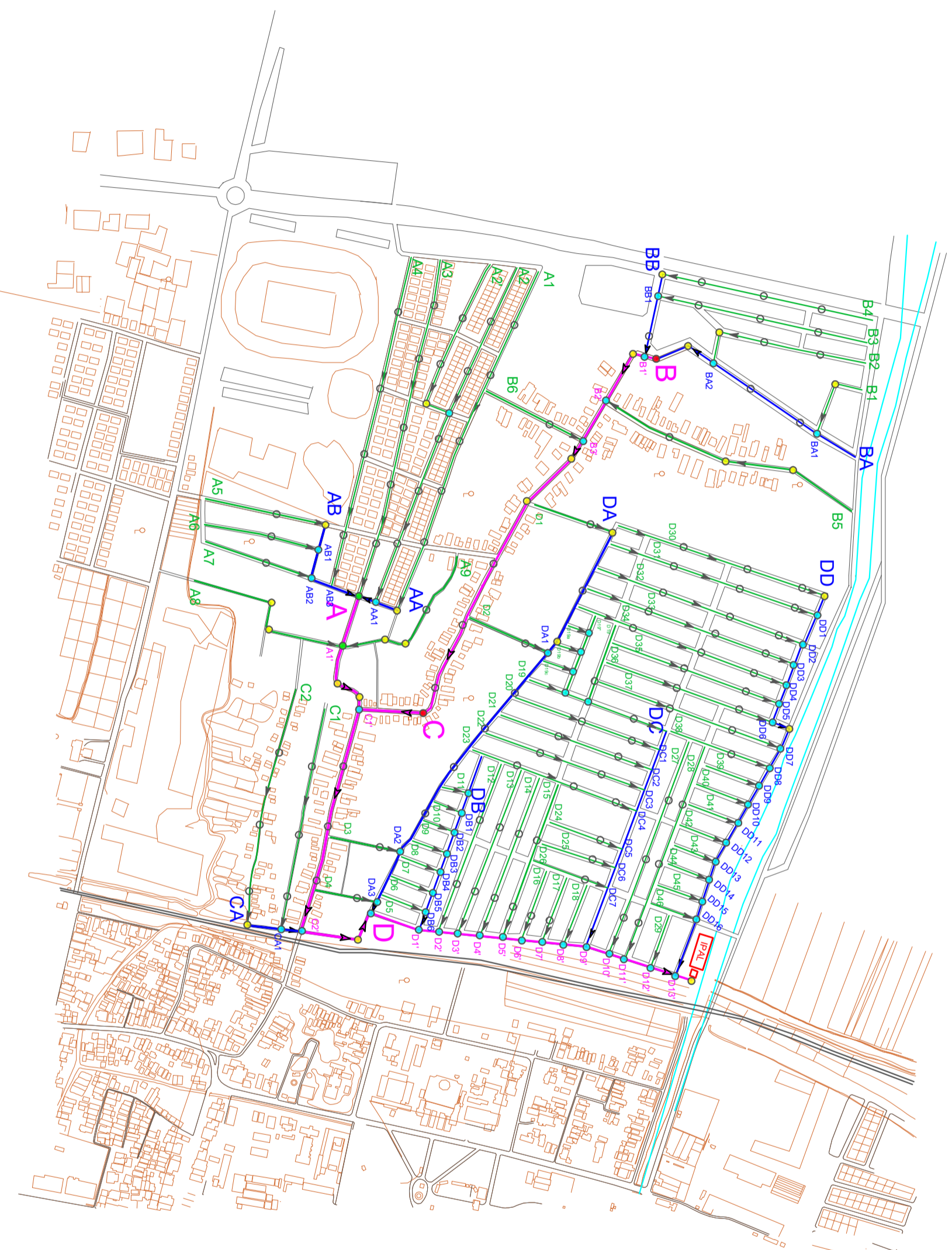
### KETERANGAN:

-  pipa primer
-  pipa sekunder
-  pipa tersier
-  manhole lurus
-  manhole belokan
-  manhole pertigaan
-  manhole perempatan
-  drop manhole
-  arah aliran pipa

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

3

22





TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN










JUDUL GAMBAR:  
**PETA SPAL  
CLUSTER II**

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**  
3313 100 088

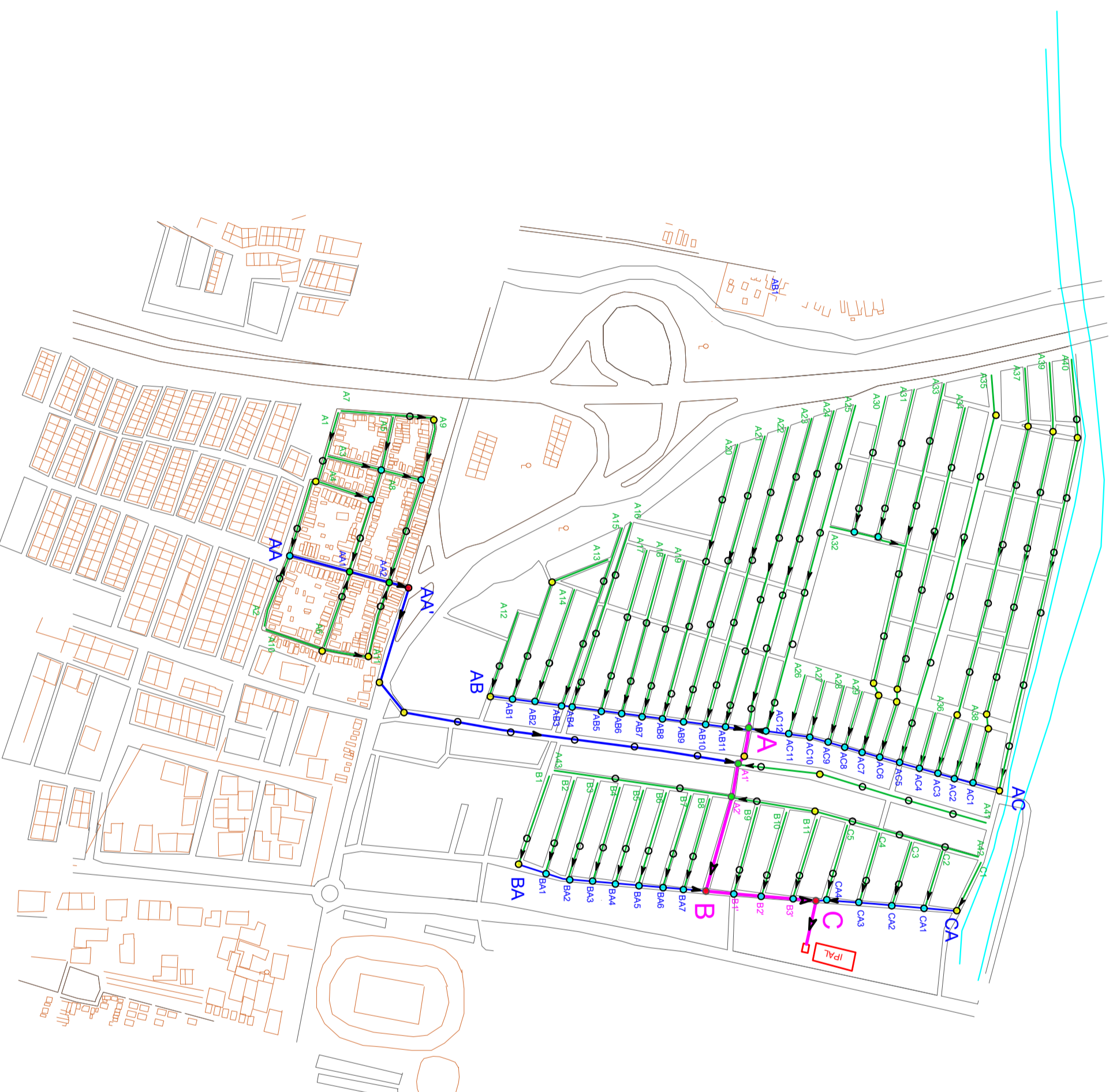
### KETERANGAN:

-  pipa primer
-  pipa sekunder
-  pipa tersier
-  manhole lurus
-  manhole belokan
-  manhole pertigaan
-  manhole perempatan
-  drop manhole
-  arah aliran pipa

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

4

22







TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:  
PETA SPAL  
CLUSTER III

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**  
3313 100 088

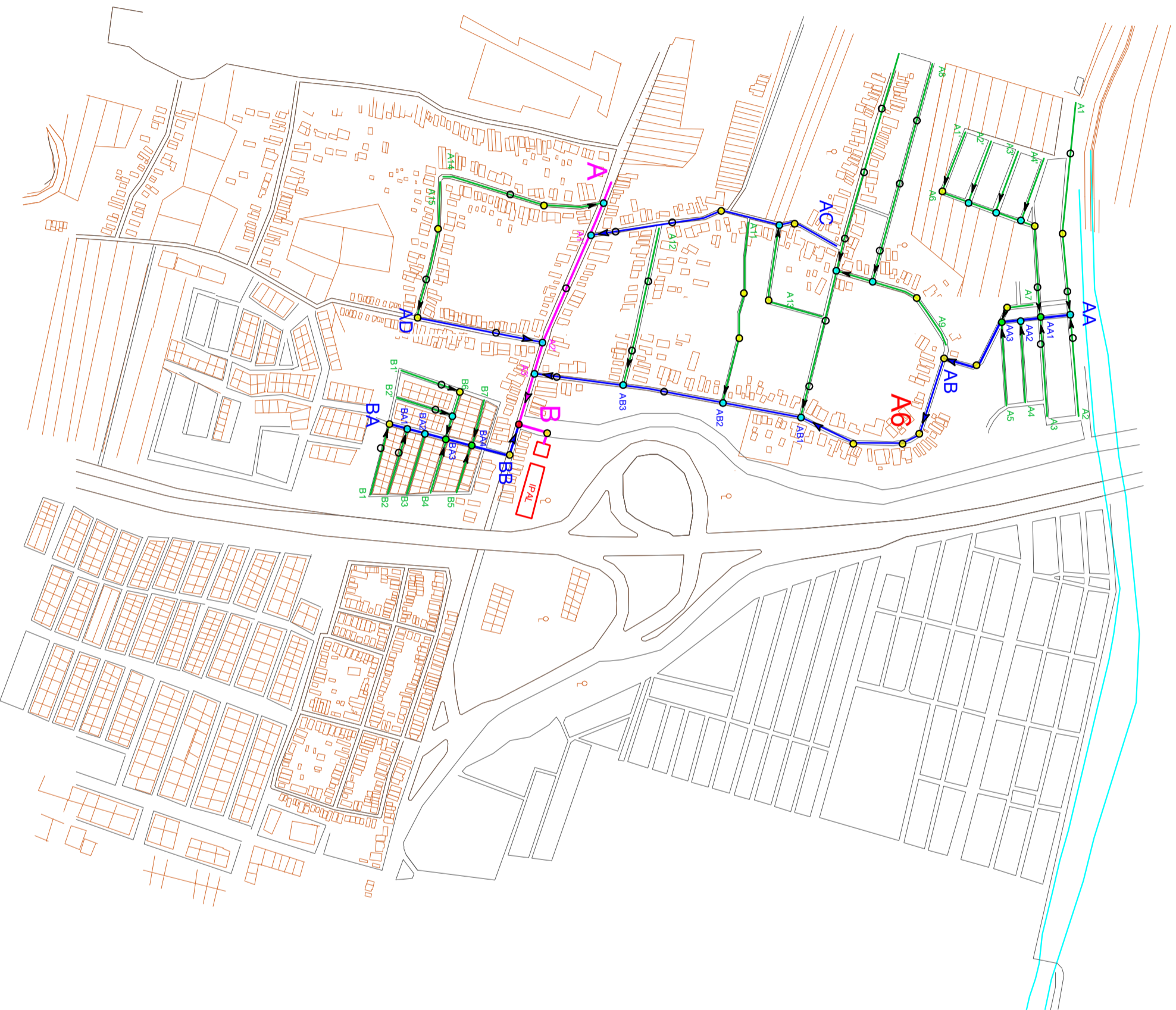
### KETERANGAN:

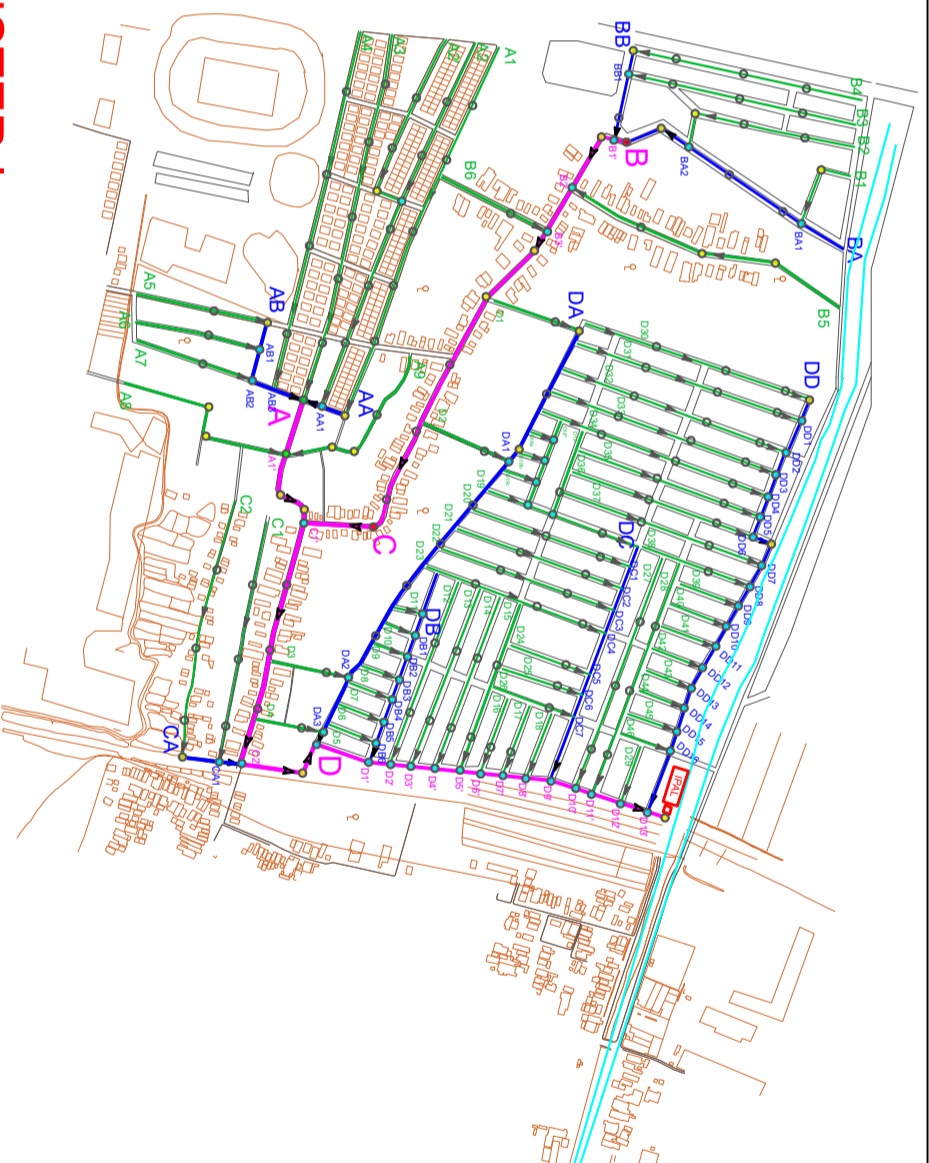
- pipa primer
- pipa sekunder
- pipa tersier
- manhole lurus
- manhole belokan
- manhole pertigaan
- manhole perempatan
- drop manhole
- arah aliran pipa

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

5

22





## PROFIL HIDROLIS CLUSTER I

20 m	
19 m	
18 m	
17 m	
16 m	
15 m	
14 m	
13 m	
12 m	
11 m	
10 m	
9 m	
8 m	
7 m	
6 m	
5 m	
4 m	
3 m	
2 m	
1 m	

Saluran	A-C
Panjang Pipa (m)	194,5
Elevasi Muka Tanah (m)	16,50 16,50
Diameter (mm)	200 mm
Elevasi Pipa Atas (m)	15,50 14,50
Elevasi Pipa Bawah (m)	15,30 14,30
Keterangan	

20 m			
19 m			
18 m			
17 m			
16 m			
15 m			
14 m			
13 m			
12 m			
11 m			
10 m			
9 m			
8 m			
7 m			
6 m			
5 m			
4 m			
3 m			
2 m			
1 m			

Saluran	B-C	C-D	D-IPAL
Panjang Pipa (m)	652 m	561 m	486 m
Elevasi Muka Tanah (m)	16,80 16,50	16,20 16,20	15,80
Diameter (mm)	200 mm	200 mm	200 mm
Elevasi Pipa Atas (m)	15,50 15,00	14,00 13,00	12,70
Elevasi Pipa Bawah (m)	15,30 14,80	13,80 12,80	12,50
Keterangan	MANHOLE BELOKAN	DRIP MANHOLE	

+15,80  
SUMUR  
PENGUMPUL  
+12,70

+15,80



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

**TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN**

**JUDUL GAMBAR:  
PROFIL HIDROLIS  
SPAL CLUSTER I**

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ  
NRP:  
3313 100 088

- KETERANGAN:**
- pipa primer
  - pipa sekunder
  - pipa tersier

NOMOR GAMBAR:      JUMLAH GAMBAR:

6                      22



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:

### PROFIL HIDROLIS SPAL CLUSTER II

#### DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

#### MAHASISWA:

FAJAR ARINAL KHAQ

#### NRP:

3313 100 088

#### KETERANGAN:

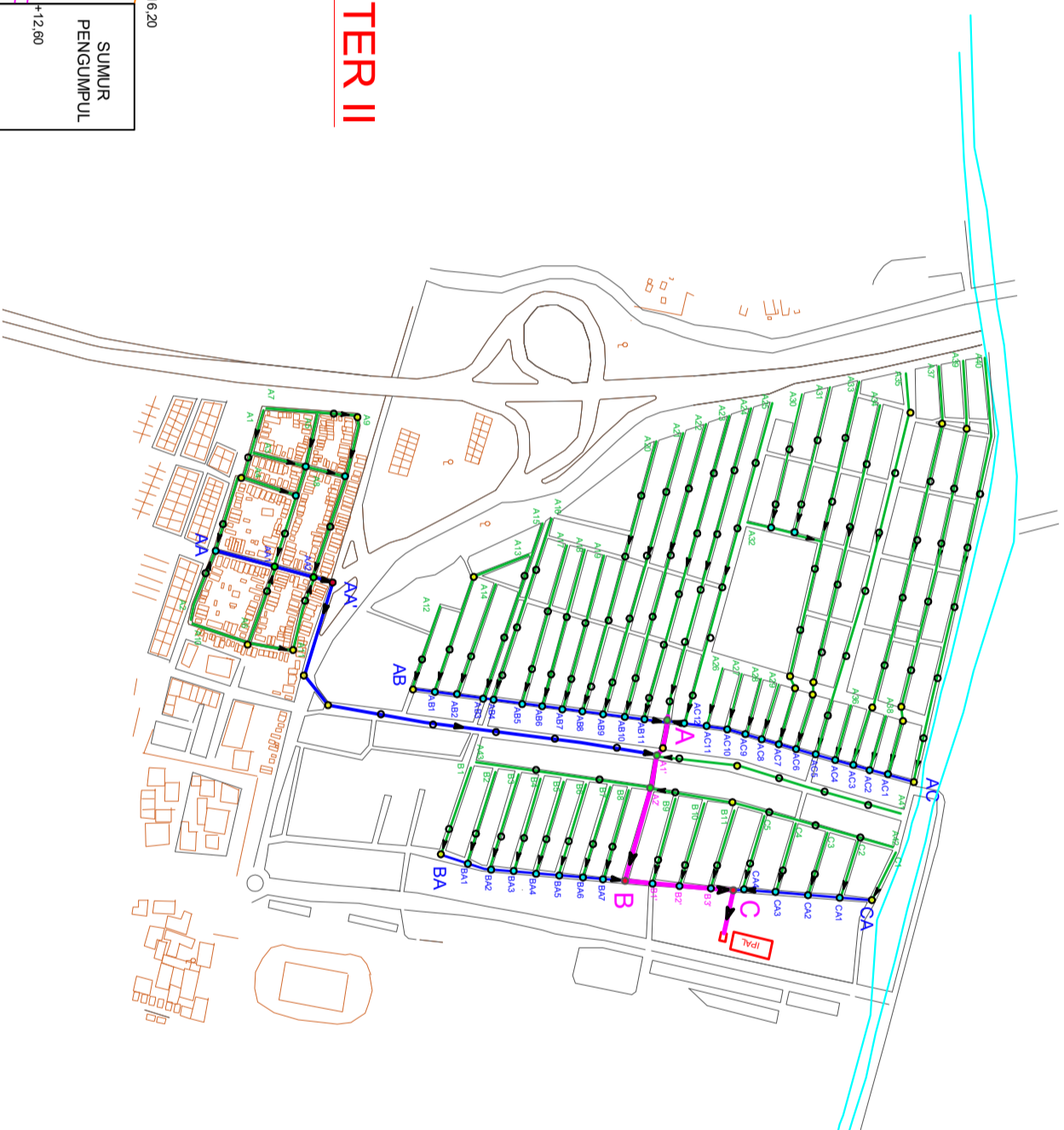
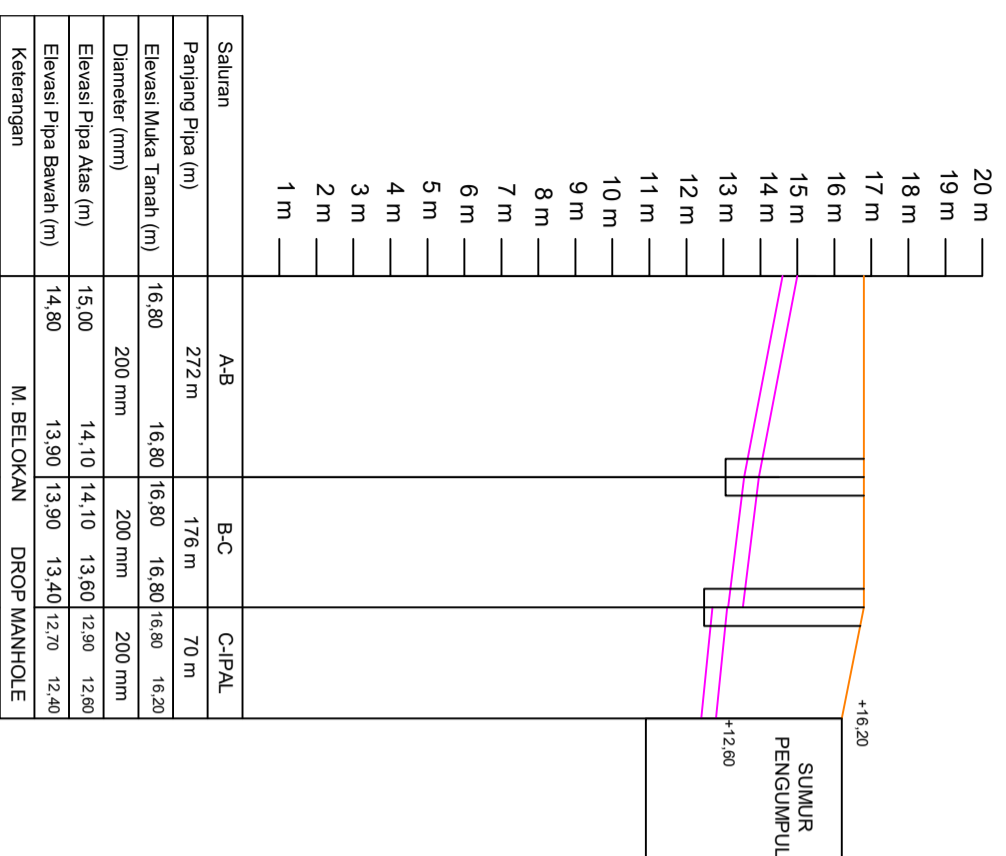
- pipa primer
- pipa sekunder
- pipa tersier

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

7

22

## PROFIL HIDROLIS CLUSTER II







TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP -ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:

### PROFIL HIDROLIS SPAL CLUSTER III

#### DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl. SE. M.Sc

#### MAHASISWA:

FAJAR ARINAL KHAQ

#### NRP:

3313 100 088

#### KETERANGAN:

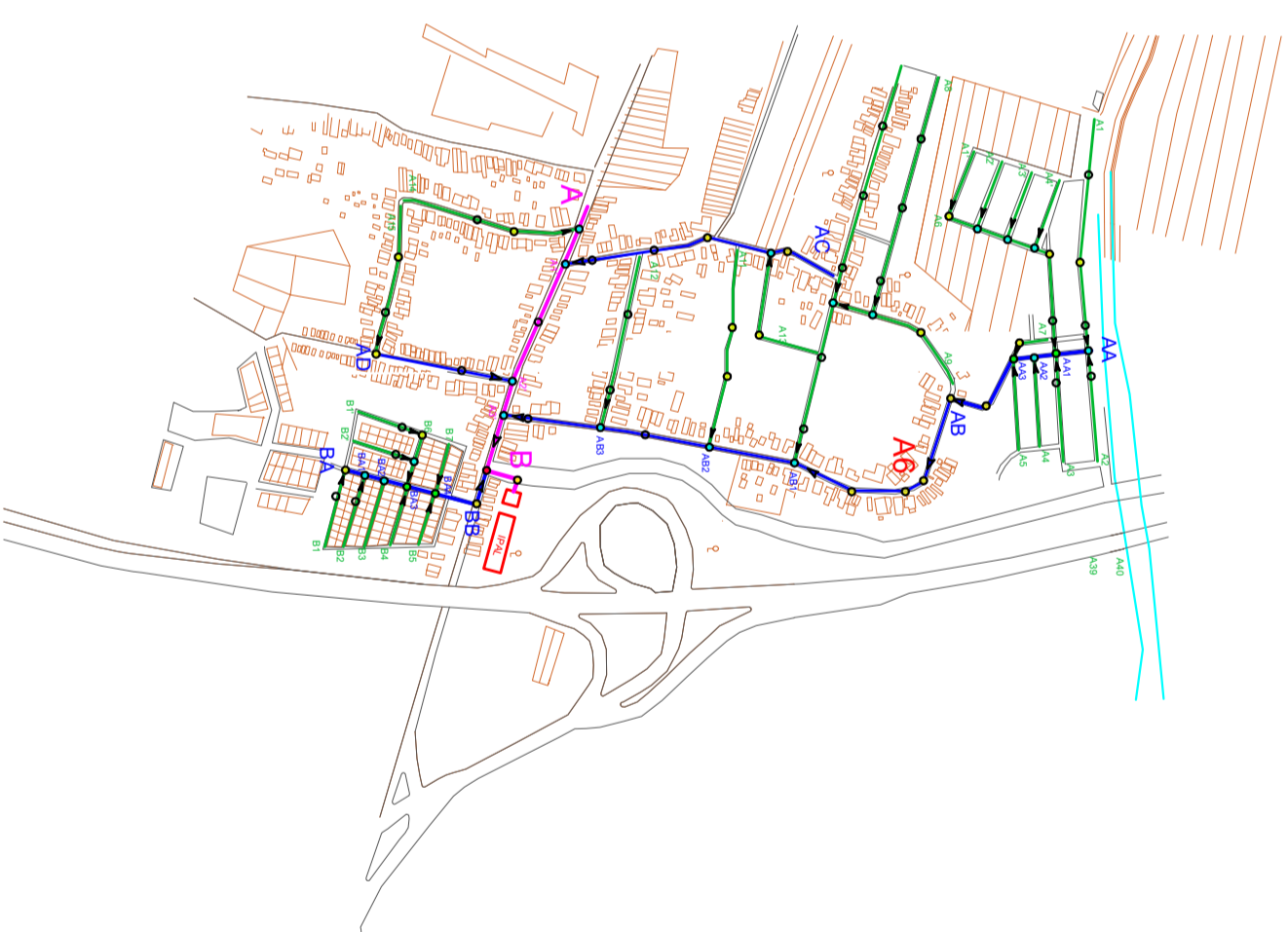
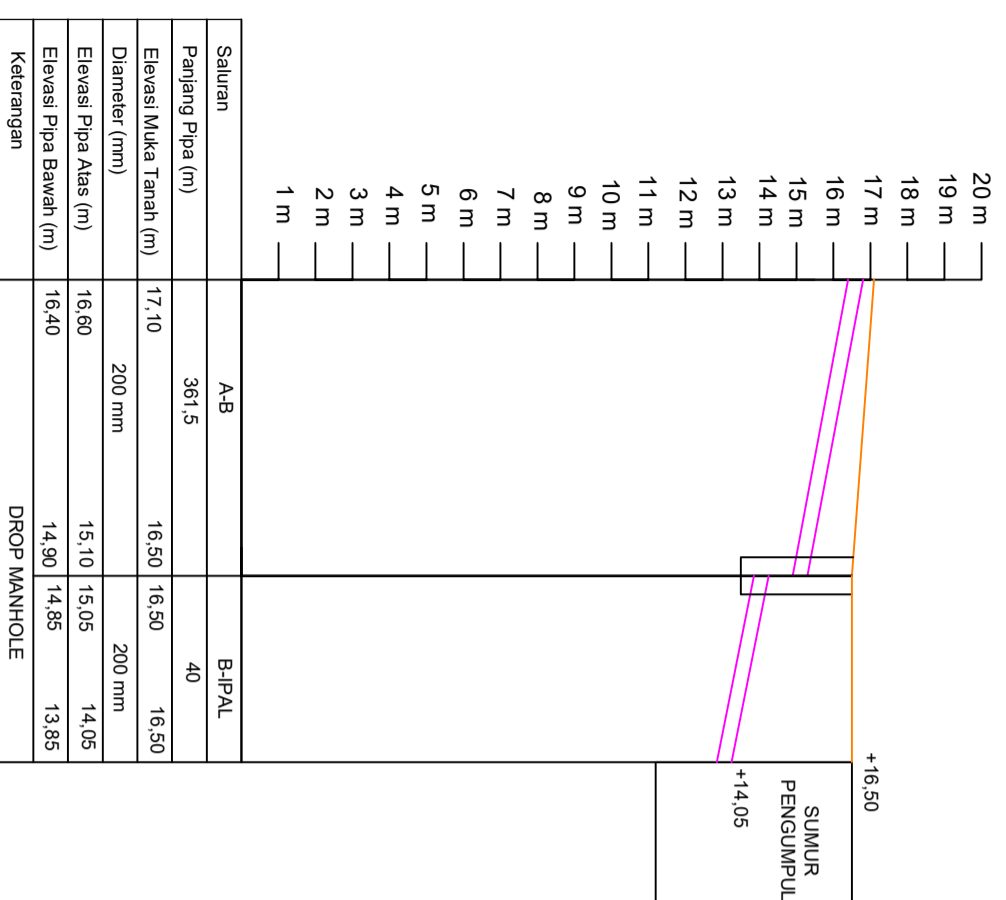
- pipa primer
- pipa sekunder
- pipa tersier

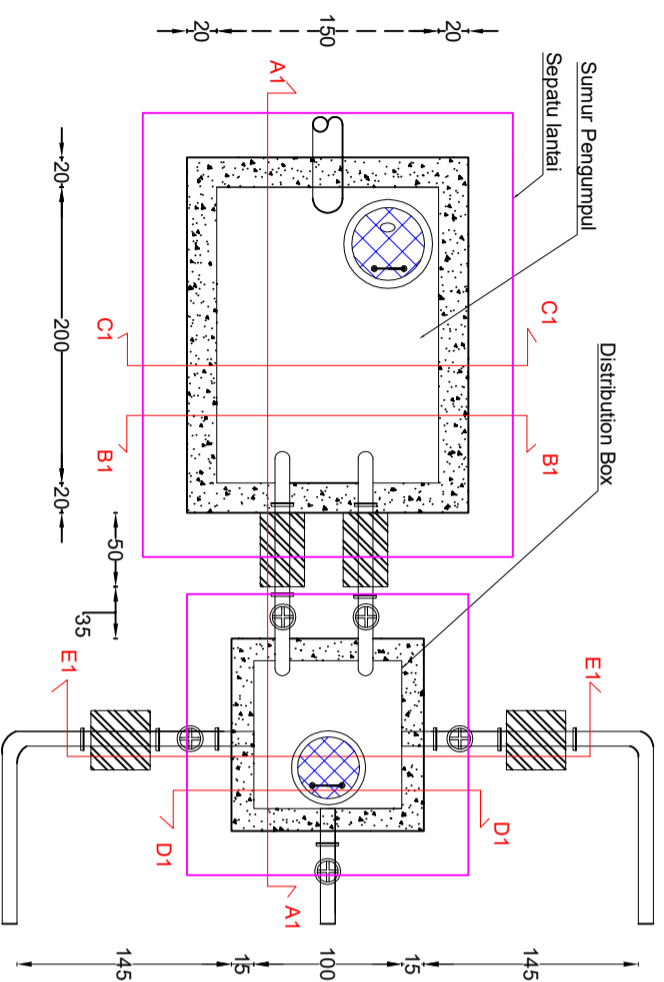
NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

8

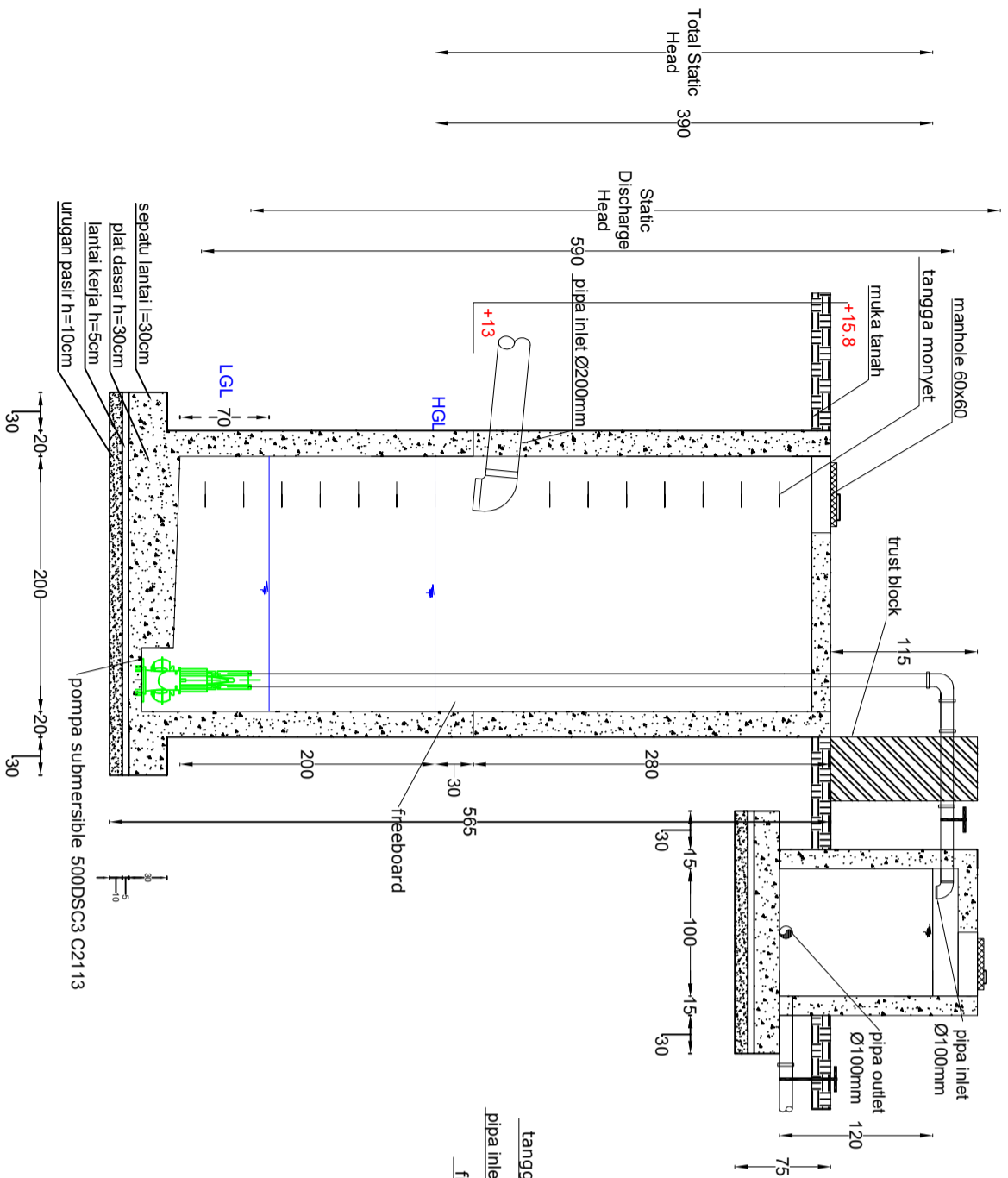
22

## PROFIL HIDROLIS CLUSTER III



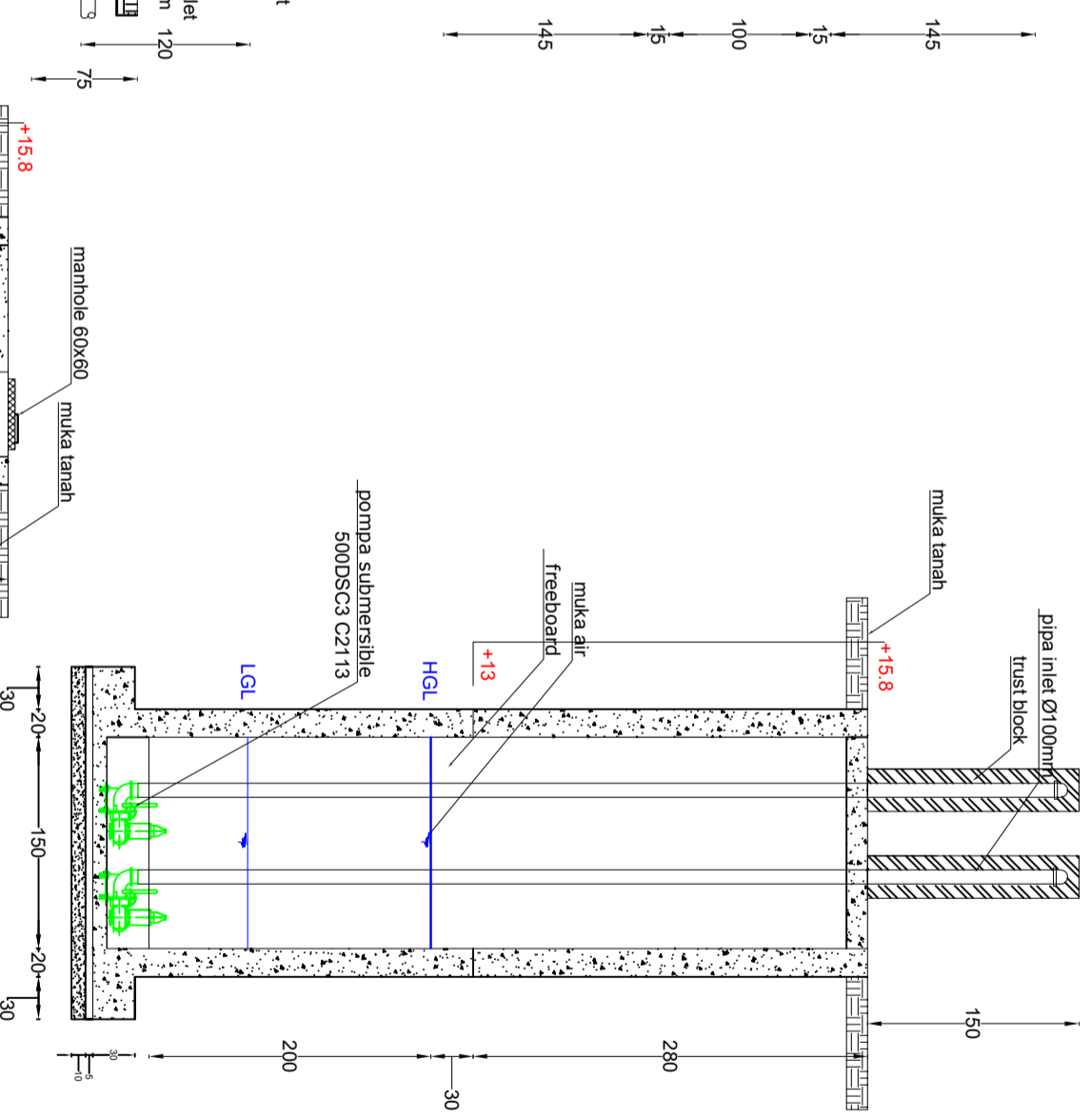


**DENAH SUMUR PENGUMPUL & DISTRIBUTION BOX I**

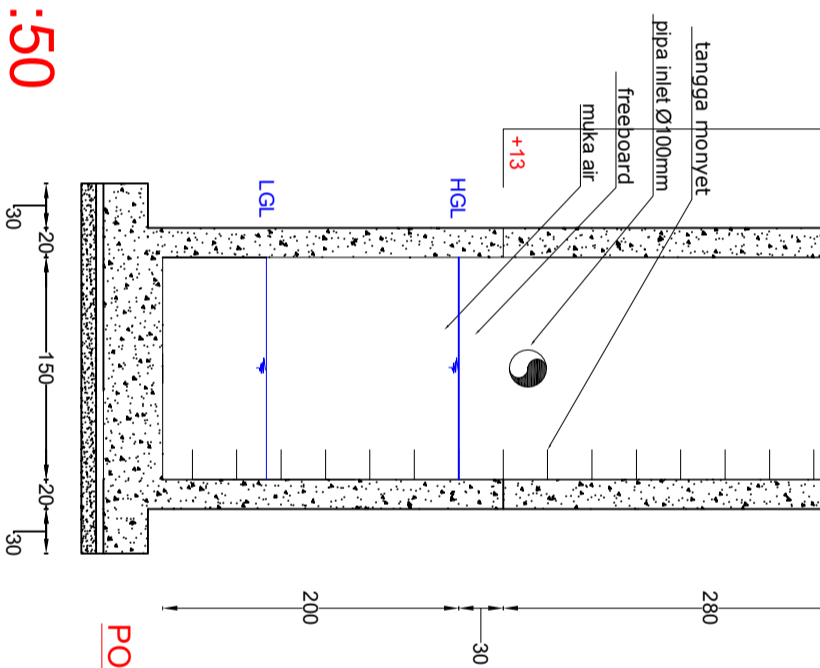


**POTONGAN A1-A1**

**SKALA 1:50**



**POTONGAN B1-B1**



**POTONGAN C1-C1**



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017




**TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN**

**JUDUL GAMBAR:**  
SUMUR PENGUMPUL &  
DISTRIBUTION BOX CLUSTER I

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**  
3313 100 088

- KETERANGAN:**
-  pasangan 1/2 bata
  -  beton bertulang
  -  muka tanah

**NOMOR GAMBAR:**      **JUMLAH GAMBAR:**

**9**

**22**

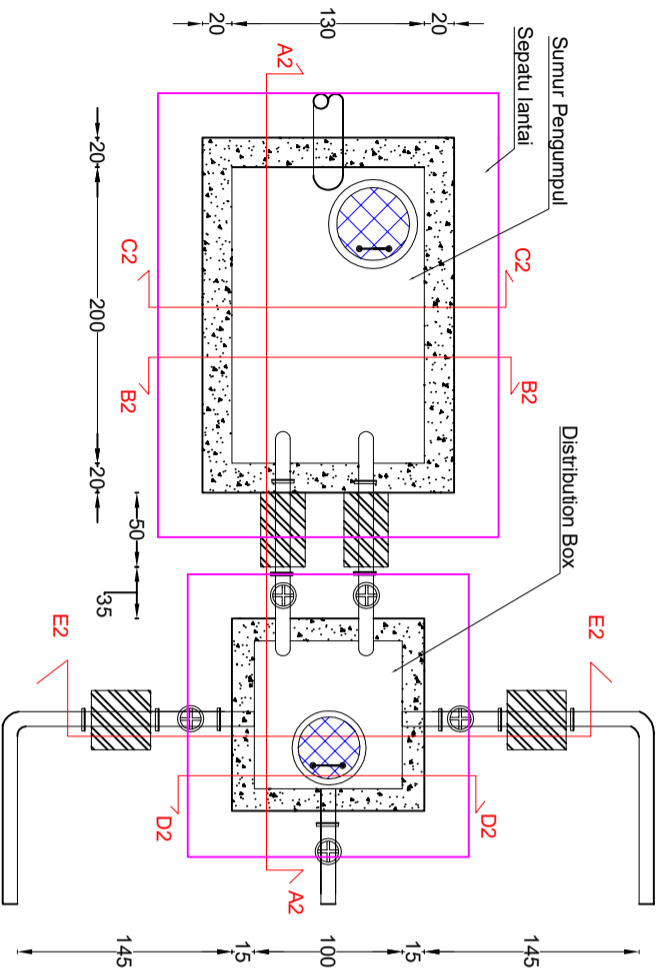
## BIOGRAFI PENULIS



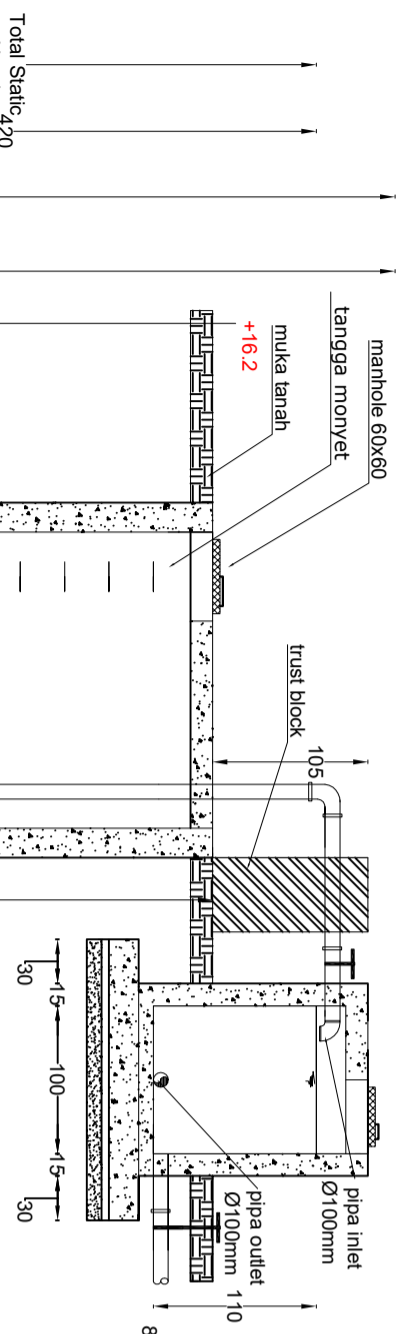
Fajar Arinal Khaq merupakan nama lengkap penulis. Penulis lahir di Kabupaten Sidoarjo pada tanggal 13 November 1994. Penulis bertempat tinggal di Sukolilo Park Regency J-23 Surabaya. Penulis mengemban Pendidikan formal dimulai dari Pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 1 Sidoarjo, dilanjutkan Pendidikan menengah di SMPN 5 Sidoarjo, dan kemudian dilanjutkan di SMAN 20 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik

Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313100088

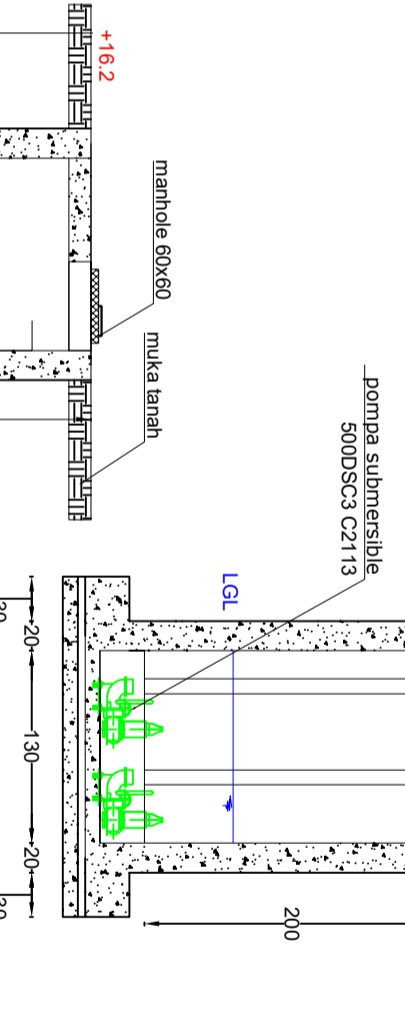
Selama masa perkuliahan penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai anggota aktif HMTL ITS dan Koperasi Mahasiswa ITS. Penulis pernah terlibat dalam kepengurusan di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS menjabat sebagai Ketua Tim Kerohanian Al-Kaun pada periode 2015/2016 dan di Koperasi Mahasiswa “dr. Angka” ITS menjabat sebagai ketua bidang Personalia pada periode 2017/2018. Penulis juga pernah mencatat prestasi non akademik yaitu mendapatkan pendanaan dalam lomba Pekan Mahasiswa Wirausaha (PMW) pada tahun 2013 serta memperoleh pendanaan Pekan ilmiah Mahasiswa (PKM) – PKMM didanai pada tahun 2014. Informasi lebih lanjut tentang penulis dapat dihubungi melalui e-mail [arinal.fajar@gmail.com](mailto:arinal.fajar@gmail.com).



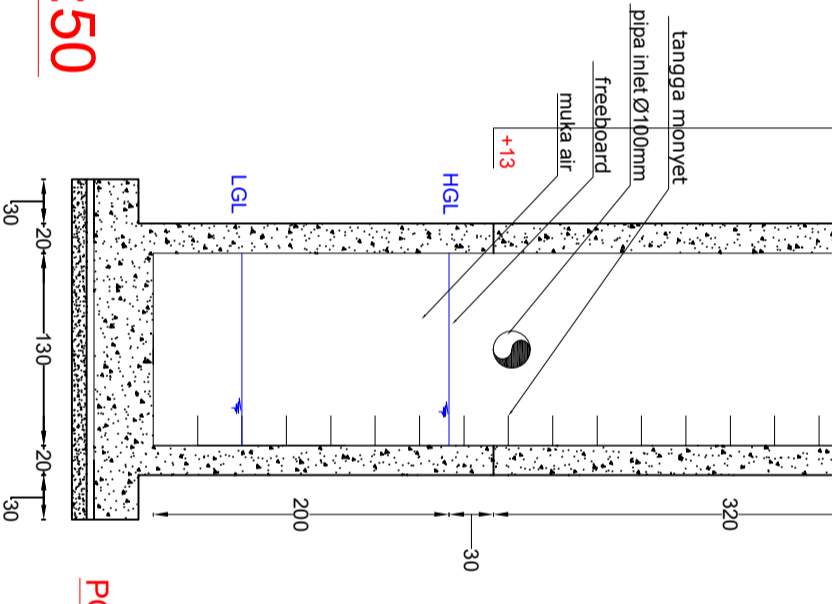
**DENAH SUMUR PENGUMPUL & DISTRIBUTION BOX II**



**POTONGAN A2-A2**



**POTONGAN B2-B2**



**POTONGAN C2-C2**



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017




**TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN**

**JUDUL GAMBAR:**  
SUMUR PENGUMPUL &  
DISTRIBUTION BOX CLUSTER II

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

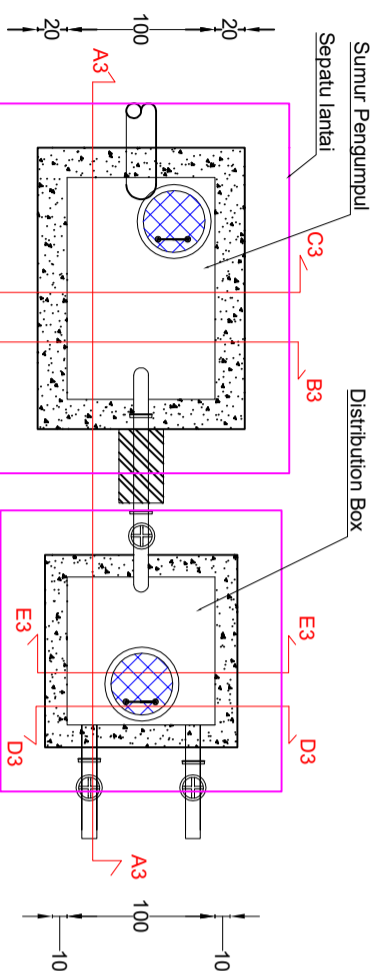
**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**  
3313 100 088

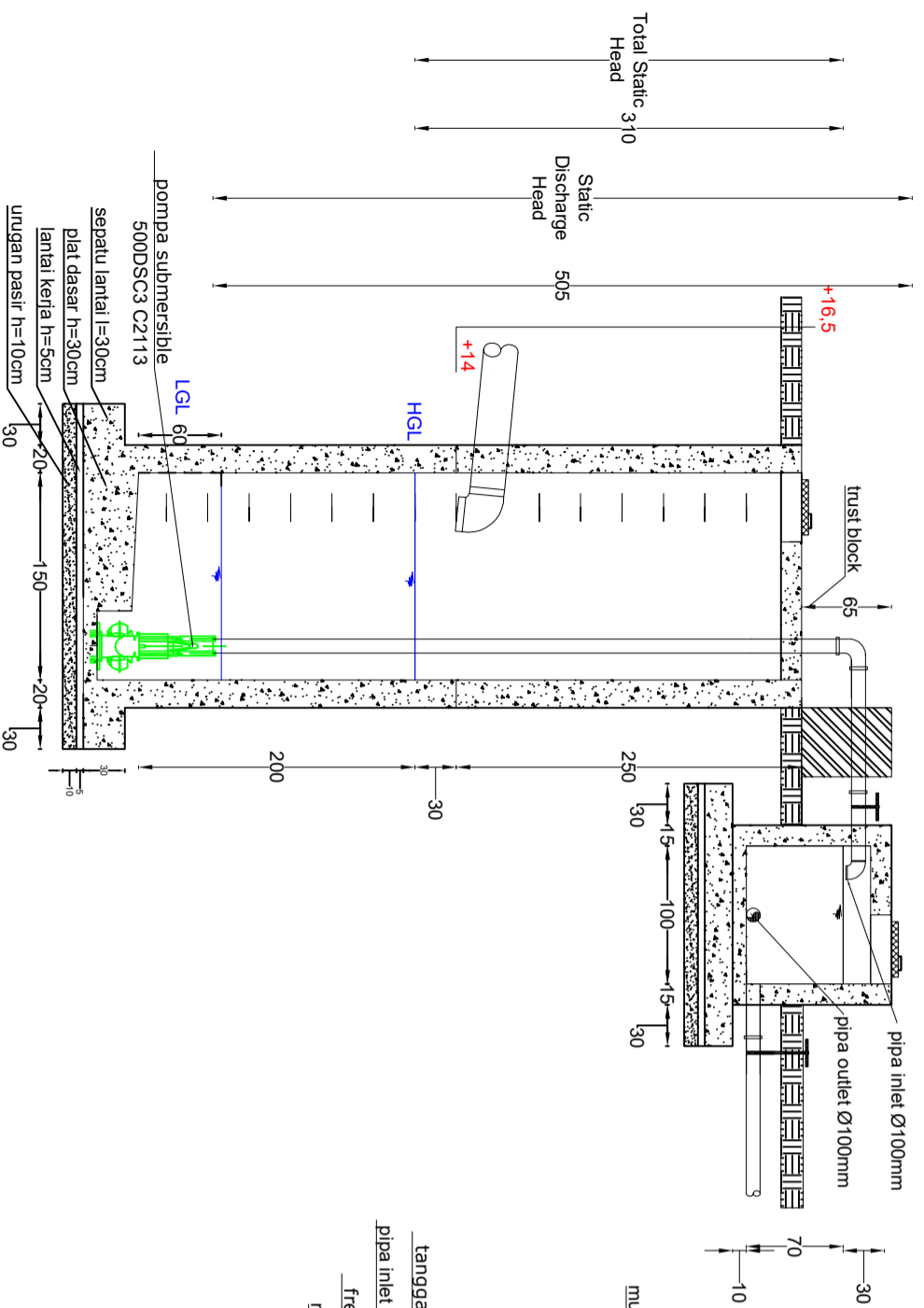
- KETERANGAN:**
-  pasangan 1/2 bata
  -  beton bertulang
  -  muka tanah

**NOMOR GAMBAR:**      **JUMLAH GAMBAR:**

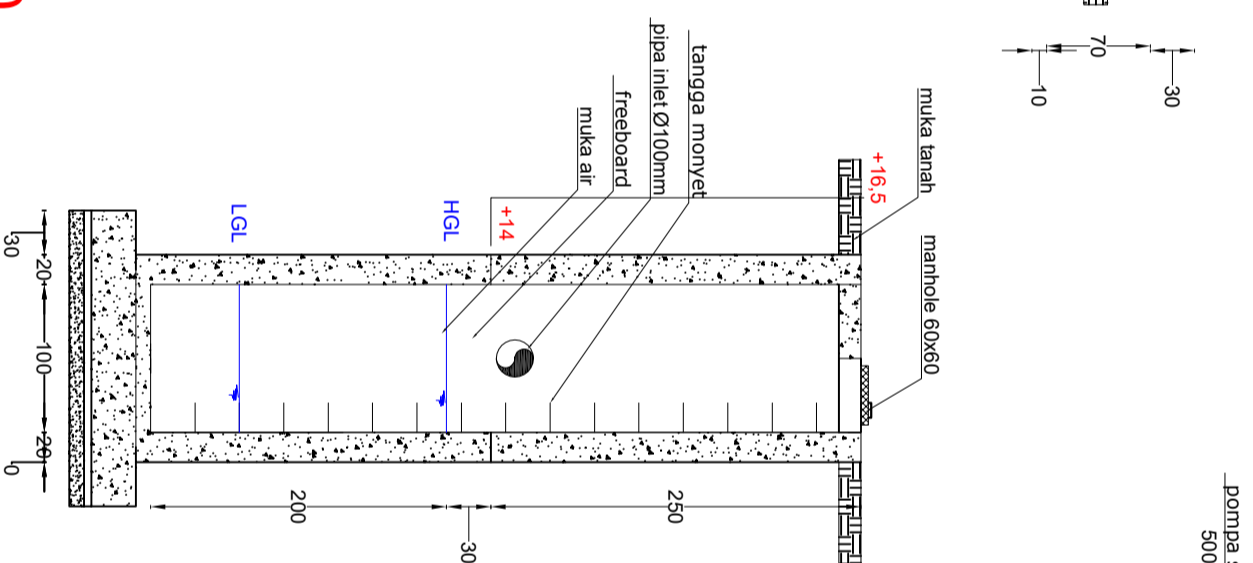
**10**                      **22**



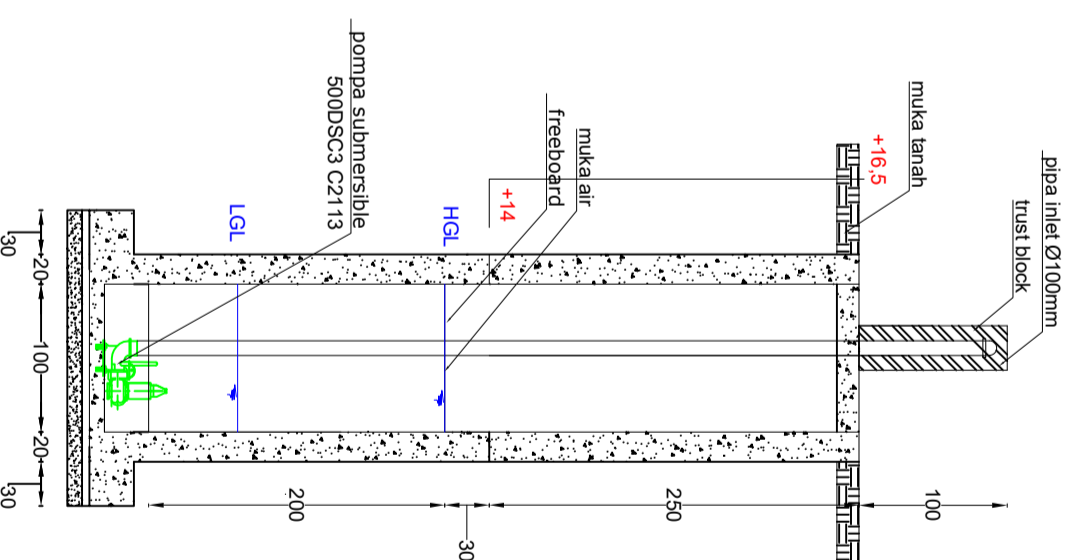
**DENAH SUMUR PENGUMPUL & DISTRIBUTION BOX III**



**POTONGAN A3-A3**



**POTONGAN C3-C3**



**POTONGAN B3-B3**



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:

SUMUR PENGUMPUL &  
DISTRIBUTION BOX CLUSTER III

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

MAHASISWA:

FAJAR ARINAL KHAQ

NRP:

3313 100 088

KETERANGAN:

- pasangan 1/2 bata
- beton bertulang
- muka tanah

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

11

22

SKALA 1:50





TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN


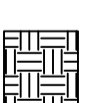
JUDUL GAMBAR:  
POTONGAN D-D & E-E  
SUMUR PENGUMPUL &  
DISTRIBUTION BOX

DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

MAHASISWA:  
FAJAR ARINAL KHAQ

NRP:  
3313 100 088

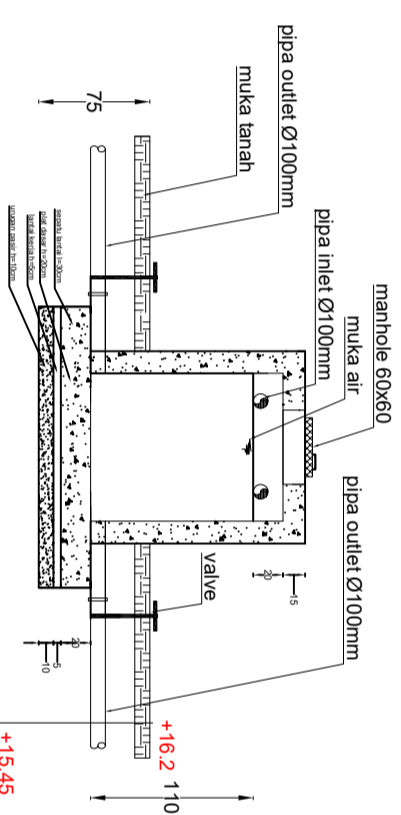
### KETERANGAN:

-  beton bertulang
-  muka tanah

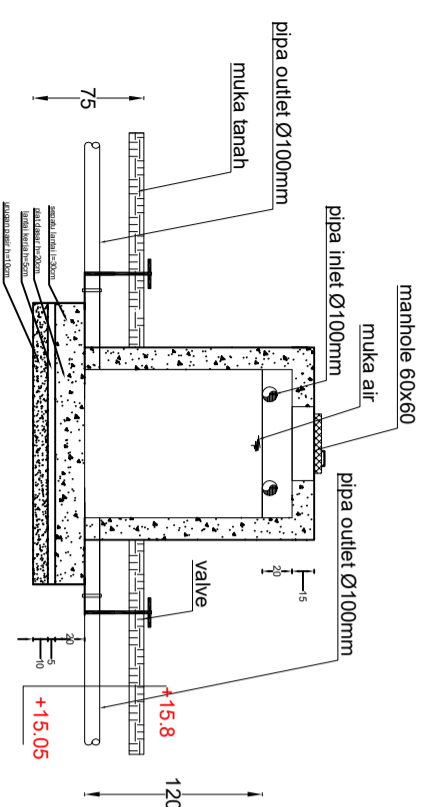
NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

12

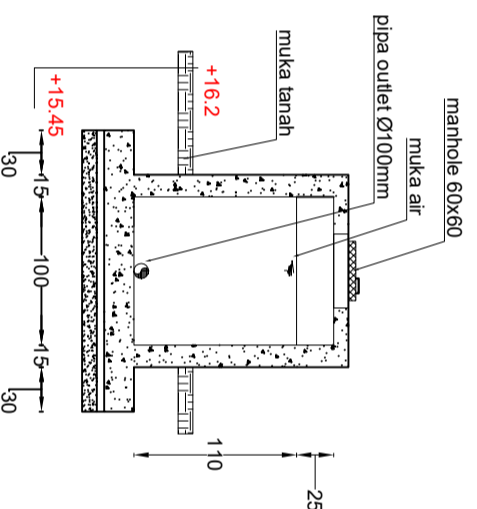
22



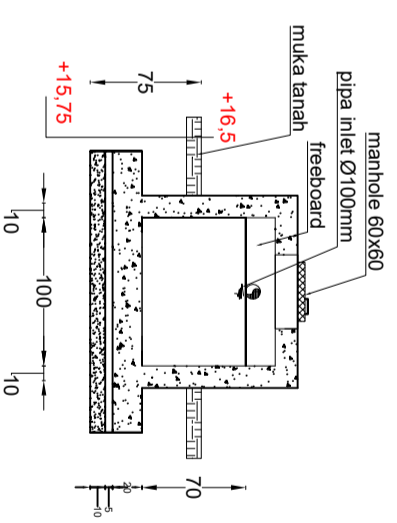
**POTONGAN E2-E2**



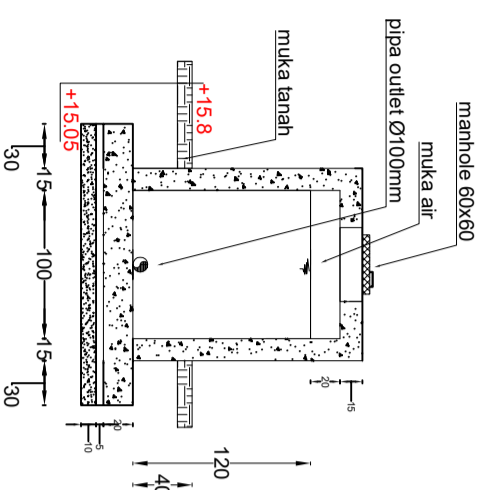
**POTONGAN E1-E1**



**POTONGAN D2-D2**



**POTONGAN E3-E3**



**POTONGAN D1-D1**

**SKALA 1:50**



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

### JUDUL GAMBAR: MANHOLE LURUS & BELOKAN

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

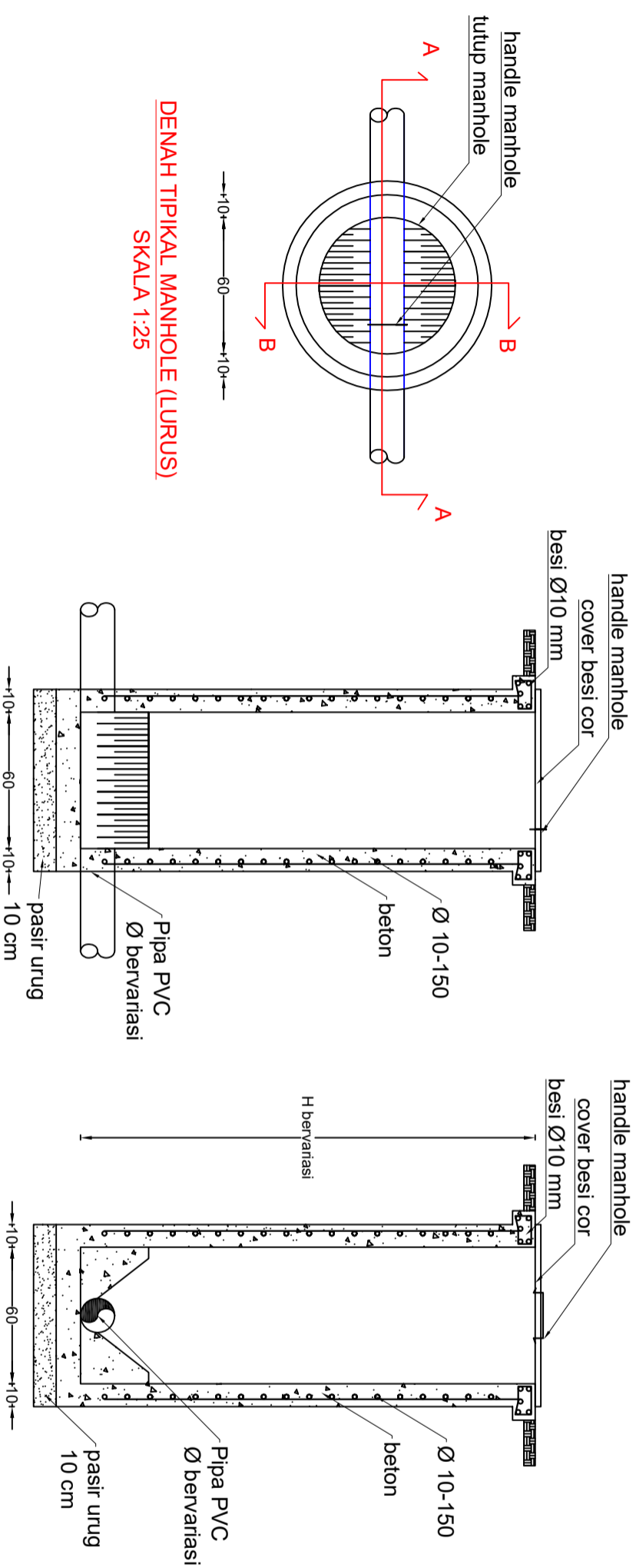
**NRP:**  
3313 100 088

- KETERANGAN:**
- pasir urug
  - beton bertulang
  - muka tanah

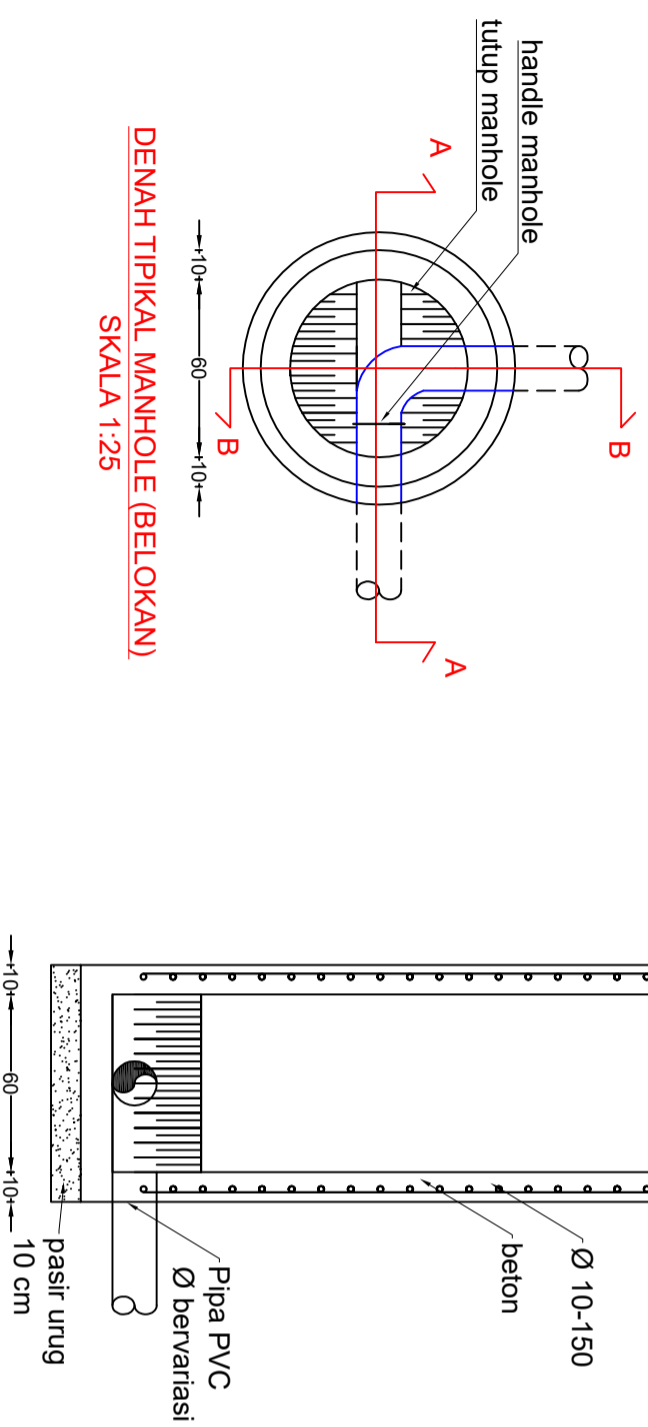
NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

13

22



**DENAH TIPIKAL MANHOLE (LURUS)**  
SKALA 1:25



**DENAH TIPIKAL MANHOLE (BELOKAN)**  
SKALA 1:25



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN




JUDUL GAMBAR:  
**MANHOLE PERTIGAAN  
& PEREMPATAN**

DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

MAHASISWA:  
FAJAR ARINAL KHAQ

NRP:  
3313 100 088

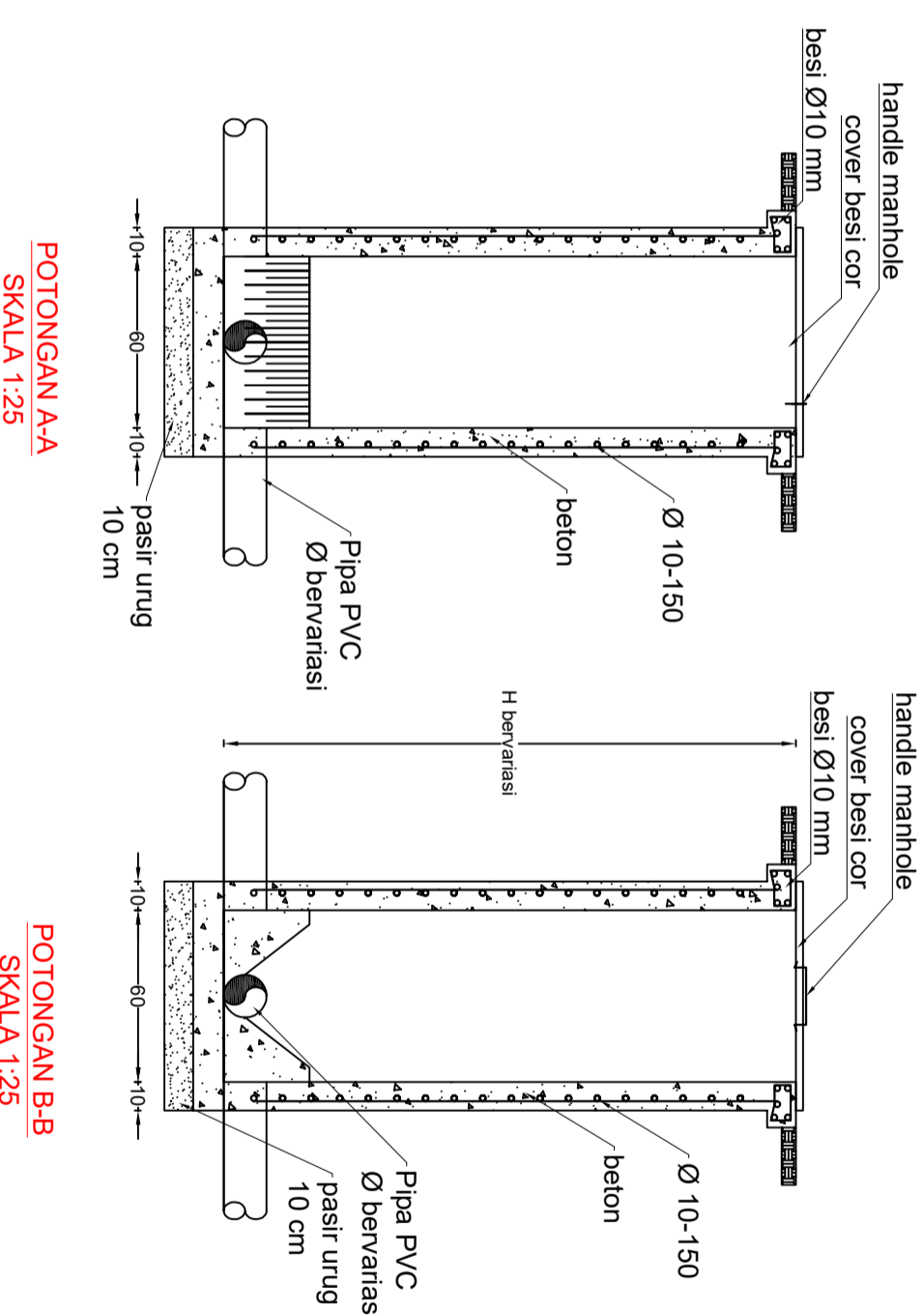
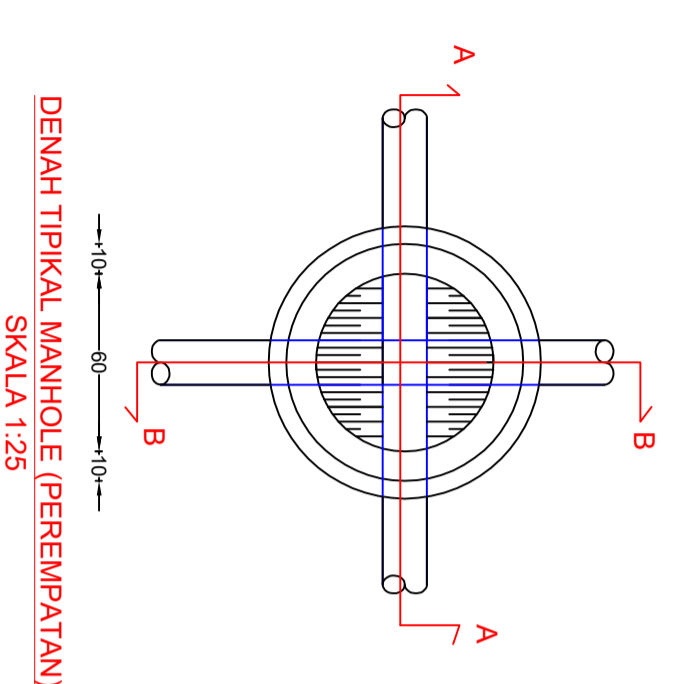
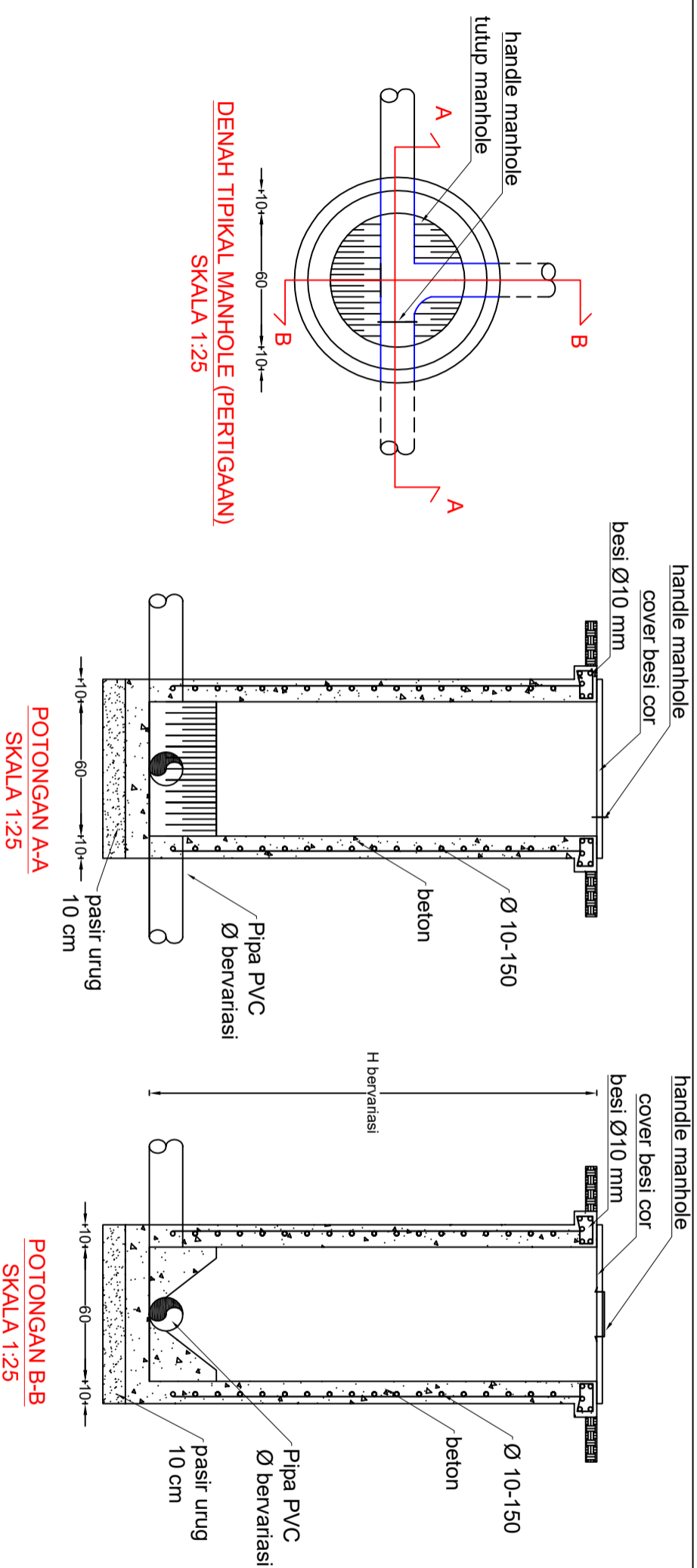
### KETERANGAN:

-  pasir urug
-  beton bertulang
-  muka tanah

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

14

22





TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN




JUDUL GAMBAR:  
DROP MANHOLE

DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

MAHASISWA:  
FAJAR ARINAL KHAQ

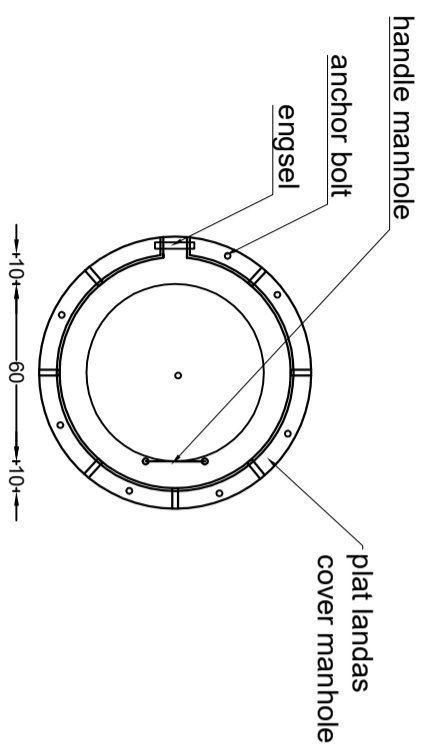
NRP:  
3313 100 088

**KETERANGAN:**

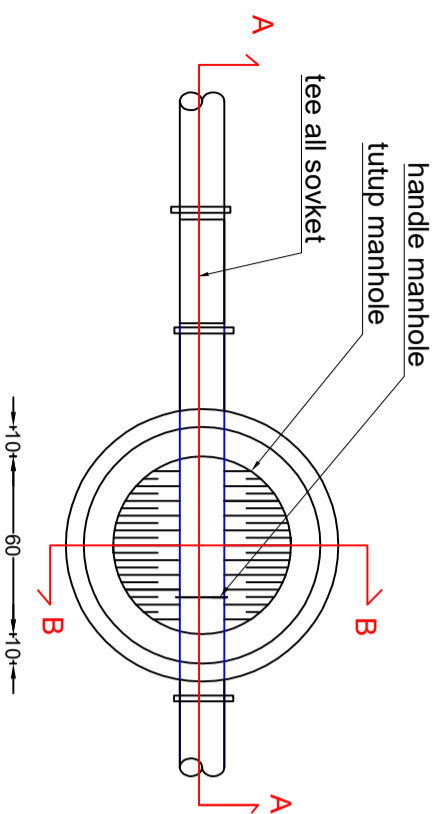
	pasir urug
	beton bertulang
	muka tanah

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

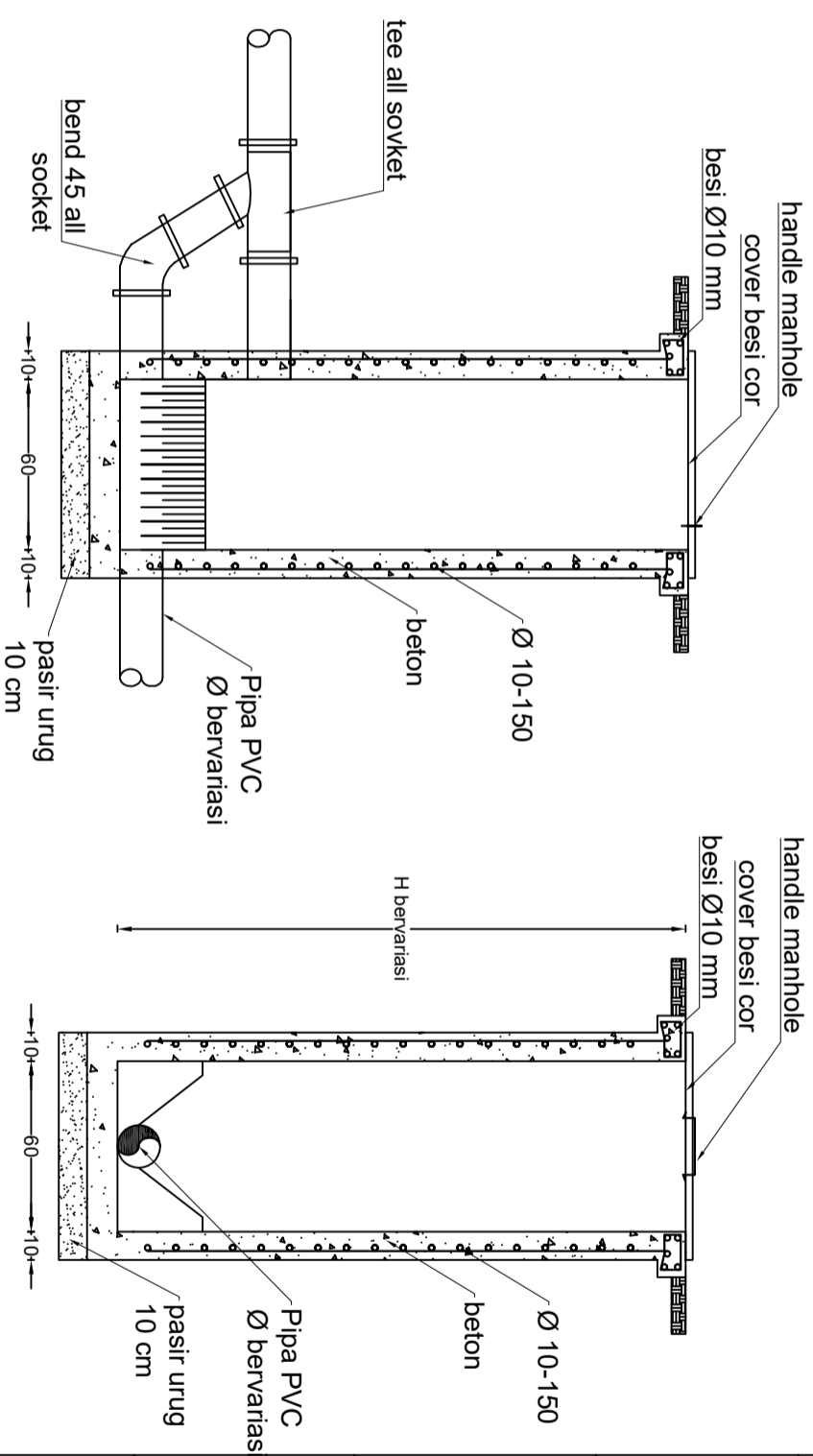
15 22



**DETAIL COVER MANHOLE**  
SKALA 1:25

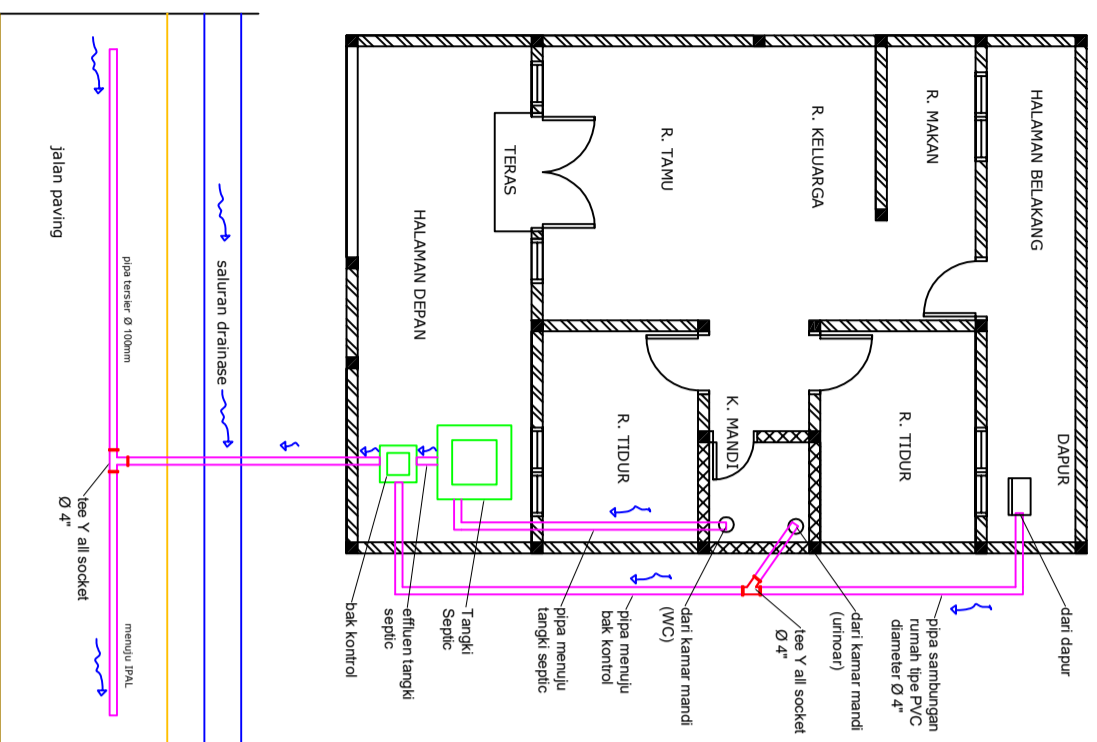


**DENAH TIPIKAL MANHOLE (DROP)**  
SKALA 1:25

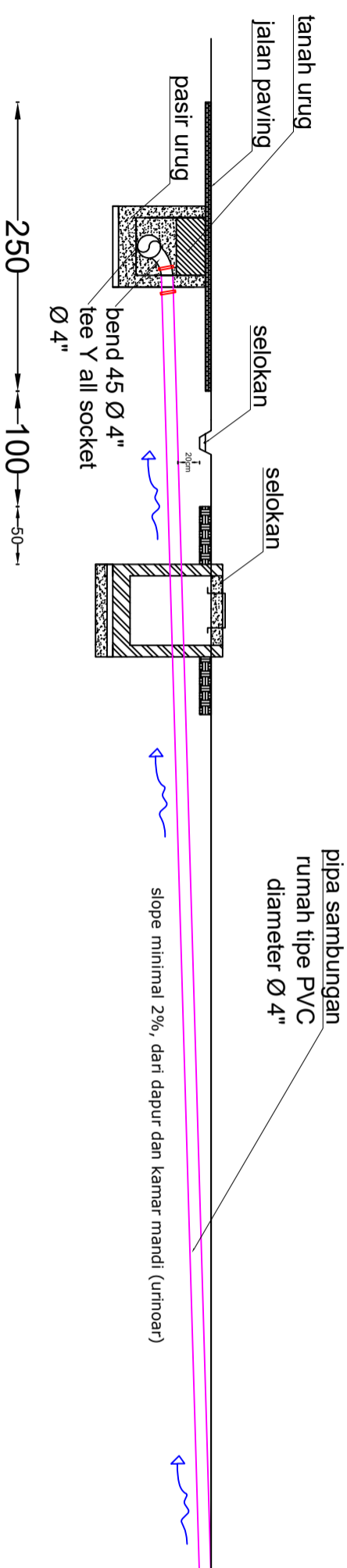


**POTONGAN A-A**  
SKALA 1:25

**POTONGAN B-B**  
SKALA 1:25



**DENAH SAMBUNGAN RUMAH**  
**SKALA 1:100**



**POTONGAN SAMBUNGAN RUMAH**  
**SKALA 1:50**



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN




JUDUL GAMBAR:  
SAMBUNGAN  
RUMAH

DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

MAHASISWA:  
FAJAR ARINAL KHAQ

NRP:  
3313 100 088

KETERANGAN:

-  pasir urug
-  beton bertulang
-  muka tanah

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

16 22



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:  
**BAK KONTROL**

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**  
3313 100 088

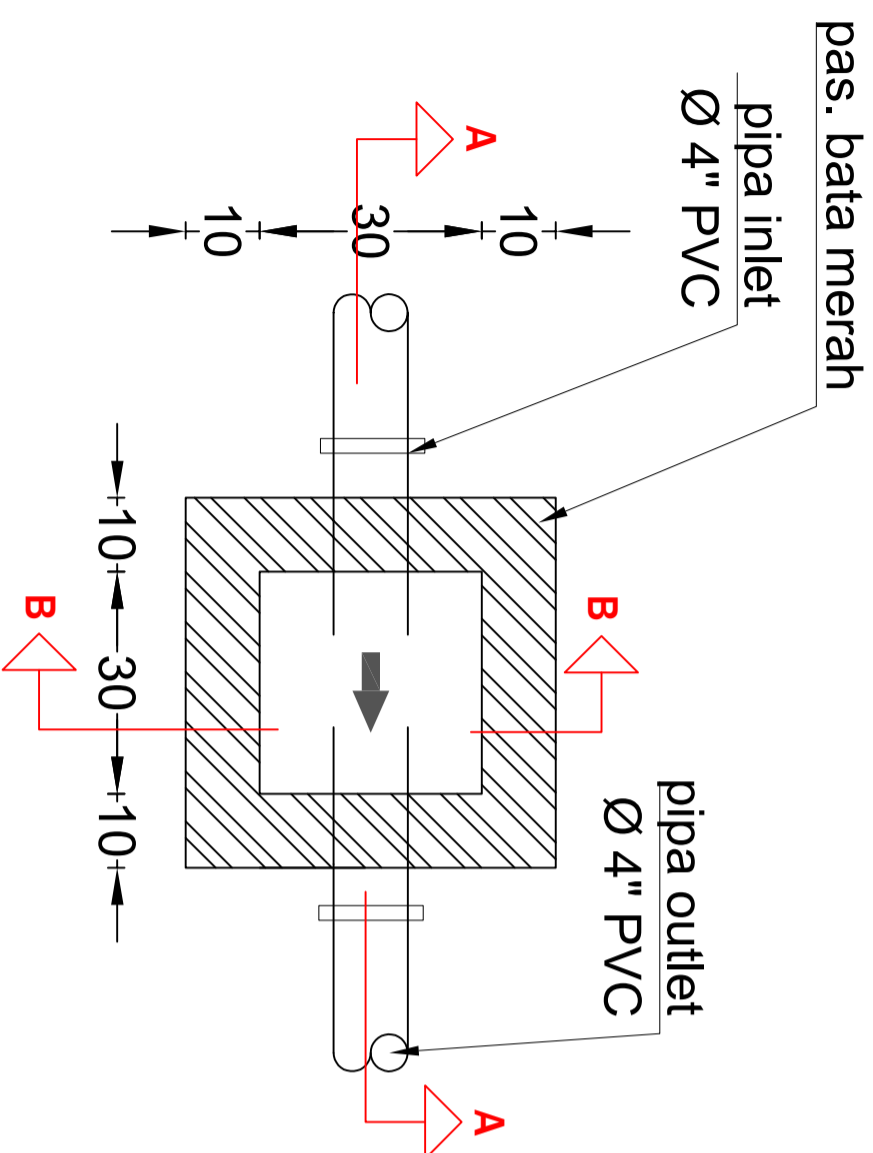
### KETERANGAN:

	pasir urug
	beton bertulang
	muka tanah
	pasangan 1/2 bata

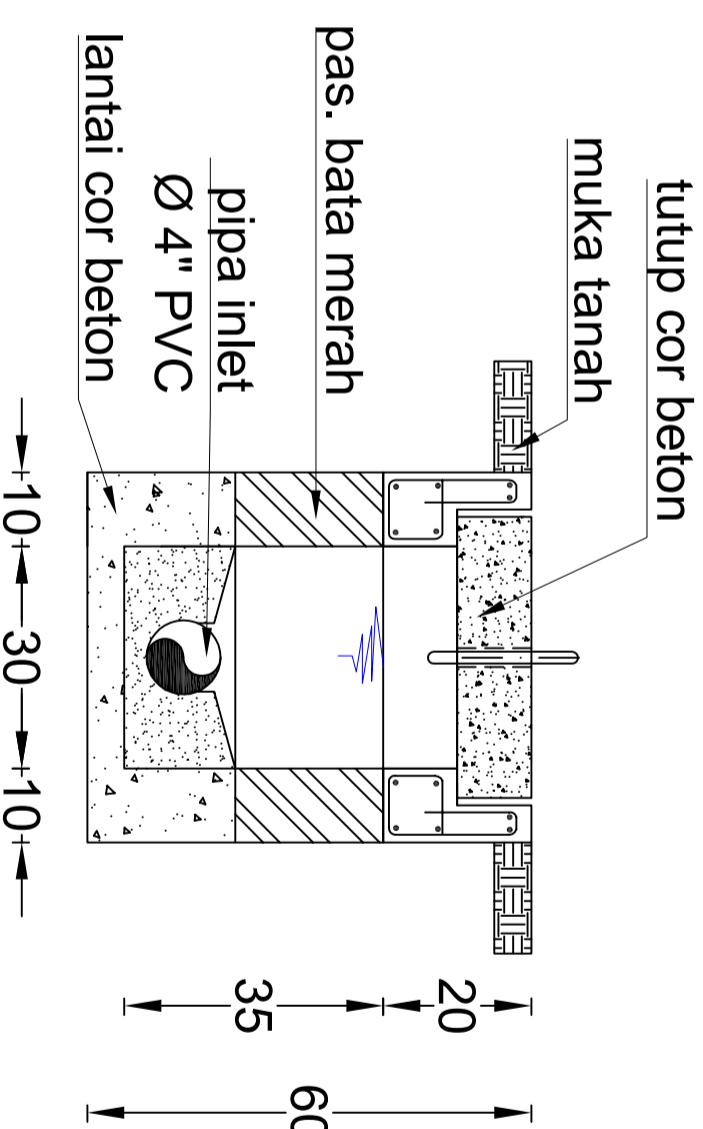
NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

17

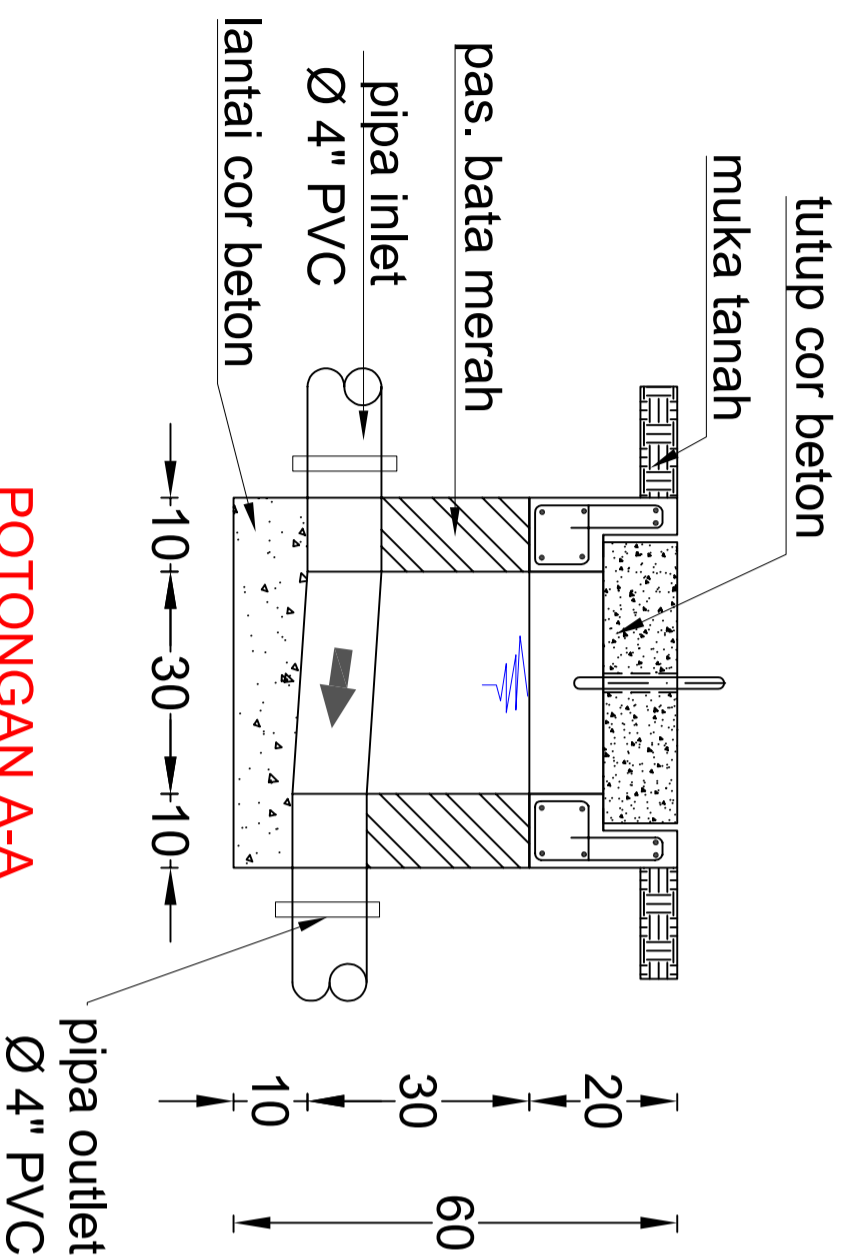
22



**DENAH BAK KONTROL**  
**SKALA 1:10**

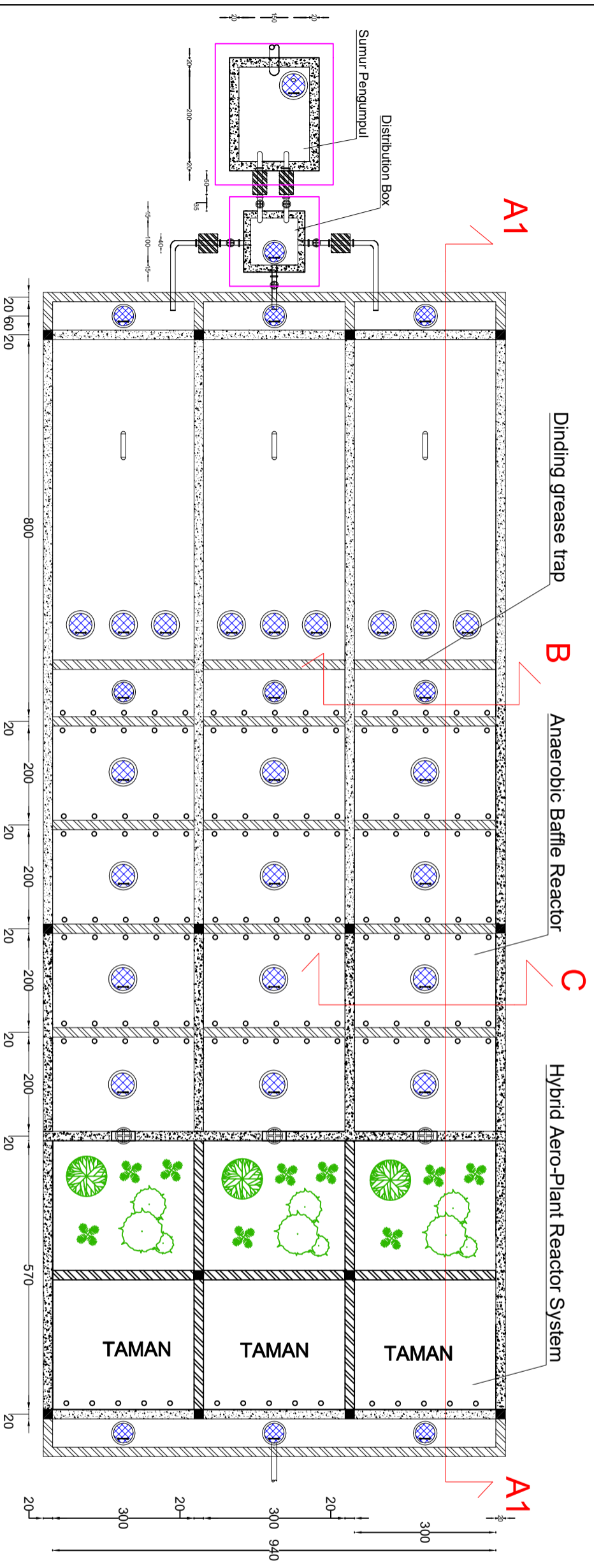


**POTONGAN B-B**  
**SKALA 1:10**

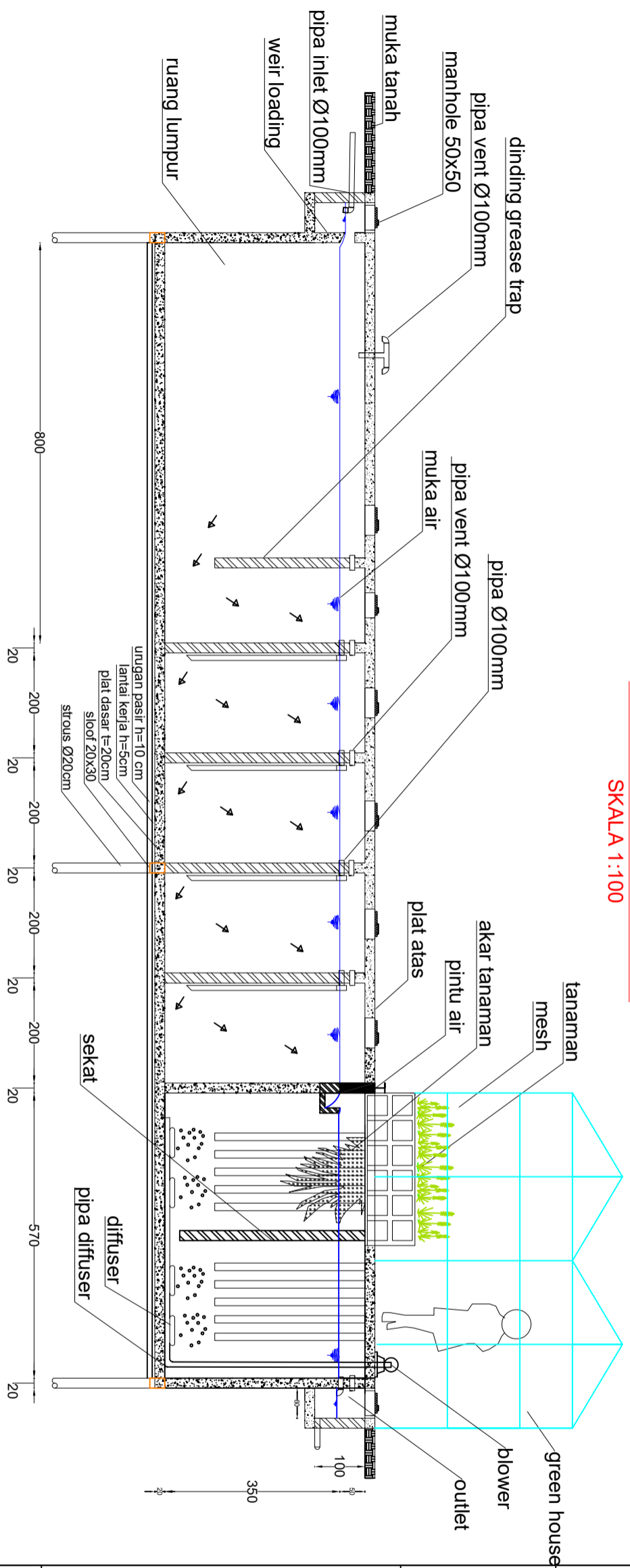


**POTONGAN A-A**  
**SKALA 1:10**





**DENAH ABR & HAPS CLUSTER I**  
SKALA 1:100



**POTONGAN A1 - A1**  
SKALA 1:100







TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

**TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN**

**JUDUL GAMBAR:  
ABR & ORGANICA  
CLUSTER I**

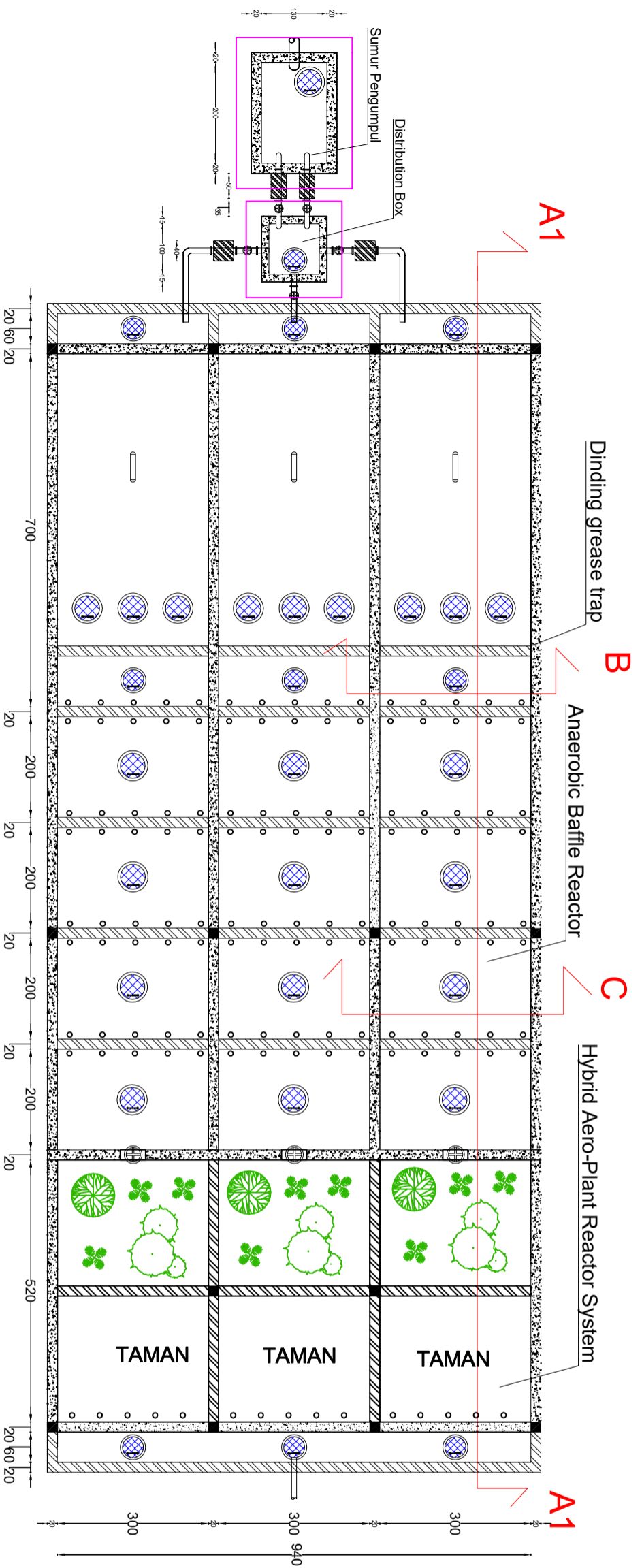
**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ  
**NRP:**  
3313 100 088

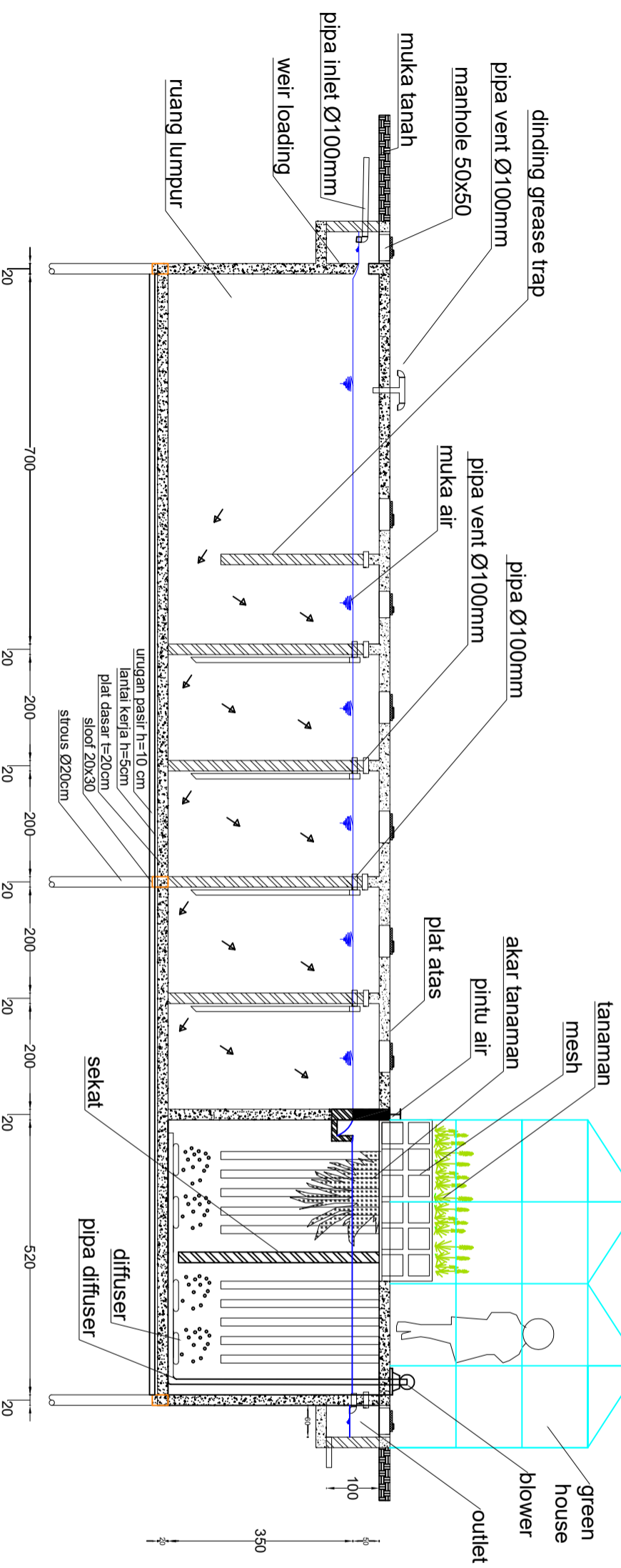
- KETERANGAN:**
-  pasir urug
  -  beton bertulang
  -  muka tanah
  -  pasangan 1/2 bata

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

**18 22**



**DENAH ABR & HAPS CLUSTER II**  
**SKALA 1:100**



**POTONGAN A2 - A2**  
**SKALA 1:100**



TEKNIK LINGKUNGAN  
 FTSP - ITS  
 2017

**TUGAS AKHIR  
 PERENCANAAN**

JUDUL GAMBAR:

**ABR & ORGANICA  
 CLUSTER II**

**DOSEN PEMBIMBING:**

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc





**MAHASISWA:**

FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**

3313 100 088

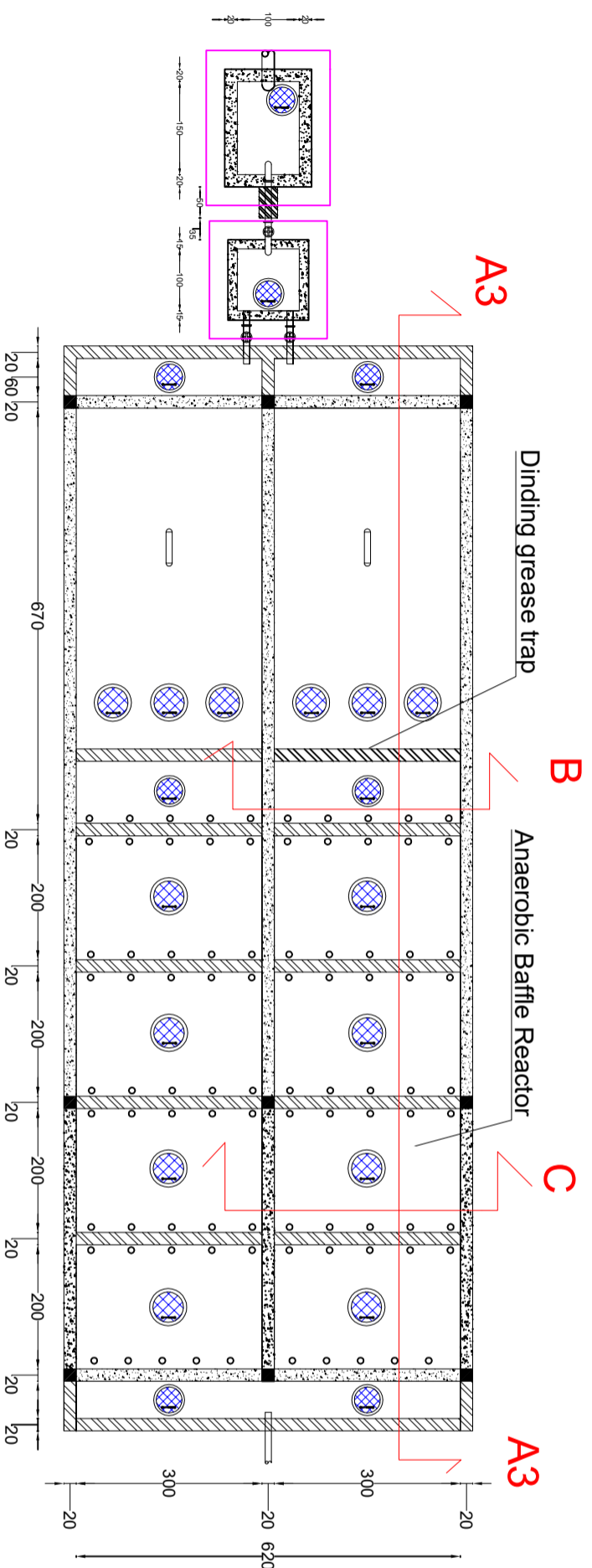
**KETERANGAN:**

-  pasir urug
-  beton bertulang
-  muka tanah
-  pasangan 1/2 bata

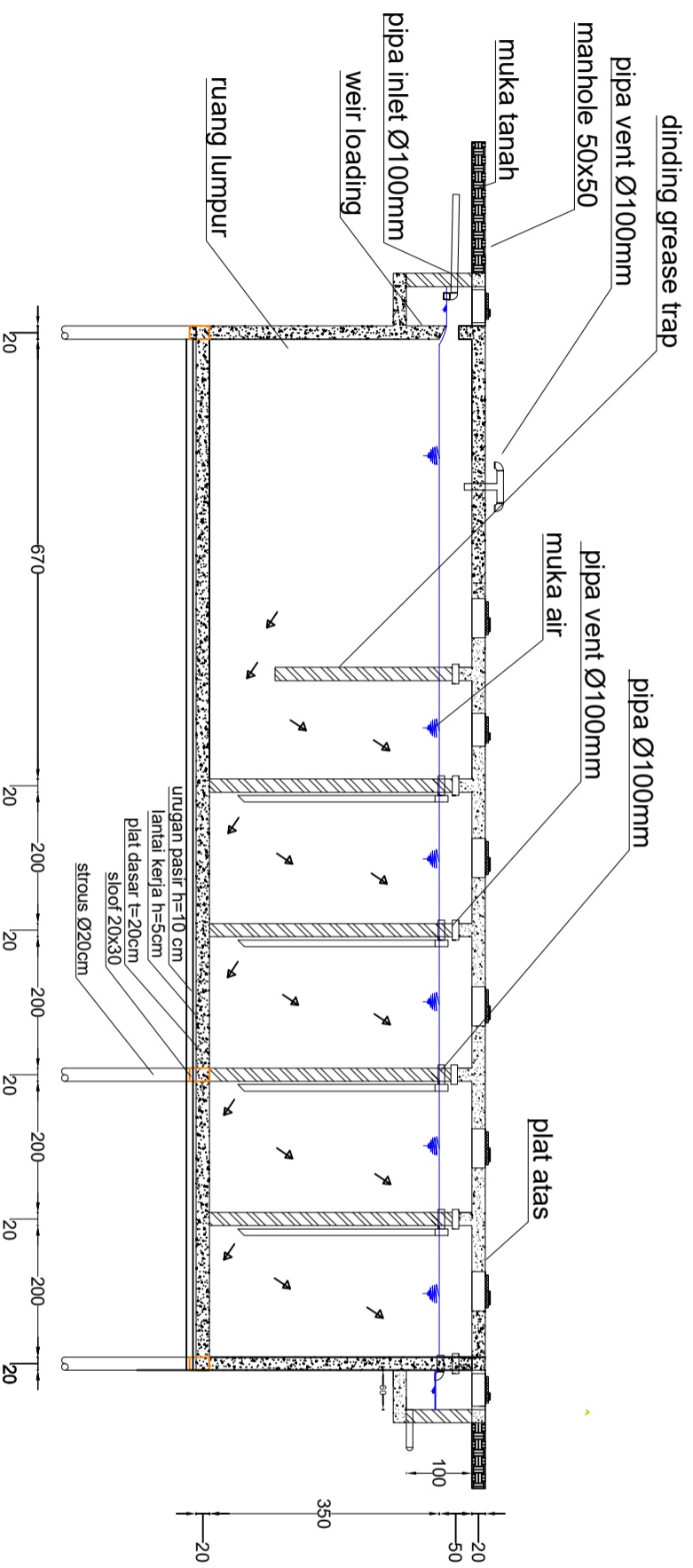
NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

**19** **22**





**DENAH ABR CLUSTER III**  
**SKALA 1:100**



**POTONGAN A3 - A3**  
**SKALA 1:100**



TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017





**TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN**

**JUDUL GAMBAR:  
ABR & ORGANICA  
CLUSTER III**

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

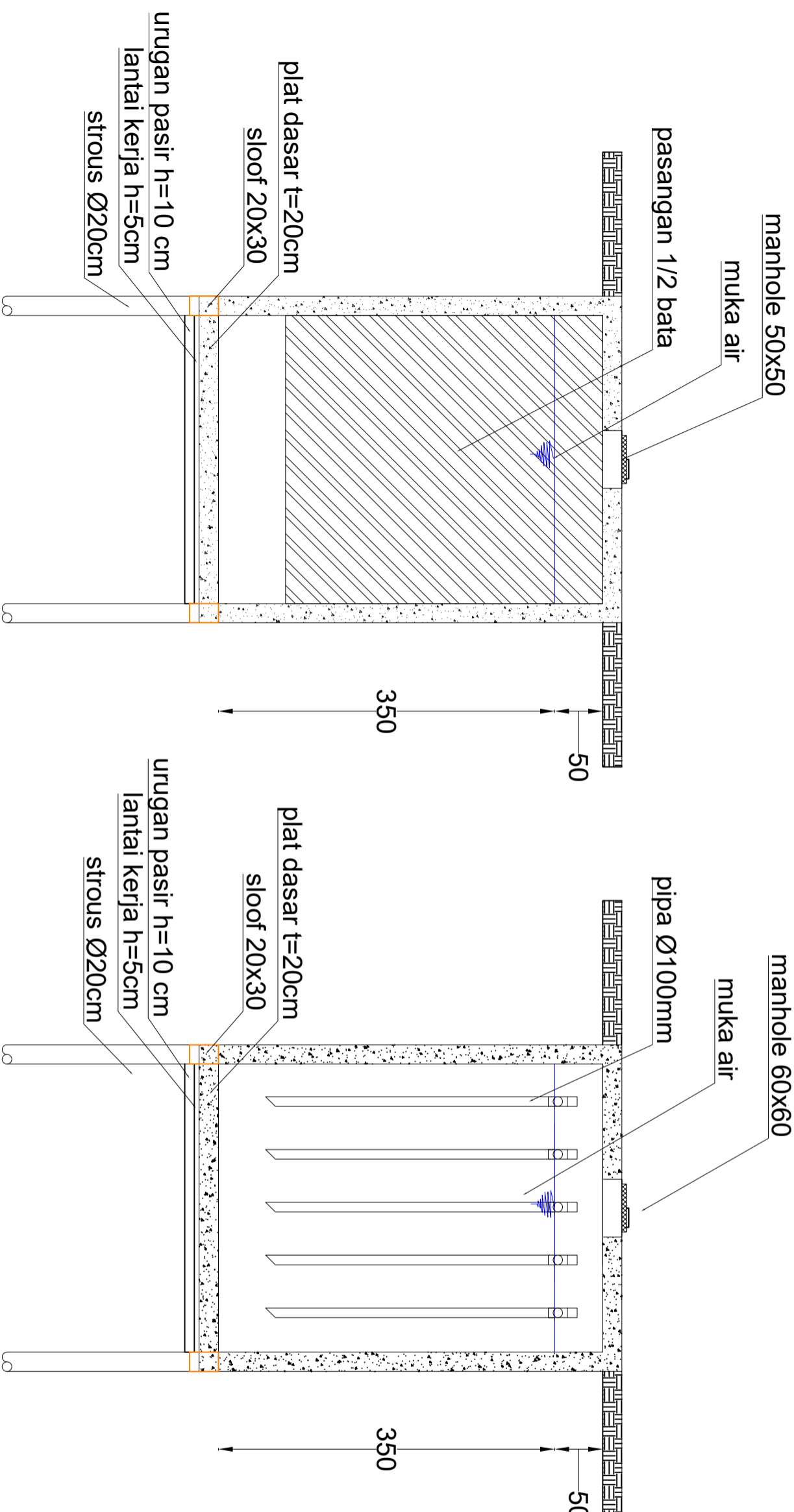
**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ  
**NRP:**  
3313 100 088

**KETERANGAN:**

	pasir urug
	beton bertulang
	muka tanah
	pasangan 1/2 bata

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

**20 22**



**POTONGAN B-B**  
**SKALA 1:50**

**POTONGAN C-C**  
**SKALA 1:50**







TEKNIK LINGKUNGAN  
FTSP - ITS  
2017

**TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN**

JUDUL GAMBAR:  
**POTONGAN ABR  
B-B & C-C**

**DOSEN PEMBIMBING:**  
Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc

**MAHASISWA:**  
FAJAR ARINAL KHAQ  
NRP:  
3313 100 088

- KETERANGAN:**
-  pasir urug
  -  beton bertulang
  -  muka tanah
  -  pasangan 1/2 bata

NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

**21**

**22**



TEKNIK LINGKUNGAN

FTSP - ITS  
2017

## TUGAS AKHIR PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR:

### PROFIL HIDROLIS IPAL

**DOSEN PEMBIMBING:**

Dr. Ir. Agus Slamet Dipl., SE, M.Sc





**MAHASISWA:**

FAJAR ARINAL KHAQ

**NRP:**

3313 100 088

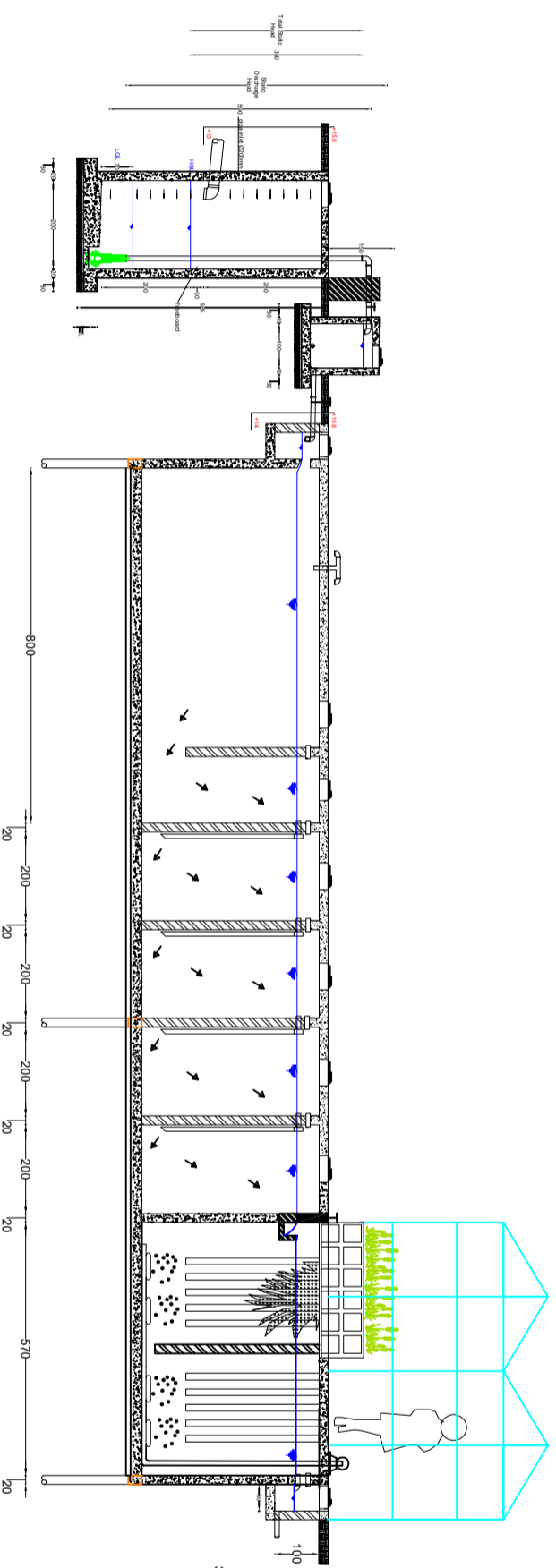
**KETERANGAN:**

-  pasir urug
-  beton bertulang
-  muka tanah
-  pasangan 1/2 bata

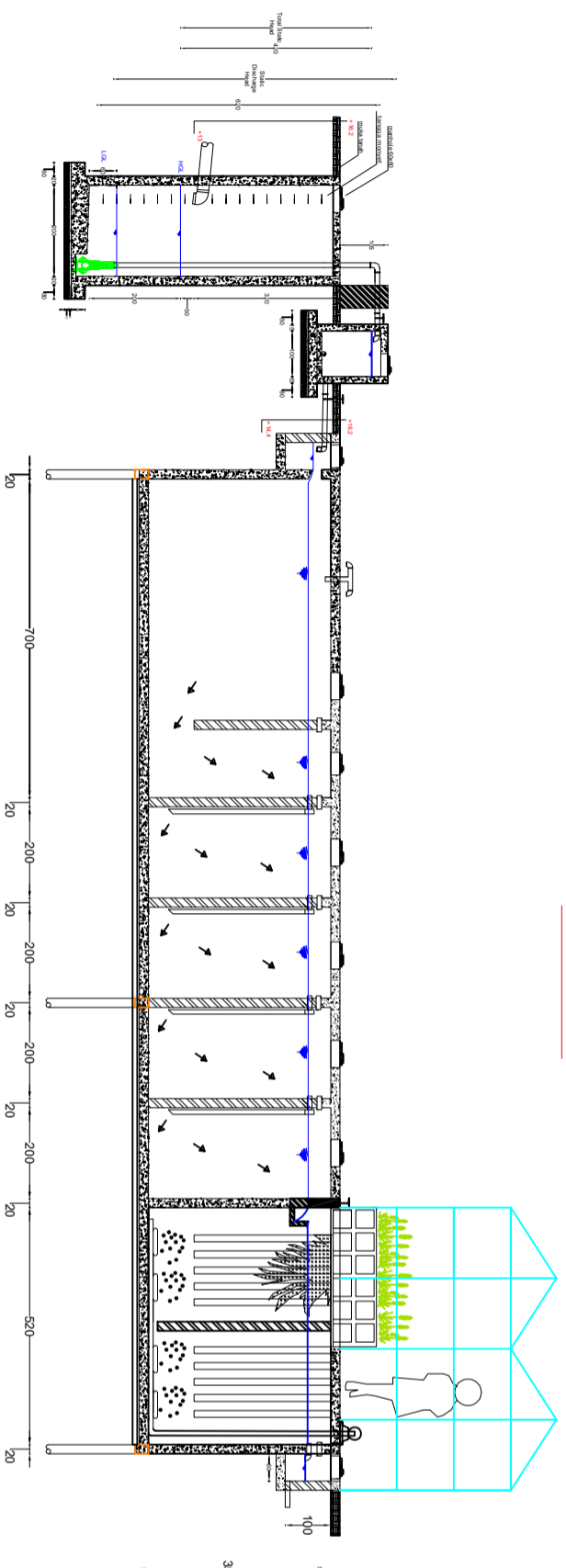
NOMOR GAMBAR: JUMLAH GAMBAR:

22

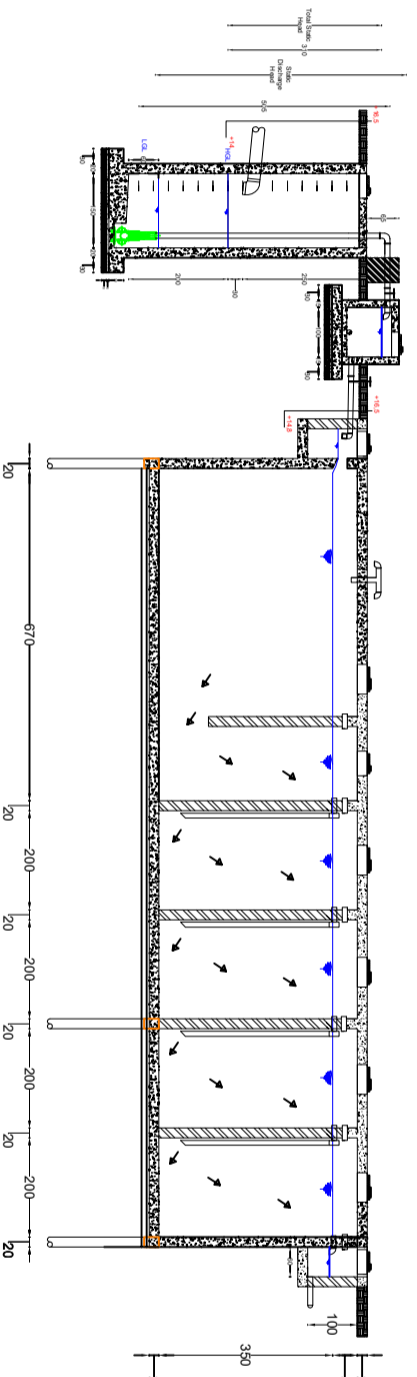
22



**PROFIL HIDROLIS IPAL 1**  
SKALA 1:150



**PROFIL HIDROLIS IPAL 2**  
SKALA 1:150



**PROFIL HIDROLIS IPAL 3**  
SKALA 1:150