



TUGAS AKHIR - RE 184804

# PERENCANAAN PENGOLAHAN DAUR ULANG EFLUEN IPAL PT SIER MENJADI AIR MINUM UNTUK KEGIATAN INDUSTRI

DITA AMARA YERANDA  
03211640000017

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020





**TUGAS AKHIR - RE 184804**

# **PERENCANAAN PENGOLAHAN DAUR ULANG EFLUEN IPAL PT SIER MENJADI AIR MINUM UNTUK KEGIATAN INDUSTRI**

**DITA AMARA YERANDA**  
**0321164000017**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2020**





FINAL PROJECT - RE 184804

DESIGN OF RECLAIMED WATER  
TREATMENT OF PT SIER WWTP'S  
EFFLUENT INTO DRINKING WATER FOR  
INDUSTRIAL ACTIVITIES

DITA AMARA YERANDA  
0321164000012

SUPERVISOR  
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**HALAMAN PENGESAHAN**

**PERENCANAAN PENGOLAHAN DAUR ULANG EFLUEN  
IPAL PT SIER MENJADI AIR MINUM UNTUK KEGIATAN  
INDUSTRI**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:  
**DITA AMARA YERANDA**  
NRP. 0321164000017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.  
NIP. 19590811 198701 1 001

**SURABAYA, AGUSTUS 2020**





## **Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri**

Nama Mahasiswa : Dita Amara Yeranda  
NRP : 03211640000017  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

### **ABSTRAK**

IPAL PT SIER mengolah limbah industri dan limbah rumah tangga yang berasal dari pabrik. IPAL ini mampu mengolah air limbah hingga 10.000 m<sup>3</sup>/hari dengan menggunakan proses fisika dan biologis tanpa penggunaan bahan kimia apapun. Efluen IPAL PT SIER telah memenuhi baku mutu efluen air limbah kawasan industri (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013) sehingga aman dibuang ke badan air yaitu Sungai Tambak Oso.

Rencana kedepannya, efluen IPAL akan diolah menjadi air minum untuk kegiatan industri. Hal ini didasari atas permintaan industri sekitar untuk penyediaan air bersih yang lebih terjangkau serta sebagai upaya optimalisasi aset perusahaan. Program ini diharapkan dapat meningkatkan perlindungan kualitas air Sungai Tambak Oso. Sehingga, diperlukan alternatif perencanaan pengolahan efluen IPAL menjadi air minum untuk kegiatan industri.

Dalam perencanaan ini dibutuhkan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian laboratorium berupa data kualitas efluen IPAL berdasarkan Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010. Sementara, data sekunder adalah data debit dan kualitas efluen IPAL, serta kebutuhan air *tenant* yang tertarik membeli air hasil olahan. Kemudian, data-data tersebut digunakan untuk membuat alternatif sistem pengolahan sehingga dapat disusun *Detail Engineering Design* (DED) perencanaan serta perhitungan biaya investasi dan biaya operasional pemeliharaan menggunakan perhitungan BOQ (*Bill of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya). Perhitungan BOQ dan RAB dihitung

dengan menggunakan HSPK (Harga Satuan Pokok Kegiatan) Kota Surabaya Tahun 2018.

Kapasitas pengolahan perencanaan adalah 2700 m<sup>3</sup>/hari dengan sistem alternatif pengolahan terpilih yang terdiri dari unit *Rapid Sand Filter* (RSF), *ion exchanger*, nanofiltrasi, dan *chlorine gas disinfection*. Biaya investasi yang diperoleh adalah Rp464.289.037 dan biaya operasional serta pemeliharaan yang dibutuhkan sebesar Rp436.387.676 dalam 1 tahun. Kualitas air olahan telah memenuhi baku mutu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010. Kawasan Industri Rungkut, Surabaya menjadi target pendistribusian air daur ulang IPAL PT SIER.

**Kata kunci: Air minum, BOQ dan RAB, daur ulang, efluen IPAL, PT SIER.**

## **Design of Reclaimed Water Treatment of PT SIER WWTP's Effluent into Drinking Water for Industrial Activities**

Name of Student : Dita Amara Yeranda  
ID Number : 03211640000017  
Study Programme : Teknik Lingkungan  
Supervisor : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

### **ABSTRACT**

WWTP (Waste Water Treatment Plant) of PT SIER treats waste water from industrial and household activities from factories. The WWTP is able to treat wastewater up to 10,000 m<sup>3</sup>/day using physical and biological processes without the use of any chemicals. Effluent of WWTP PT SIER has met the effluent quality standards for industrial area wastewater (Governor Regulation East Java Number 72 of 2013) so that it is safe to be discharged into water bodies, namely the Tambak Oso River.

Effluent of WWTP will be processed into drinking water for industrial activities. This is based on the demand of the surrounding industry for the provision of clean water that is more affordable as well as an effort to optimize company assets. The program is expected to improve the protection of the water quality of the Tambak Oso River. Therefore, an alternative planning for effluent treatment of WWTP is needed to be used as drinking water for industrial activities.

The design requires primary and secondary data. Primary data were obtained from laboratory testing results in the form of effluent quality data of WWTP based on Mandatory Parameters for Drinking Water Quality Standards Regulation of the Minister of Health Number 492 of 2010. Meanwhile, secondary data were discharge data and effluent quality of WWTP, as well as the needs of water tenants who were interested in buying treated water. Then, the data is used to create an alternative processing system so the Detail Engineering Design (DED) can be arranged. Investment and maintenance operational costs can be compiled using BOQ (Bill of Quantity) and RAB (Cost Budget Plan) calculations. BOQ and RAB

calculations are calculated using the Surabaya City HSPK (*Harga Satuan Pokok Kegiatan*) in 2018.

The capacity of design is 2700 m<sup>3</sup>/day with a selected alternative processing system consisting of a Rapid Sand Filter (RSF) unit, ion exchanger, nanofiltration, and ozone disinfection. The investment costs obtained are Rp464,289,037 and the required operational and maintenance costs are Rp436,387,676 in a year. The quality of treated water has met the quality standard Mandatory Parameters of Drinking Water Quality Standards Regulation of the Minister of Health Number 492/2010. Rungkut Industrial Estate, Surabaya is the target of the distribution of PT SIER WWTP's recycled water.

**Keywords: Drinking water, BOQ and RAB, recycling, IPAL effluent, PT SIER.**

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul: **“PERENCANAAN PENGOLAHAN DAUR ULANG EFLUEN IPAL PT SIER MENJADI AIR MINUM”**.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang wajib ditempuh oleh mahasiswa Teknik Lingkungan sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Strata-1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulisan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung penulisan Tugas Akhir ini:

- Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc., sebagai Dosen Pembimbing yang telah sabar dalam memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyusunan Tugas Akhir.
- Bapak Prof. Dr. Ir. Joni Hermana, dan Bapak Ali Masduqi, ST. MT., selaku dosen pengarah sidang proposal Tugas Akhir untuk semua hasil koreksi dan masukannya.
- Bapak Adhi Yuniarto, ST. MT. PhD., selaku dosen pengarah sidang proposal, sidang progress, dan siding lisan Tugas Akhir untuk masukannya.
- Bapak Alfian Purnomo, ST., MT., selaku dosen pengarah sidang progres dan siding lisan Tugas Akhir untuk masukannya.
- Bapak Welly Herumurti, ST., MSc., selaku dosen pengarah sidang lisan Tugas Akhir untuk masukannya.
- Ibu Ir. Ellina S. Pandebesie, MT., sebagai Dosen Wali yang telah memberikan pengarahan serta nasihat selama perkuliahan di Teknik Lingkungan.
- Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., PhD., selaku Koordinator Tugas Akhir atas pengertiannya.
- Bapak Samsi, selaku Kepala IPAL PT SIER, untuk semua bantuan dalam pengumpulan data, arahan, dan kesempatan yang telah diberikan.

- Mbak Rizkita, selaku *staff* IPAL PT SIER, yang telah membantu dalam proses pengambilan sampel dan pengumpulan data.
- Bapak, Ibu, dan keluarga atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan.
- Reni, Yasin, Maul, dan Arsita, yang telah membantu memberikan saran dan semangat dalam penulisan Tugas Akhir ini.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, diharapkan saran dan kritik membangun demi terciptanya hasil perencanaan yang lebih baik lagi dan dapat lebih bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 7 Juli 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gambaran Umum PT SIER.....	5
2.2 Gambaran Umum IPAL PT SIER.....	5
2.2.1 Standar Influen IPAL PT SIER.....	7
2.2.2 Debit dan Karakteristik Efluen IPAL PT SIER .....	7
2.3 Kualitas Air Baku PDAM Kota Surabaya di Musim Kemarau .....	12
2.4 Pengertian Air Daur Ulang .....	14
2.5 Pengertian Air Minum.....	14
2.6 Baku Mutu Kualitas Air Minum .....	14
2.7 Persyaratan Kualitas Kelas Air Baku .....	17
2.8 Penggunaan Air PDAM oleh Industri di Rungkut .....	17
2.9 Teknologi Pengolahan Efluen Air Limbah menjadi Air Minum.....	23
2.9.1 Metode Koagulasi-Flokulasi.....	23
2.9.2 Metode Sedimentasi .....	30
2.9.3 Metode Filtrasi .....	35
2.9.4 Metode Adsorpsi.....	39
2.9.5 Metode Pertukaran Ion ( <i>Ion Exchange</i> ) .....	41
2.9.6 Metode Ozonisasi .....	46
2.10 Referensi Unit Pengolahan <i>Recycle Water</i> (NEWater) .....	47
2.11 Efisiensi Removal Unit Pengolahan .....	48
BAB 3 METODE PERENCANAAN .....	50
3.1 Umum .....	50
3.2 Tahapan Perencanaan.....	52
3.2.2 Tinjauan Pustaka .....	52
3.2.3 Pengumpulan Data .....	52
3.2.4 Pengolahan Data dan Pembahasan .....	54
3.2.5 Hasil, Kesimpulan, dan Saran.....	55
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	56
4.1 Lokasi Perencanaan .....	56

4.2	Karakteristik Air Baku .....	56
4.3	Debit Pengolahan .....	58
4.4	Pemilihan Alternatif Perencanaan.....	61
4.4.1	Pemenuhan Kualitas Efluen terhadap Baku Mutu. ....	63
4.4.2	Tidak Membutuhkan Lahan Yang Luas .....	71
4.4.3	Penggunaan Teknologi Membran.....	78
4.4.4	Biaya Investasi .....	79
4.4.5	Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	79
4.5	Perencanaan Pompa Intake .....	90
4.6	Perencanaan <i> Holding Tank </i> .....	94
4.4.6	Umum .....	94
4.4.7	Perhitungan Dimensi <i> Holding Tank </i> .....	94
4.4.3	Perencanaan Pipa <i> Inlet </i> .....	96
4.4.4	Perencanaan Saluran <i> Outlet </i> .....	97
4.5	Perencanaan <i> Rapid Sand Filter </i> .....	98
4.5.1	Umum .....	98
4.5.2	Perhitungan Dimensi Bak Fltler .....	101
4.5.3	Perhitungan <i> Headloss Media Filter </i> .....	103
4.5.4	Perhitungan Ekspansi Media Saat <i> Backwashing </i> .....	108
4.5.5	Perencanaan <i> Gutter </i> .....	113
4.5.6	Perencanaan Sistem <i> Underdrain </i> .....	114
4.5.7	Perencanaan Saluran <i> Inlet </i> dan Pipa <i> Outlet </i> .....	118
4.6	Perencanaan <i> Ion Exchanger </i> .....	121
4.6.1	Umum .....	121
4.6.2	Kebutuhan Resin .....	123
4.6.3	Perhitungan Dimensi Ion Exchanger .....	125
4.6.4	Regenerasi Zat Kimia .....	127
4.6.5	Perhitungan Tangki Zat Kimia .....	128
4.6.6	Perencanaan Pipa <i> Inlet </i> dan Pipa <i> Outlet </i> .....	130
4.7	Perencanaan Teknologi Membran Nanofiltrasi .....	133
4.8	Perencanaan Desinfeksi.....	134
4.9	Perencanaan <i> Reservoir </i> .....	134
4.10	Profil Hidrolis .....	136
	BAB 5 PEMBIAYAAN .....	139
5.1	Biaya Investasi .....	139
5.2	Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	150
	BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	154
6.1	Kesimpulan.....	154
6.2	Saran .....	154
	DAFTAR PUSTAKA.....	155
	LAMPIRAN 1 PENGAMBILAN SAMPEL .....	160
	LAMPIRAN 2 UNIT REVERSE OSMOSIS .....	162
	LAMPIRAN 3 SERTIFIKAT HASIL PENGUJIAN .....	163

LAMPIRAN 4 GAMBAR PERENCANAAN .....	167
BIOGRAFI PENULIS .....	178

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis dan Nilai Debit Air Baku.....	8
Tabel 2.2. Standar Influen Air Limbah IPAL PT SIER .....	8
Tabel 2.3. Karakteristik Efluen IPAL PT SIER .....	11
Tabel 2.4. Kualitas Air Baku IPAM Karang Pilang II Bulan Agustus 2019 .....	13
Tabel 2.5. Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum .....	16
Tabel 2.6. Kriteria Mutu Tiap Kelas Air Baku .....	18
Tabel 2.7. Penggunaan Air PDAM oleh Industri Pelanggan IPAL PT SIER .....	22
Tabel 2.8. Nilai G dan td dari Pengadukan Cepat.....	24
Tabel 2.9 Nilai G dan td dari Pengadukan Lambat .....	25
Tabel 2.10. Kriteria Desain Unit Koagulasi (Pengaduk Cepat).....	28
Tabel 2.11. Kriteria Desain Unit Flokulasi.....	29
Tabel 2.12. Kriteria Desain Unit Sedimentasi .....	33
Tabel 2.13. Klasifikasi Filtrasi berdasarkan Dimensi Partikel Tertahan .....	36
Tabel 2.14. Efisiensi Removal Unit Pengolahan .....	49
Tabel 3.1. Kebutuhan Data Primer berdasarkan Proses Wawancara .....	53
Tabel 3.2. Kebutuhan Data Sekunder .....	54
Tabel 4.1. Penentuan Kelas Air Baku .....	57
Tabel 4.2. Data Primer Kualitas Air Baku .....	60
Tabel 4.3. Debit Permintaan Air dari <i>Tenant</i> PT SIER .....	60
Tabel 4.4. Analisa Unit Pengolahan Yang Dapat Digunakan .....	62
Tabel 4.5. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan 1 .....	65
Tabel 4.6. Pemenuhan Removal Alternatif Pengolahan 1 Terhadap Baku Mutu..	66
Tabel 4.7. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan 2 .....	67
Tabel 4.8. Pemenuhan Removal Alternatif Pengolahan 2 Terhadap Baku Mutu..	68
Tabel 4.9. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan 3 .....	69
Tabel 4.10. Pemenuhan Removal Alternatif Pengolahan 3 Terhadap Baku Mutu	70
Tabel 4.11. Kebutuhan Luas Lahan Tiap Alternatif Pengolahan .....	78
Tabel 4.12. Perbandingan Biaya Investasi .....	79
Tabel 4.13. Perbandingan Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	81
Tabel 4.14. Perhitungan Biaya Pembangunan Holding Tank.....	82
Tabel 4.15. Perhitungan Biaya Pembangunan Rapid Sand Filter .....	83
Tabel 4.16. Perhitungan Biaya Pembangunan Ion Exchanger .....	84
Tabel 4.17. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Mikrofiltrasi .....	84
Tabel 4.18. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Nanofiltrasi.....	84
Tabel 4.19. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Disinfeksi .....	84
Tabel 4.20. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Reverse Osmosis .....	85
Tabel 4.21. Perhitungan Biaya Pembangunan Reservoir .....	85
Tabel 4.22. Perbandingan Biaya Investasi dari Tiap Alternatif Pengolahan .....	86
Tabel 4.23. Biaya Penyediaan Bahan Kimia.....	86
Tabel 4.24. Biaya Penyediaan Resin.....	87
Tabel 4.25. Biaya Penyediaan Media Filter .....	87
Tabel 4.26. Biaya Operasional Listrik.....	87
Tabel 4.27. Biaya Kebutuhan Gaji Tenaga Kerja.....	88
Tabel 4.28. Perbandingan Biaya OM Alternatif Pengolahan .....	88
Tabel 4.29. Rekap Perhitungan Perbandingan Alternatif Pengolahan .....	89
Tabel 4.30. Kriteria Desain Rapid Sand Filter.....	100

Tabel 4.31. Kriteria Desain <i>Dual Media Filter</i> .....	101
Tabel 4.32. Perhitungan Iterasi Nilai $N_{re}$ , $C_D$ , dan $v_s$ Media Kerikil.....	109
Tabel 4.33. Perhitungan Iterasi Nilai $N_{re}$ , $C_D$ , dan $v_s$ Media Pasir .....	110
Tabel 4.34. Perhitungan Iterasi Nilai $N_{re}$ , $C_D$ , dan $v_s$ Media Antrasit .....	111
Tabel 4.35. Kriteria Desain Ion Exchanger.....	123
Tabel 5.1. Biaya Pembangunan Intake .....	144
Tabel 5.2. Biaya Pembangunan Unit Holding Tank.....	145
Tabel 5.3. Biaya Pembangunan Unit Rapid Sand Filter Dual Media .....	146
Tabel 5.4. Biaya Pembangunan Unit Ion Exchanger.....	147
Tabel 5.5. Biaya Pembangunan Unit Nanofiltrasi.....	147
Tabel 5.6. Biaya Pembangunan Unit Disinfeksi .....	147
Tabel 5.7. Biaya Pembangunan Unit Reservoir .....	148
Tabel 5.8. Rekapitan Biaya Pembangunan Sistem Pengolahan .....	149
Tabel 5.9. Biaya Operasional dan Pemeliharaan 1 Tahun .....	153

## DAFTAR GAMBAR

No table of figures entries found.

Gambar 2.1. Layout IPAL PT SIER .....	7
Gambar 2.2. Debit Efluen IPAL PT SIER Bulan Oktober 2019.....	9
Gambar 2.3. Debit Efluen IPAL PT SIER Bulan November 2019.....	10
Gambar 2.4. Debit Efluen IPAL PT SIER Bulan Desember 2019.....	10
Gambar 2.5. Pengadukan Cepat dengan Alat Pengaduk.....	26
Gambar 2.6. Pengadukan Lambat dengan Alat Pengaduk .....	26
Gambar 2.7. Pengadukan Hidrolis dengan Terjunan.....	27
Gambar 2.8. Pengadukan Hidrolis dengan Kanal Bersekat .....	27
Gambar 2.9. Pengadukan Cepat secara Pneumatis .....	28
Gambar 2.10. Kolom Pertukaran Ion: (a) tahap operasi, (b) backwash.	45
Gambar 3.1. Kerangka Perencanaan .....	51

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT SIER (Surabaya Industrial Estate Rungkut) berdiri pada tanggal 28 Februari 1974. Perusahaan pengelola kawasan industri dikelola secara profesional untuk menyeimbangkan kebutuhan industri dan lingkungan. Salah satu wujud kepedulian PT SIER terhadap lingkungan ialah melaksanakan sistem manajemen lingkungan, yaitu dengan menyediakan fasilitas pelayanan berupa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). IPAL PT SIER dibangun pada tahun 1980 seluas ±3,2 Ha dengan kapasitas 10.000 m<sup>3</sup>/hari (PT SIER, 2019). Baik limbah industri maupun limbah rumah tangga yang berasal dari pabrik-pabrik akan diolah hanya menggunakan proses fisika dan biologis serta tidak menggunakan bahan kimia apapun. Efluen IPAL PT SIER telah memenuhi baku mutu efluen air limbah menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 sehingga aman dibuang ke badan air yaitu Sungai Tambak Osong (Pongpanglilu dan Mariyah, 2015). Selain itu, fasilitas lain yang disediakan oleh PT SIER adalah air bersih untuk kebutuhan industri. Penyediaan air bersih oleh PT SIER bekerjasama dengan PDAM yaitu PDAM Kota Surabaya.

Pada tahun 2016, mulai terdapat permintaan dari pihak industri untuk pengadaan air bersih kepada pihak PT SIER. Kualitas air bersih yang diinginkan memiliki kualitas yang sama dengan kualitas air PDAM. Namun, pihak industri berharap harga jual dari air tersebut lebih murah dari harga jual air PDAM sehingga dapat menghemat biaya penggunaan air bersih sebelumnya (Savitri, 2019). Hal tersebut membuat pihak IPAL PT SIER berinisiatif untuk mengolah efluennya menjadi air bersih sehingga pihak IPAL PT SIER dapat melakukan optimalisasi aset. Aset yang dimaksud adalah efluen dari hasil pengolahan IPAL. Selain itu, dengan melakukan pengolahan daur ulang efluen IPAL menjadi air minum untuk kegiatan industri, pihak IPAL PT SIER juga telah turut berupaya dalam meningkatkan perlindungan terhadap lingkungan khususnya badan air.

Untuk mewujudkan hal tersebut, pihak IPAL PT SIER berencana mengolah efluen IPAL menjadi air minum dengan

menggunakan teknologi membran. Teknologi membran memang memiliki efisiensi removal hampir 100% sehingga dapat dihasilkan air yang sangat bersih. Namun, dalam operasional jangka panjang, penggunaan teknologi membran untuk mengolah efluen IPAL menjadi air minum untuk kegiatan industri dapat menyebabkan terjadinya *biofouling* yaitu penempelan dan akumulasi organisme hidup yang melekat pada permukaan substrat (material yang ditempeli *biofouling*) sehingga diperlukan perawatan dan pemeliharaan rutin secara berkala. Hal ini tentunya tidak mudah dan memerlukan biaya yang tidak sedikit (Faizal, 2016). Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan alternatif dengan membuat unit pengolahan efluen IPAL PT SIER menjadi air minum yang baik dari segi teknis dan finansial. Perencanaan unit pengolahan efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri ini dilakukan dengan memperhatikan aspek teknis (efisiensi *removal* dari tiap unit pengolahan) dan aspek finansial (biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan). Efluen IPAL diolah hingga memenuhi Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari perencanaan ini, antara lain:

1. Bagaimana sistem pengolahan daur ulang efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri?
2. Berapa biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan dari sistem pengolahan daur ulang efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari perencanaan ini, antara lain:

1. Merencanakan sistem pengolahan daur ulang efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri.
2. Menentukan biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan dari sistem pengolahan daur ulang efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri.

## 1.4 Ruang Lingkup

Perencanaan ini memiliki beberapa ruang lingkup, yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan dilakukan dengan memperhatikan 2 aspek yaitu aspek teknis (pemenuhan terhadap baku mutu kualitas efluen dan kebutuhan luas lahan) dan aspek finansial (biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan).
2. Jangka waktu perencanaan adalah 4 bulan, yaitu pada bulan Februari hingga Mei 2020.
3. Area pelayanan adalah industri di Kawasan Industri Rungkut, Surabaya. Air hasil olahan digunakan untuk kegiatan industri di kawasan tersebut.
4. Kualitas air baku (efluen IPAL PT SIER) yang digunakan dalam perencanaan ini merupakan data primer. Data primer tersebut berasal dari hasil analisa oleh Laboratorium PDAM Kota Surabaya dengan menggunakan baku mutu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010.
5. Baku mutu kualitas efluen hasil perencanaan mengikuti standar baku mutu air PAM (Perusahaan Air Minum) yaitu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010.
6. Dalam perhitungan *Detail Engineering Design* (DED) tidak dilakukan perencanaan pekerjaan sipil.

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini yang berjudul **Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER menjadi Air Minum untuk Kegiatan Industri** adalah menjadi referensi dan rujukan bagi pihak IPAL PT SIER dalam merencanakan pembangunan unit pengolahan efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri sehingga diharapkan dapat diperoleh teknologi pengolahan terbaik dalam proses perencanaannya, baik secara teknis maupun finansial.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Gambaran Umum PT SIER**

Berdasarkan Laporan Tahunan PT SIER 2017, PT Surabaya Industrial Estate Rungkut merupakan Badan Usaha Milik Negara yang didirikan oleh pemerintah pada tahun 1974. Pembangunan PT SIER termuat dalam Akta Nomor 166 tanggal 28 Februari 1974. Kawasan industri seluas 330 Ha ini dibangun untuk memenuhi kebutuhan industri dan lingkungan. Kawasan industri PT SIER dikelola secara profesional dan baik untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas termasuk pengolahan air limbah dan kemudahan akses ke Pelabuhan Tanjung Perak dan Bandara Juanda. PT SIER mengelola 3 kawasan industri, antara lain:

1. Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER)  
SIER memiliki luas lahan 245 Ha. Dengan luas lahan tersebut, SIER telah ditempati oleh 267/309 perusahaan/lokasi dengan 21 PMA dan 246 PMDN yang menampung 45.953 tenaga kerja.
2. Sidoarjo Industrial Estate Berbek (SIEB)  
SIEB memiliki luas lahan 87 Ha dan telah ditempati oleh 103/129 perusahaan/lokasi dengan 14 PMA dan 89 PMDN. Jumlah tenaga kerja di kawasan SIEB sejumlah 19.183 tenaga kerja.
3. Pasuruan Industrial Estate Rembang (PIER)  
PIER memiliki luas lahan 563 Ha. Hingga saat ini, lahan PIER seluas 260 Ha telah terisi oleh 87/164 perusahaan/lokasi dengan 45 PMA dan 42 PMDN yang menampung 23.199 tenaga kerja.

### **2.2 Gambaran Umum IPAL PT SIER**

PT SIER (Surabaya Industrial Estate Rungkut) berdiri pada tanggal 28 Februari 1974. Wujud kepedulian PT SIER dalam melaksanakan sistem manajemen lingkungan, yaitu dibangunnya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). IPAL PT SIER dibangun karena semakin tingginya kesadaran masyarakat terhadap lingkungan dan karena adanya undang-undang/peraturan tentang lingkungan yang harus diwujudkan sebagai bentuk pelayanan

kepada masyarakat serta sebagai salah satu fasilitas pendukung yang ditawarkan kepada investor.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di SIER dibangun pada tahun 1980 dengan kapasitas 10.000 m<sup>3</sup>/hari. Baik limbah industri maupun limbah rumah tangga yang berasal dari pabrik-pabrik akan diolah hanya menggunakan proses fisika dan biologis serta tidak menggunakan bahan kimia apapun (PT SIER, 2019).

Proses pengolahan air limbah di IPAL PT SIER adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan sistem *Activated Sludge* atau sistem lumpur aktif yang berfungsi sebagai pengurai dalam proses pengolahan air limbah secara biologi. Untuk proses pengolahan air limbah yang dibuang menuju IPAL PT SIER, dibagi menjadi 11 unit proses antara lain: bak kontrol, sistem saluran air limbah, sumur pengumpul, bak pengendap pertama (*Primary Settling Tank*), parit oksidasi (*Oxidation Ditch*), bak pembagi lumpur (*Distribution Box*), bak pengendap kedua (*Secondary Clarifier*), kolam indikator, bak pembuangan terakhir (*Effluent Tank*), dan bak pengering lumpur (*Sludge Drying Bed*). Masing-masing proses tersebut memiliki fungsi tertentu dan membantu berjalannya proses pengolahan limbah industri sehingga aman untuk dibuang ke badan air (Yanita, 2013).

Menurut Pongpanglilu dan Mariyah (2015), efluen IPAL PT SIER telah memenuhi baku mutu efluen air limbah menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013 sehingga aman dibuang ke sungai yaitu Sungai Tambak Oso. IPAL PT SIER merupakan instalasi pengolahan air limbah yang hanya memiliki izin untuk mengolah limbah cair. Sementara itu, produksi lumpur aktif (*activated sludge*) yang merupakan hasil samping dari proses pengolahan limbah cair di IPAL PT SIER diolah oleh pihak ketiga yaitu PPLI. Hal ini dikarenakan lumpur aktif tergolong dalam limbah padat yang bersifat beracun dan berbahaya (B3). Di Pulau Jawa sendiri, wewenang dalam pengolahan limbah padat yang bersifat beracun dan berbahaya (B3) hanya dimiliki oleh PPLI yang terdapat di Cileungsi, Bogor. Maka dari itu, IPAL PT SIER hanya melakukan proses pengeringan lumpur aktif dengan sistem filtrasi dan pengeringan dengan menggunakan sinar matahari kemudian selanjutnya lumpur aktif tersebut dikirim ke PPLI untuk diproses lebih lanjut.

IPAL PT SIER berlokasi di Jalan Rungkut Industri III No. 60, Rungkut, Surabaya, Jawa Timur. Lahan yang ditempati seluas  $\pm 3,2$  Ha dengan peta lokasi yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.



**Gambar 2.1. Layout IPAL PT SIER**

Sumber: Google Maps, 2020

### 2.2.1 Standar Influen IPAL PT SIER

Pengolahan air limbah di IPAL PT SIER merupakan pengolahan secara fisik dan biologi. Tidak ada penambahan bahan kimia apapun pada pengolahan air limbah IPAL PT SIER. Oleh karena itu, diupayakan influen air limbah yang akan diolah tidak mengandung bahan kimia yang cukup tinggi karena dikhawatirkan akan merusak sistem kerja dari rangkaian pengolahan. IPAL PT SIER memiliki standar influen IPAL yang harus dipatuhi oleh semua pelanggan IPAL PT SIER (**Tabel 2.2**).

### 2.2.2 Debit dan Karakteristik Efluen IPAL PT SIER

IPAL PT SIER selalu melakukan analisis rutin untuk mengetahui debit dan kualitas efluen air limbah. Parameter yang diukur untuk uji kualitas efluen air limbah adalah parameter yang terdapat dalam Pergub Jatim Nomor 72 Tahun 2013 mengenai baku mutu kualitas efluen air limbah untuk kawasan industri. Debit dan efluen IPAL PT SIER dapat dilihat pada **Gambar 2.2** hingga **Gambar 2.4**. Berdasarkan grafik pada **Gambar 2.2** hingga

**Gambar 2.4**, dapat dihitung nilai debit maksimum, debit rata-rata, dan debit minimum dari efluen IPAL SIER (**Tabel 2.1**). Data debit yang diperoleh adalah data debit pada bulan Oktober, November, dan Desember tahun 2019. Sementara, karakteristik efluen IPAL PT SIER dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.1. Jenis dan Nilai Debit Air Baku**

Data	Nilai	Satuan
Debit maksimum	6959	m <sup>3</sup> /hari
Debit rata-rata	5230	m <sup>3</sup> /hari
Debit minimum	3227	m <sup>3</sup> /hari

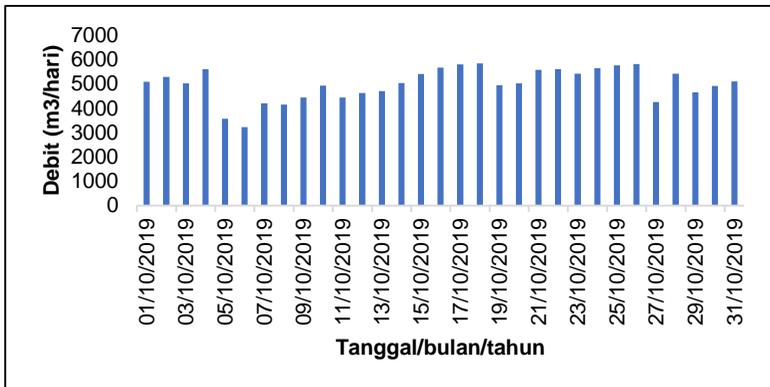
Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 2.2. Standar Influen Air Limbah IPAL PT SIER**

No	Parameter		Nilai	Satuan
	<i>Parameter Fisik</i>			
1	Suhu		40	°C
2	Jumlah padatan terlarut		2000	mg/L
3	Jumlah padatan tersuspensi		400	mg/L
4	Warna		300	skala Pt.CO
	<i>Parameter Kimia</i>			
1	Derajat keasaman	pH	6 - 9	
2	Besi	Fe	30	mg/L
3	Mangan	Mn	10	mg/L
4	Barium	Ba	5	mg/L
5	Tembaga	Cu	5	mg/L
6	Seng	Zn	5	mg/L
7	Krom heksavalen	Cr <sup>6+</sup>	2	mg/L
8	Krom total	Cr <sup>6+</sup>	2	mg/L
9	Kadmium	Cd	1	mg/L
10	Merekuri/raksa	Hg	0,005	mg/L
11	Timbal	Pb	3	mg/L
12	Timbal putih	Sn	2	mg/L
13	Arsen	As	1	mg/L
14	Seelenium	Se	1	mg/L
15	Nikel	Ni	2	mg/L
16	Kobalt	Co	1	mg/L
17	Sianida	CN <sup>-</sup>	1	mg/L
18	Sulfida	S	1	mg/L
19	Fluorida	Fe	30	mg/L
20	Klorin bebas	Cl <sup>2</sup>	1	mg/L
21	Ammoniak bebas	NH <sub>3</sub>	20	mg/L

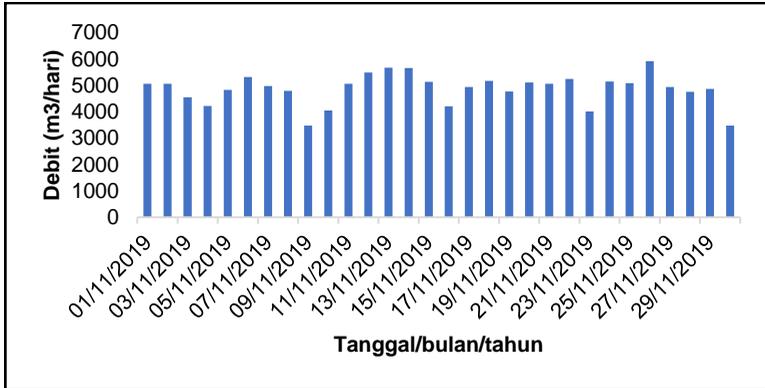
No	Parameter		Nilai	Satuan
22	Nitrat	NO <sub>3</sub>	50	mg/L
23	Nitrit	NO <sub>2</sub>	5	mg/L
24	Fosfat	PO <sub>4</sub>	20	mg/L
25	Sulfat	SO <sub>4</sub>	500	mg/L
26	COD	O <sub>2</sub>	3000	mg/L
27	BOD	O <sub>2</sub>	1500	mg/L
28	Detergen	MBAS	5	mg/L
29	Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> OH	2	mg/L
30	Minyak dan lemak	-	30	mg/L
31	Ammonium	NH <sub>4</sub>	15	mg/L
32	Klorida	Cl <sup>-</sup>	300	mg/L

Sumber: IPAL PT SIER, 2015

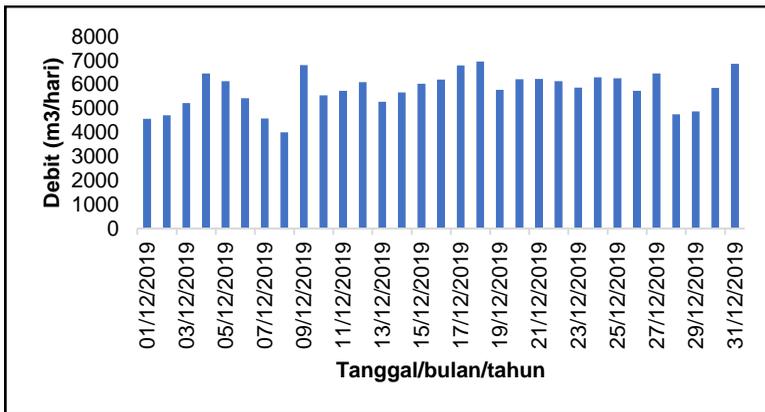


**Gambar 2.2. Debit Efluen IPAL PT SIER Bulan Oktober 2019**

Sumber: IPAL PT SIER, 2019



**Gambar 2.3. Debit Efluen IPAL PT SIER Bulan November 2019**  
 Sumber: IPAL PT SIER, 2019



**Gambar 2.4. Debit Efluen IPAL PT SIER Bulan Desember 2019**  
 Sumber: IPAL PT SIER, 2019

**Tabel 2.3. Karakteristik Efluen IPAL PT SIER**

Parameter	Satuan	Kualitas Efluen IPAL			Baku Mutu (Pergub Jatim 72/2013)
		10/11/2019	06/11/2019	04/12/2019	
pH	-	7,01	7,29	7,46	6 - 9
BOD <sub>5</sub>	mg/L	34,33	8,1	4,25	50
COD	mg/L	74,63	25,21	50,12	100
Zat tersuspensi (TSS)	mg/L	35	18	<2,38	150
Amonia bebas (NH <sub>3</sub> .N)	mg/L	0,0023	0,0709	0,0061	20
Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	<0,0101	<0,0101	<0,0101	1
Fenol	mg/L	<0,0009	<0,0009	<0,0009	1
Detergen (MBAS)	mg/L	0,2368	0,0871	0,0649	10
Minyak dan lemak	mg/L	1,75	1,75	1,5	15
Tembaga (Cu) total	mg/L	<0,0173	0,0261	<0,0173	2
Seng (Zn) total	mg/L	0,4549	0,114	0,0867	10
Krom Val. 6 (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	<0,0038	<0,0038	<0,0038	0,5
Krom (Cr) total	mg/L	<0,0169	<0,0169	<0,0169	1
Kadmium (Cd) total	mg/L	<0,0023	<0,0023	<0,0023	0,1
Timbal (Pb) total	mg/L	<0,0029	<0,0029	0,0051	1
Nikel (Ni) total	mg/L	<0,0287	<0,0287	<0,0287	0,5

Sumber: IPAL PT SIER, 2020

### **2.3 Kualitas Air Baku PDAM Kota Surabaya di Musim Kemarau**

Data kualitas air baku PDAM Kota Surabaya pada saat musim kemarau diperlukan karena akan digunakan sebagai pembandingan kualitas air baku yakni dengan kualitas efluen IPAL PT SIER. Selain itu juga bertujuan untuk menambah referensi unit pengolahan berdasarkan kesamaan karakteristik air baku. Kualitas air baku dari IPAM Karang Pilang II PDAM Kota Surabaya dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4. Kualitas Air Baku IPAM Karang Pilang II Bulan Agustus 2019**

Tanggal	Parameter									
	Turbidity	pH	Suhu	DHL	DO	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Fe	Cr	Warna
1	12,7	7,78	28	571	1,55	1,106	0,1076	0,0673	0,0083	97,056
2	12,9	7,8	28	575	1,3	0,9001	0,1022	0,0705	0,0073	122,437
3	9,97	7,83	27,6	593	1,63	-	-	-	-	-
4	11,2	7,8	27,1	576	1,48	-	-	-	-	-
5	10	7,89	27,7	580	0,98	1,434	0,1297	0,0781	0,0092	122,437
6	17,8	7,73	27,1	563	1,55	12,357	0,1102	0,0854	0,008	122,437
7	13,5	7,34	27,4	591	1,22	12,967	0,1088	0,0757	0,0067	97,056
8	13,5	7,85	27,1	585	1,15	1,495	0,115	0,091	0,0073	97,056
9	11,4	7,87	24	562	1,41	0,7933	0,0613	0,0551	0,0086	97,056
10	9,54	7,58	27	609	2,53	-	-	-	-	-
11	9,93	7,64	26,9	583	2,55	-	-	-	-	-
12	9,46	7,72	27,6	540	2,9	-	-	-	-	-
13	11,1	7,76	28,2	585	1,74	-	-	-	-	-
14	10,3	7,79	28,5	598	1,37	-	-	-	-	-
15	11,3	7,78	28,4	596	1,3	-	-	-	-	-
16	12,75	7,86	28,4	584	1,48	-	-	-	-	-
17	9,47	7,77	27,9	585	2	-	-	-	-	-
18	9,5	7,72	25,4	571	0	-	-	-	-	-
19	9,11	7,78	28,3	571	1,63	-	-	-	-	-
20	10,1	7,71	28,7	606	1,18	-	-	-	-	-

Sumber: IPAM Karang Pilang II, 2019

## **2.4 Pengertian Air Daur Ulang**

Air daur ulang adalah efluen pengolahan air limbah yang telah diolah dengan cara difilter untuk menghilangkan padatan dan kotoran lainnya serta melalui proses desinfeksi. Air daur ulang berasal dari berbagai sumber seperti air limbah domestik, air limbah industri, dan limpasan air hujan. Kualitas air daur ulang tergantung pada sumber air dan tingkat pengolahan lanjutan. Beberapa istilah lain juga digunakan untuk air daur ulang, misalnya air reklamasi dan air limbah olahan. Dibandingkan dengan air minum yang dapat diminum, air daur ulang sering mengandung lebih banyak garam dan nutrisi terlarut yang saat ini membatasi penggunaannya untuk irigasi lanskap berkelanjutan atau untuk mengisi ulang akuifer air tanah (USGA, 2019).

Berdasarkan US EPA (2019), air daur ulang paling umum digunakan sebagai *non-potable* (bukan untuk minum), seperti pertanian dan taman umum. Aplikasi *non-potable* lainnya termasuk air pendingin untuk pembangkit listrik dan kilang minyak, air proses industri untuk fasilitas seperti pabrik kertas dan pengaya karpet, pembilasan toilet, pengendalian debu, kegiatan konstruksi, pencampuran beton, dan danau buatan.

## **2.5 Pengertian Air Minum**

Menurut Permenkes Nomor 492 Tahun 2010, pengertian dari air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan.

Parameter wajib merupakan persyaratan kualitas air minum yang wajib diikuti dan ditaati oleh seluruh penyelenggara air minum. Sementara, parameter tambahan dapat disesuaikan berdasarkan kondisi kualitas lingkungan dengan mengacu pada parameter tambahan.

## **2.6 Baku Mutu Kualitas Air Minum**

Standar kualitas air minum yang digunakan di Indonesia adalah Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 09 April 2010 yang

didalamnya sudah mencakup persyaratan fisik, kimia, bakteriologis dan radiologis, sebagai berikut:

1. Persyaratan Fisik

Parameter dalam persyaratan fisik untuk air minum yaitu warna, rasa dan bau, temperatur, dan kekeruhan.

2. Persyaratan Kimia

Syarat kimia dalam hal ini yaitu tidak adanya kandungan unsur atau zat kimia yang berbahaya bagi manusia. Keberadaan zat kimia berbahaya harus ditekan seminimal mungkin. Sedangkan zat-zat tertentu yang membantu terciptanya kondisi air yang aman dari mikroorganisme harus tetap dipertahankan keberadaannya dalam kadar tertentu. Parameter dalam persyaratan ini terbagi menjadi dua yaitu bahan kimia yang berpengaruh langsung pada kesehatan dan menimbulkan keluhan pada konsumen. Bahan kimia yang termasuk di dalam parameter ini adalah bahan anorganik, organik, pestisida, serta desinfektan dan hasil sampingannya (Gultom, 2016).

3. Persyaratan Bakteriologis

Parameter persyaratan bakteriologis adalah jumlah maksimum *E.coli* dan total bakteri Coliform per 100 ml sampel.

4. Persyaratan Radiologis

Persyaratan radiologis membatasi kadar maksimum *alfa* dan *beta* yang diperbolehkan dalam air minum. Air minum yang aman adalah air yang telah memenuhi semua persyaratan dilihat dari kualitas secara fisik, kimia, mikrobiologi maupun radiologis sesuai dengan standar. Parameter ini merupakan parameter tambahan dalam Permenkes.

Secara umum standar air minum dengan melihat batas minum kontaminan yang diperbolehkan dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut.

**Tabel 2.5. Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum**

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	100 ml sampel	0 ml sampel
	2) Total Bakteri Koliform	100 ml sampel	0 ml sampel
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit	mg/l	3
	6) Nitrat	mg/l	50
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	Suhu Udara ±3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Alumunium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kesadahan	mg/l	500
	4) Khlorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5
	7) Seng	mg/l	3
	8) Sulfat	mg/l	250
	9) Tembaga	mg/l	2
	10) Amonia	mg/l	1,5

Sumber: Kementerian Kesehatan, 2010

## **2.7 Persyaratan Kualitas Kelas Air Baku**

Kelas air adalah peringkat kualitas air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukan tertentu (Pemerintah Indonesia, 2001). Menurut Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2001, klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas, antara lain:

- 1) Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- 2) Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- 3) Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- 4) Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kriteria mutu dari setiap kelas air telah tercantum dalam Lampiran Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 81 Tahun 2001 yang dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

## **2.8 Penggunaan Air PDAM oleh Industri di Rungkut**

Industri di Kawasan Rungkut, SIER menggunakan air dari PDAM Kota Surabaya untuk kebutuhan domestik ataupun produksinya sehari-hari. Berikut adalah data rekapitulasi penggunaan air PDAM oleh semua industri yang menjadi pelanggan dari IPAL PT SIER (**Tabel 2.7**). Industri-industri tersebut berjumlah 355 industri dengan lokasi di Rungkut dan Berbek.

**Tabel 2.6. Kriteria Mutu Tiap Kelas Air Baku**

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
<b><i>Fisika</i></b>						
Temperatur	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alamiahnya
Residu terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/L
<b><i>Kimia Anorganik</i></b>						
pH		6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total fosfat sebagai P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO <sub>3</sub> sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	0,5	-	-	-	Bagi Perikanan, kandungan ammonia

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
						bebas untuk ikan yang peka $\leq 0.02$ mg/L sebagai $\text{NH}_3$
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	-	-	-	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Krom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $\text{Cu} \leq 1$ mg/L
Besi	mg/L	0,3	-	-	-	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $\text{Fe} \leq 5$ mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $\text{Pb} \leq 0.1$ mg/L
Mangan	mg/L	0,1	-	-	-	
Air raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/L
Klorida	mg/L	600	-	-	-	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	-	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO <sub>2</sub> -N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	-	-	-	
Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belerang sebagai H <sub>2</sub> S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H <sub>2</sub> S < 0.1 mg/L
<b>Mikrobiologi</b>						
Fecal coliform	Jml/100 mL	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml/100 mL dan Total
Total coliform	Jml/100 mL	1000	5000	10000	10000	

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
						coliform ≤ 10000 jml/100 mL
<b>Radioaktivitas</b>						
Gross A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross B	Bq/L	1	1	1	1	
<b>Kimia Organik</b>						
Minyak dan lemak	µg/L	1000	1000	1000	-	
Detergen sebagai MBAS	µg/L	200	200	200	-	
Senyawa fenol sebagai fenol	µg/L	1	1	1	-	
BHC	µg/L	210	210	210	-	
Aldrin/Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
DDT	µg/L	2	2	2	2	
Heptaklor dan heptaklor epoxide	µg/L	18	-	-	-	
Lindane	µg/L	56	-	-	-	
Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
Endrin	µg/L	1	4	4	-	
Toxaphan	µg/L	5	-	-	-	

Sumber: Pemerintah Indonesia, 2001

**Tabel 2.7. Penggunaan Air PDAM oleh Industri Pelanggan IPAL PT SIER**

No	Bulan	Penggunaan Air Pada Tahun			Satuan
		2016 - 2017	2017 - 2018	2018 - 2019	
1	April	180220	196363	228758	m <sup>3</sup>
2	Mei	203002	197757	223362	
3	Juni	178952	215037	227580	
4	Juli	178705	157424	184844	
5	Agustus	167301	202412	222673	
6	September	204279	226491	248516	
7	Oktober	182129	217493	264524	
8	November	198854	230910	259316	
9	Desember	199783	202084	256690	
10	Januari	160462	175415	253353	
11	Februari	175159	209611	242747	
12	Maret	170798	207657	223011	

Sumber: IPAL PT SIER, 2020

## **2.9 Teknologi Pengolahan Efluen Air Limbah menjadi Air Minum**

Proses pengolahan efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri didefinisikan sebagai pengolahan tambahan yang dibutuhkan untuk menyisihkan materi-materi tersuspensi dan terlarut yang masih tertinggal setelah pengolahan secara konvensional. Materi-materi ini dapat berupa materi organik atau padatan tersuspensi atau dapat juga merupakan bagian dari ion anorganik yang relatif sederhana seperti kalsium, potasium, sulfat, nitrat, fosfat sampai kepada komponen organik sintesis (Metcalf dan Eddy, 2003). Berikut adalah penjelasan mengenai teknologi pengolahan efluen air limbah menjadi air industri.

### **2.9.1 Metode Koagulasi-Flokulasi**

Kandungan zat dalam air dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu padatan tersuspensi, partikel koloid (kurang dari 1 mikron), dan zat terlarut (kurang dari beberapa nanometer). Proses koagulasi-flokulasi berfungsi untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi (SS) dan partikel koloid. Pada umumnya, koagulasi-flokulasi diterapkan sebagai pengolahan pada tahap pertama sebelum masuk pengolahan sedimentasi dan filtrasi (Degremont, 1991).

Koagulasi-flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan (Masduqi dan Assomadi, 2016). Menurut Reynolds dan Richards (1996), koagulasi adalah penambahan dan proses pengadukan cepat terhadap koagulan, yang menghasilkan destabilisasi padatan koloid dan padatan tersuspensi, dan merupakan awal dari penggabungan partikel-partikel yang tidak stabil. Sementara itu, flokulasi adalah pengadukan lambat untuk menggabungkan partikel yang tidak stabil sehingga membentuk flok yang cepat mengendap. Penambahan reagen lain yang disebut flokulan atau bantuan flokulan dapat meningkatkan pembentukan flok tersebut.

Faktor-faktor yang dapat meningkatkan efisiensi proses koagulasi-flokulasi adalah gradien kecepatan, waktu, dan pH. Gradien kecepatan menyatakan kecepatan pengadukan (Masduqi dan Assomadi, 2016). Waktu dan gradien kecepatan penting untuk meningkatkan tingkat penggabungan antar partikel. Selain itu, pH

merupakan faktor utama dalam penghilangan koloid (Degremont, 1991).

Menurut Masduqi dan Assomadi (2016), pengadukan adalah operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi-flokulasi. Jenis pengadukan dibedakan berdasarkan dua hal, yaitu sebagai berikut:

A. Berdasarkan Kecepatannya

Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Berikut penjelasannya.

1) Pengadukan Cepat

Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air dengan baik. Secara spesifik, nilai gradien kecepatan ( $G$ ) dan waktu detensi ( $td$ ) dari pengadukan cepat bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan. Nilai  $G$  dan  $td$  dari pengadukan cepat dapat dilihat pada **Tabel 2.8** berikut.

**Tabel 2.8. Nilai  $G$  dan  $td$  dari Pengadukan Cepat**

Maksud/Sasaran	Gradien Kecepatan ( $G$ )	Waktu Detensi ( $td$ )
Proses koagulasi-flokulasi	1000 – 700/detik	20 – 60 detik
Penurunan kesadahan	1000 – 700/detik	20 – 60 detik
Presipitasi kimia	1000 – 700/detik	0,5 – 6 menit

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu dengan pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis.

2) Pengadukan Lambat

Pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Secara spesifik, nilai  $G$  dan  $td$  untuk proses flokulasi bergantung pada asal air baku yang diolah. Nilai  $G$  dan  $td$

untuk pengadukan lambat dapat dilihat pada **Tabel 2.9** berikut.

**Tabel 2.9 Nilai G dan td dari Pengadukan Lambat**

Asal/Jenis Air Baku	Gradien Kecepatan (G)	Waktu Detensi (td)
Air sungai	10 – 50/detik	Minimum 20 menit
Air waduk	10 – 75/detik	30 menit
Air keruh	Lebih rendah dari air waduk	Lebih rendah dari air waduk

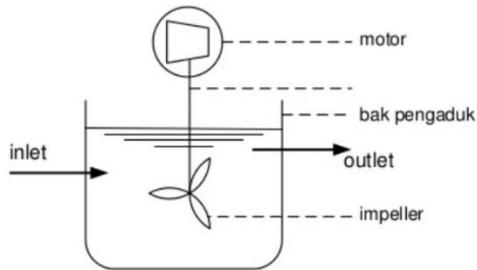
Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

#### B. Berdasarkan Metodanya

Sementara, berdasarkan metodanya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai jenis dari pengadukan berdasarkan metodanya.

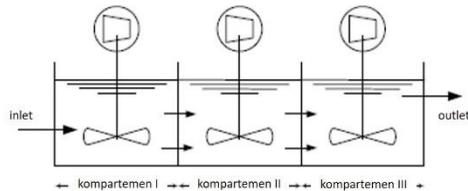
##### 1) Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri dari motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Sedangkan, menurut Reynold dan Richards (1996), pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan nilai G di kompartemen 1 lebih besar daripada kompartemen 2. Nilai G di kompartemen 2 adalah 40% dari nilai G kompartemen 1. Dan nilai G di kompartemen 3 adalah nilai G yang paling kecil. Contoh ilustrasi pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat dan pengadukan lambat dapat dilihat pada **Gambar 2.5** dan **Gambar 2.6** berikut.



**Gambar 2.5. Pengadukan Cepat dengan Alat Pengaduk**

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016



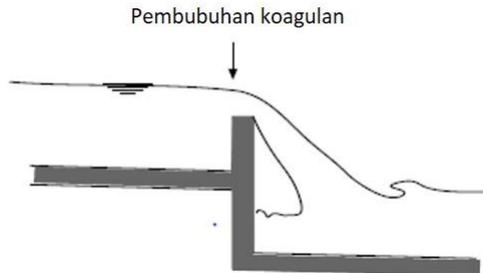
**Gambar 2.6. Pengadukan Lambat dengan Alat Pengaduk**

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

2) Pengadukan Hidrolis

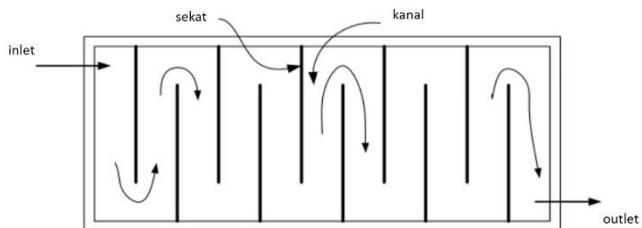
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan tersebut dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Pengadukan hidrolis pada pengadukan cepat bertujuan untuk menghasilkan turbulensi yang besar. Jenis aliran yang sering digunakan dalam pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan *parshall flume*. Contoh ilustrasi pengadukan cepat dengan terjunan dapat dilihat pada **Gambar 2.7**. Sedangkan, pengadukan hidrolis pada pengadukan lambat dilakukan dengan cara membuat aliran air menjadi relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flock yang terbentuk tidak pecah lagi. Contoh pengadukan hidrolis pada pengadukan lambat adalah kanal bersekat (*baffled channel*), *perforated*

*wall*, dan *gravel bed*. Pengadukan lambat dengan kanal bersekat dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.7. Pengadukan Hidrolis dengan Terjunan**

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

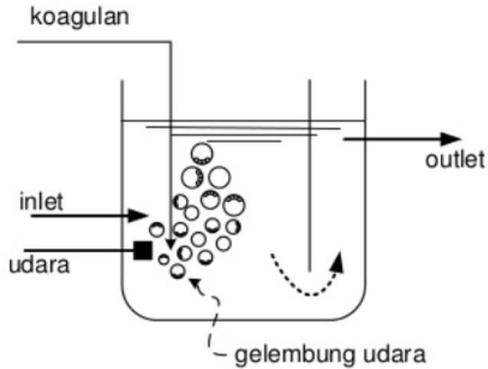


**Gambar 2.8. Pengadukan Hidrolis dengan Kanal Bersekat**

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

3) Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Contoh pengadukan pneumatis dapat dilihat pada **Gambar 2.9** berikut.



**Gambar 2.9. Pengadukan Cepat secara Pneumatis**

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

Adapun kriteria desain untuk bangunan koagulasi-flokulasi menurut SNI 6774: 2008 dapat dilihat pada **Tabel 2.10** dan **Tabel 2.11** berikut:

**Tabel 2.10. Kriteria Desain Unit Koagulasi (Pengaduk Cepat)**

Unit	Kriteria
Tipe	Hidrolis: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terjunan</li> <li>- Saluran bersekat</li> </ul> Mekanis: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bilah (<i>blade</i>)</li> <li>- Pedal (<i>paddle</i>)</li> </ul> Flotasi
Waktu pengadukan (detik)	1 - 5
Nilai G/detik	>750

Sumber: SNI 6774: 2008

**Tabel 2.11. Kriteria Desain Unit Flokulasi**

Kriteria Umum	Flokulator Hidrolis	Flokulator Mekanis		Flokulator <i>clarifier</i>
		Sumbu horizontal dengan pedal	Sumbu vertikal dengan bilah	
G (gradient kecepatan) 1/detik	60 (menurun) – 5	60 (menurun) –10	70 (menurun) – 10	100 – 10
Waktu tinggal (menit)	30 – 45	30 – 40	20 – 40	20 – 100
Tahap flokulasi (buah)	6 – 10	3 – 6	2 – 4	1
Pengendalian energi	Bukaan pintu/sekat	Kecepatan putaran	Kecepatan putaran	Kecepatan aliran air
Kecepatan aliran max.(m/det)	0,9	0,9	1,8 – 2,7	1,5 – 0,5
Luas bilah/pedal dibandingkan luas bak (%)	-	5 – 20	0,1 – 0,2	-
Kecepatan perputaran sumbu (rpm)	-	1 – 5	8 – 25	-
Tinggi (m)	-	-	-	2 – 4 *

\*termasuk ruang *sludge blanket*

Sumber: SNI 6774: 2008

Adapun cara untuk merencanakan unit koagulasi-flokulasi adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Dimensi Bak Koagulasi-Flokulasi

$$A = \frac{Q \times td}{h} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

- A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)
- Q = debit (m<sup>3</sup>)
- td = waktu detensi (detik)
- h = kedalaman (m)

2. Perhitungan *Power* yang Dibutuhkan

$$P = G^2 \times V \times \mu \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

- P = *power* (watt)
- G = gradient kecepatan (1/detik)
- V = volume (m<sup>3</sup>)
- μ = 0,827 x 10<sup>-3</sup> N.detik/m<sup>2</sup>

3. Perhitungan Ukuran *Impeller*

$$D = \left( \frac{P}{K_t \times n^3 \times \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

- D = diameter (m)
- P = *power* (watt)
- K<sub>t</sub> = 1,7
- n = 1 rps
- ρ = 995 kg/m<sup>3</sup>

**2.9.2 Metode Sedimentasi**

Sedimentasi adalah proses pengendapan partikel tersuspensi dalam air dengan pengaruh gaya gravitasi. Dalam pengolahan air, sedimentasi dapat diterapkan sebelum

pengolahan koagulasi. Tujuannya adalah untuk mengurangi konsentrasi partikel tersuspensi sebelum penerapan koagulasi dan mengurangi jumlah koagulan yang dibutuhkan. Ketika sedimentasi diterapkan setelah koagulasi, tujuannya biasanya untuk mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi sehingga penyaringan selanjutnya dapat berfungsi lebih efektif (Gregory dan Edzwald, 2010).

Bak sedimentasi umumnya berbentuk lingkaran, persegi, dan persegi panjang. Bak berbentuk lingkaran umumnya memiliki diameter 10,7 hingga 45,7 meter dan kedalaman 3 hingga 4,3 meter. Sementara, bak berbentuk bujur sangkar umumnya mempunyai lebar 10 hingga 70 meter dan kedalaman 1,8 hingga 5,8 meter. Dan bak berbentuk persegi panjang umumnya mempunyai lebar 1,5 hingga 6 meter, panjang bak sampai 76 meter, dan kedalaman lebih dari 1,8 meter (Reynolds dan Richards, 1996). Namun, ukuran dimensi tersebut bukanlah angka mutlak yang harus diikuti karena juga harus disesuaikan dengan kondisi setempat dan debit air yang diolah (Masduqi dan Assomadi, 2016).

Menurut Reynold dan Richards (1996), sedimentasi dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe berdasarkan pada jenis partikel dan kemampuan partikel untuk berinteraksi. Berikut adalah penjelasan mengenai keempat tipe sedimentasi tersebut.

- A. Sedimentasi Tipe 1, terjadi pengendapan partikel diskrit. Partikel mengendap secara individual dan tidak ada interaksi antar partikel.
- B. Sedimentasi Tipe 2, terjadi pengendapan partikel flokulen dan terjadi interaksi antar-partikel sehingga ukuran partikel flokulen tersebut semakin besar. Oleh karena itu, kecepatan pengendapan bertambah cepat.
- C. Sedimentasi Tipe 3, terjadi pengendapan pada lumpur biologis, dimana gaya antar-partikel saling menahan partikel lainnya untuk mengendap.
- D. Sedimentasi Tipe 4, terjadi pemampatan partikel yang telah mengendap yang diakibatkan karena berat partikel.

Tipe sedimentasi yang sering ditemui pada proses pengolahan air adalah sedimentasi tipe 1 dan tipe 2. Bangunan sedimentasi tipe 1 pada pengolahan air adalah prasedimentasi.

Sementara, bangunan sedimentasi tipe 2 pada pengolahan air adalah bak sedimentasi 2.

Pada pengolahan air limbah, sedimentasi 1 dapat ditemui pada bangunan *grit chamber*. Bangunan sedimentasi tipe 2 adalah *primary clarifier*. Sementara, bangunan untuk sedimentasi tipe 3 adalah *secondary clarifier*. Lalu, bangunan untuk sedimentasi tipe 4 adalah *secondary clarifier* dan *thickener*.

Adapun kriteria desain untuk bangunan sedimentasi menurut SNI 6774: 2008 dapat dilihat pada **Tabel 2.12** berikut:

**Tabel 2.12. Kriteria Desain Unit Sedimentasi**

<b>Kriteria Umum</b>	<b>Bak Persegi (Aliran Horizontal)</b>	<b>Bak persegi aliran vertikal (menggunakan pelat/tabung pengendap)</b>	<b>Bak bundar – (aliran vertikal – radial)</b>	<b>Bak bundar - (kontak padatan)</b>	<b>Clarifier</b>
Kemiringan dasar bak (tanpa <i>scraper</i> )	45° – 60°	45° – 60°	45° – 60°	> 60°	45° – 60°
Periode antar pengurasan lumpur (jam)	12 – 24	8 – 24	12 – 24	Kontinyu	12 – 24
Kemiringan <i>tube/plate</i>	30° / 60°	30° / 60°	30° /60°	30° /60°	30° /60°

Sumber: SNI 6774: 2008

Adapun cara untuk merencanakan unit sedimentasi adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Dimensi Bak Sedimentasi

$$A = \frac{Q \times td}{h} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

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

td = waktu detensi (detik)

h = kedalaman (m)

2. Perhitungan Cek Bilangan Reynolds dan Bilangan Fraude

$$N_{re} = \frac{V_h \times R}{\nu} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$N_{fr} = \frac{V_h^2}{g \times R} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_h = \frac{Q}{B \times H} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

Nre = bilangan Reynolds

Nfr = bilangan Fraude

Vh = kecepatan horizontal (m/detik)

R = jari-jari hidrolis (m)

B = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

g = 9,81 m/s<sup>2</sup>

u = 1,31 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

### 2.9.3 Metode Filtrasi

Menurut Lakshminarayanaiah (1984), filtrasi adalah proses pemisahan yang berdasarkan pada penggunaan *barrier* atau media penghalang untuk mencegah pergerakan massa sehingga hanya partikel tertentu saja yang dapat melewati media penghalang tersebut.

Filtrasi berfungsi untuk mereduksi kandungan zat padat. Selain itu, dapat pula mereduksi kandungan bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, serta kandungan logam seperti besi dan mangan. Perencanaan suatu filtrasi untuk pengolahan air tergantung pada tujuan pengolahan dan *pre-treatment* yang telah dilakukan pada influen filter (Lelyana, 2001).

Menurut Mulder (1996), filtrasi terhadap cairan diklasifikasikan dalam lima kelompok yaitu filtrasi, mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis. Klasifikasi ini didasarkan pada konvensi yang terkait dengan dimensi partikel yang ditahan oleh filter. Filtrasi padatan dari cairan dianggap hanya sebagai pemisahan mekanis oleh saringan dengan pori-pori atau kapiler yang berfungsi berdasarkan prinsip pemisahan permukaan (Moldoveanu dan David, 2015). Klasifikasi filtrasi berdasarkan dimensi partikel yang tertahan dapat dilihat pada **Tabel 2.13**.

**Tabel 2.13. Klasifikasi Filtrasi berdasarkan Dimensi Partikel Tertahan**

Jenis Filtrasi	Dimensi Partikel Tertahan ( $\mu\text{m}$ )
Filtrasi	10 – 100
Mikrofiltrasi	$10^{-1} - 10$
Ultrafiltrasi	$10^{-2} - 10^{-1}$
Nanofiltrasi	$10^{-3} - 10^{-2}$
Reverse osmosis	$10^{-4} - 10^{-3}$

Sumber: Moldoveanu dan David, 2015

Berikut adalah penjelasan mengenai jenis-jenis filtrasi yang terdapat pada **Tabel 2.13** tersebut.

#### A. Filtrasi

Filtrasi dibedakan menjadi dua jenis yaitu *rapid filtration* atau penyaringan cepat dan *slow sand filtration* atau penyaringan lambat. *Rapid filtration* (RF) merupakan jenis filtrasi yang umum digunakan pada negara berkembang untuk mengolah air minum. Filter ini mengolah air setelah proses pendahuluan yaitu proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Air dari sedimentasi ini dilewatkan ke dalam media berpori untuk menyaring flok-flok halus yang belum dapat diendapkan di bak sedimentasi. Sementara, *slow sand filtration* (SSF) adalah proses filtrasi lambat dengan media pasir yang dilakukan untuk pengolahan air permukaan yang tidak mengandung kekeruhan atau kontaminan dalam jumlah besar, tanpa melalui unit koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Sehingga air baku setelah melalui proses sedimentasi langsung dialirkan ke SSF. Pada filter ini, proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi terjadi pada filter dengan bantuan mikroorganisme yang terbentuk pada lapisan permukaan pasir (Lelyana, 2001).

Beberapa air permukaan dapat diolah dengan koagulasi, flokulasi dan penyaringan cepat (gravitasi atau tekanan), menghilangkan sedimentasi. Secara umum sumber air dianggap cocok untuk penyaringan langsung ketika kekeruhan rata-rata dan nilai warna masing-masing kurang dari 10 NTU dan 25 ° Hazen, dengan puncak 40 NTU dan 40 ° Hazen untuk periode kurang dari 24 jam (Ratnayaka *et al*, 2009).

#### B. Mikrofiltrasi

Pada membran mikrofiltrasi, garam-garam tidak dapat direjeksi oleh membran. Membran mikrofiltrasi berukuran 0,1 sampai 10 mikron (Mulder, 1996). Proses filtrasi dapat

dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu di bawah 2 bar. Membran mikrofiltrasi dapat dibuat dari berbagai macam material baik organik maupun anorganik. Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi. Beberapa teknik yang digunakan untuk membuat membran antara lain *sintering*, *track atching*, *stretching*, dan *phase inversion* (Widayanti, N; 2013).

#### C. Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 0,01  $\mu\text{m}$  sampai 0,1  $\mu\text{m}$  (Mulder, 1996). Ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi merupakan membran berpori dimana rejeksi zat terlarut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan berat zat terlarut relatif terhadap ukuran pori membran (Widayanti, N; 2013).

#### D. Nanofiltrasi

Nanofiltrasi adalah proses pemisahan jika ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi tidak dapat mengolah air seperti yang diharapkan. Nanofiltrasi dapat menghasilkan proses pemisahan yang sangat terjangkau secara ekonomis, tetapi nanofiltrasi belum dapat mengolah mineral terlarut, warna dan salinasi air, sehingga air hasil olahan (*permeate*) masih mungkin mengandung ion monovalen dan larutan dengan pencemar yang memiliki berat molekul rendah seperti alkohol. Pengolahan menggunakan nanofiltrasi pada umumnya menggunakan membran berukuran  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  mikron (Mulder, 1996).

#### E. *Reverse Osmosis*

Menurut Mulder (1996), membran *reverse osmosis* (osmosis balik) digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya. Membran yang lebih rapat (ukuran pori lebih kecil dan porositas permukaan lebih rendah) dengan tahanan hidrodinamik yang lebih besar diperlukan pada proses ini. Hal ini menyebabkan tekanan operasi pada *reverse osmosis* akan sangat besar untuk menghasilkan fluks yang sama dengan proses mikrofiltrasi dan

ultrafiltrasi. Untuk itu pada umumnya, membran osmosa balik memiliki struktur asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan padat serta matriks penyokong dengan tebal 50 sampai 150  $\mu\text{m}$ . Tahanan ditentukan oleh lapisan atas yang rapat. Ukuran pori pada proses osmosa balik antara  $10^{-4}$  -  $10^{-3}$  mikron (Widayanti, N; 2013).

Sementara, rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan filter adalah sebagai berikut:

Untuk menentukan jumlah bak filter yang akan digunakan

$$N = 2,7 \times Q^{0,5}$$

dimana :

N = jumlah bak filter

Q = debit (Mgd)

*Headloss* di media filter

$$\frac{h_L}{L} = \frac{k \cdot v}{g} V \frac{(1-f)^2}{f^3} \left(\frac{6}{\phi}\right)^2 \Sigma \frac{P_i}{d_i^2}$$

dimana:

hL = *headloss* (cm)

L = tebal media (cm)

k = koefisien permeabilitas

v = viskositas kinematis ( $\text{cm}^2/\text{det}$ )

g = percepatan gravitasi ( $\text{cm}/\text{det}^2$ )

V = kecepatan filtrasi ( $\text{cm}/\text{det}$ )

f = porositas

Pi = fraksi berat

di = diameter partikel (cm)

$\phi$  = faktor bentuk

Kecepatan *backwash* dihitung berdasarkan  $v_s$  (kecepatan mengendap) media pasir dengan diameter terbesar:

$$V_s^2 = \frac{4}{3} \times g \times \frac{(S_s - 1)}{b} \times \left(\frac{\phi \times V_s \times dp}{v}\right)^n \times dp$$

dimana:

Ss = specific gravity

dp = diameter partikel (cm)

$$V_{bw} > V_s \times f^4$$

Ekspansi pada media filter pada saat *backwash* dihitung dengan rumus-rumus:

- Porositas ekspansi ( $f_e$ )

$$f_e = \left( \frac{V_{bw}}{V_s} \right)^{0,22}$$

- Tinggi media terekspansi ( $L_e$ )

$$L_e = L_i \times (1 - f) \times \left( \frac{P_i}{1 - f_e} \right)$$

- *Headloss* media terekspansi ( $H_f$ )

$$H_f = L_e \times (1 - f_e) \times (S_s - 1)$$

- Bilangan Reynolds

$$N_{re} = \frac{\varphi \times V_s \times d}{v}$$

- $V_{up}$  media penyangga

$$V_{up} = V_s \times f^{4,5}$$

Untuk menghitung *headloss* pada perpipaan filter, digunakan rumus-rumus berikut.

- *Headloss* di orifice

$$H_{f_{orifice}} = \frac{Q^2}{C^2 \times A^2 \times 2g}$$

- *Headloss* di perpipaan filter

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$f$  diperoleh dengan memplotkan nilai  $N_{re}$  dengan  $\frac{\varepsilon}{D}$  pada diagram Moody.

$$N_{re} = \frac{V \times D}{v}$$

## 2.9.4 Metode Adsorpsi

Menurut Oscik (1982) menyatakan bahwa adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan. Sedangkan Alberty dan Daniel (1987) mendefinisikan adsorpsi sebagai fenomena

yang terjadi pada permukaan. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat.

Pada dasarnya, adsorpsi adalah penggunaan kapasitas adsorben untuk menghilangkan zat tertentu dari suatu larutan. Adsorpsi dapat diklasifikasikan menjadi adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi kimia jarang digunakan dalam bidang aplikasi Teknik Lingkungan. Namun, adsorpsi fisik banyak digunakan. Adsorpsi fisik terutama disebabkan oleh gaya *van der Waals* dan merupakan kejadian yang reversibel. Ketika gaya tarik-menarik molekul antara zat terlarut dan adsorben lebih besar dari gaya tarik-menarik antara zat terlarut dan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi ke permukaan adsorben (Reynolds dan Richards, 1996).

Contoh adsorpsi fisik adalah adsorpsi oleh karbon aktif. Karbon aktif memiliki banyak kapiler dalam partikel karbon dan permukaan yang tersedia untuk adsorpsi termasuk permukaan pori-pori selain permukaan eksternal partikel. Sebenarnya, luas permukaan pori jauh melebihi luas permukaan partikel, dan sebagian besar adsorpsi terjadi pada permukaan pori. Untuk karbon aktif, rasio luas permukaan total terhadap massa sangat besar (Reynolds dan Richards, 1996).

Menurut Sontheimer *et al* (1998), karbon aktif terbuat dari material organik seperti *almond*, kelapa, dan *walnut hulls*, dan material lainnya seperti kayu dan ranting. Ukuran dari karbon aktif ini adalah sebagai berikut:

- Makropori > 25 nm
- Mesopori > 1 nm dan < 25 nm
- Mikropori < 1 nm

Karbon aktif diklasifikasikan dalam 2 bentuk yaitu *Powdered Activated Carbon* (PAC) yang mempunyai diameter 0,074 mm (200 sieve) dan *Granular Activated Carbon* (GAC) yang berdiameter lebih besar dari 0,1 mm (140 sieve).

#### **A. Pengolahan dengan *Granular Activated Carbon* (GAC)**

Pengolahan dengan GAC dimulai dengan melewati air limbah yang akan diolah ke *activated carbon bed* yang ada dalam reaktor atau kadang disebut *contactor*. Ada beberapa tipe dari *activated carbon contactor* yang digunakan untuk pengolahan air limbah lanjutan, yaitu menggunakan sistem *pressure* atau *gravity*,

tipe *downflow* atau *upflow fixed bed*, dan tipe *expanded bed upflow-countercurrent*. Yang paling banyak digunakan adalah tipe *fixed bed* dengan menggunakan GAC. *Fixed bed* dapat beroperasi secara *single*, seri, maupun paralel. *Performance* dari *carbon contactor* dipengaruhi oleh konsistensi pH, suhu/temperatur, dan debit pengolahan (Sontheimer *et al.*, 1998).

## **B. Pengolahan dengan Powdered Activated Carbon (PAC)**

PAC dapat dilakukan pada efluen dari pengolahan biologi maupun pada proses pengolahan secara fisik-kimiawi. Pada efluen biologi, PAC ditambahkan ke efluen pada bak kontak. Setelah kontak beberapa saat, karbon akan mengendap pada dasar tangki. Karbon berukuran sangat halus, maka dibutuhkan koagulan seperti *polyelectrolyte* untuk membantu proses adsorpsi oleh partikel karbon. Pada pengolahan secara fisik-kimiawi, PAC digunakan bersama dengan bahan kimia untuk presipitasi dari konstituen spesifik (Sontheimer *et al.*, 1998).

### **2.9.5 Metode Pertukaran Ion (Ion Exchange)**

Proses pertukaran ion terdiri dari reaksi kimia antara ion dalam fase cair dan ion dalam fase padat. Ion-ion tertentu dalam larutan cenderung lebih mudah diserap oleh zat penukar ion, dan karena elektronetralitas harus dipertahankan, maka zat penukar melepaskan ion pengganti kembali ke dalam larutan (Reynolds dan Richards, 1996).

Bahan yang digunakan untuk pertukaran ion secara komersial pada awalnya adalah pasir berpori yang disebut zeolit. Mineral ini memiliki defisit atom positif dalam struktur kristal sehingga bermuatan negatif yang diimbangi oleh kation yang dapat dipertukarkan. Zeolit merupakan penukar ion pertama yang digunakan untuk menurunkan kesadahan. Akan tetapi, karena pertukaran yang terjadi kurang lengkap, maka diganti dengan resin pertukaran organik sintesis yang memiliki kapasitas tukar ion lebih besar. Resin pertukaran kation sintesis menggunakan bahan-bahan polimer yang memiliki gugus reaktif seperti sulfonat, fenolat, dan karboksilat, yang dapat mengion dan memungkinkan berikatan dengan kation (Reynold dan Richards, 1996).

Proses pertukaran ion melibatkan reaksi kimia antara ion dalam fase cair dan ion dalam fase padat. Dalam aplikasi

pengolahan air, ion dalam fase cair merupakan ion yang terkandung dalam air baku dan ion dalam fase padat merupakan ion yang terdapat dalam resin, baik resin alami maupun resin sintesis. Berdasarkan muatan ion yang dapat dipertukarkan, resin pertukaran ion dapat dikelompokkan menjadi resin pertukaran kation dan resin pertukaran anion. Berikut adalah penjelasan lebih lengkapnya (Benfield, 1982):

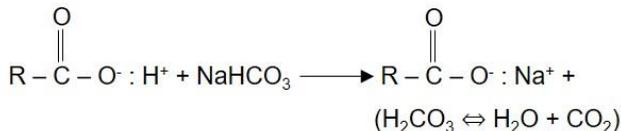
### A. Resin Pertukaran Kation

Resin pertukaran kation adalah resin dengan kandungan kation yang dapat dipertukarkan. Resin pertukaran kation dikelompokkan menjadi:

1. Resin pertukaran asam kuat, mengandung gugus fungsional yang diturunkan dari asam kuat (pada umumnya asam sulfat). Contoh reaksi dari resin pertukaran asam kuat adalah sebagai berikut:



2. Resin pertukaran asam lemah, mengandung gugus fungsional yang diturunkan dari asam lemah (umumnya bentuk karboksilat atau fenolat). Contoh reaksi dari resin pertukaran asam lemah adalah sebagai berikut:



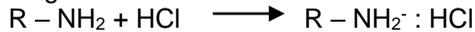
### B. Resin Pertukaran Anion

Resin pertukaran anion adalah resin dengan kandungan anion yang dapat dipertukarkan. Resin pertukaran anion dikelompokkan menjadi:

1. Resin pertukaran basa kuat, mengandung gugus fungsional yang berasal dari gugus ammonium kuarter tipe I dan II. Contoh reaksi dari resin pertukaran basa kuat adalah sebagai berikut:



2. Resin pertukaran basa lemah, mengandung gugus fungsional berupa amina primer, sekunder dan/atau tersier. Contoh reaksi dari resin pertukaran basa lemah adalah sebagai berikut:



Karakteristik resin sebagai media pertukaran ion harus mempunyai ion yang dapat dipertukarkan dengan struktur yang tidak larut dalam air dan tersedia ruang yang cukup di porinya agar ion bebas keluar masuk.

Dalam merancang sistem pertukaran ion atau memilih resin, kapasitas resin adalah hal yang penting karena berpengaruh terhadap efisiensi proses dan biaya. Pada umumnya, kapasitas resin dinyatakan sebagai kapasitas total atau kapasitas operasi. Kapasitas total menyatakan jumlah ion total yang secara teoritis dapat dipertukarkan per satuan massa atau volume resin (misal meq/L, meq/g).

Sementara itu, kapasitas operasi menyatakan kapasitas pemakaian resin aktual untuk menukar ion dari larutan melalui partikel resin pada kondisi tertentu. Kapasitas operasi resin bergantung pada beberapa hal berikut:

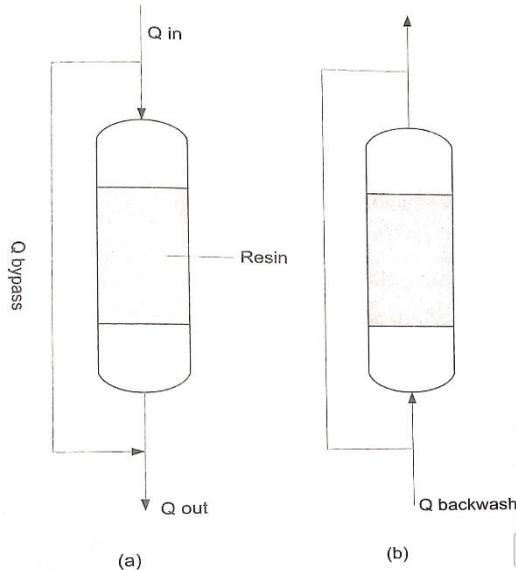
- Debit air yang melewati kolom.
- Kedalaman bed.
- Koefisien selektifitas.
- Ukuran ion.
- Jumlah regenerasi yang digunakan.
- Komposisi dan konsentrasi bahan terlarut.
- Suhu.
- Kualitas air yang diinginkan.

Kapasitas operasi adalah nilai kapasitas yang digunakan untuk merancang kolom pertukaran ion. Kapasitas pertukaran (*exchange capacity*) dapat diperoleh dari brosur yang dikeluarkan oleh produsen resin.

Sistem pertukaran ion dapat dioperasikan dalam salah satu model berikut: *batch*, *fixed-bed*, *fluidized-bed*, dan *continuous*. Sistem *fixed-bed* merupakan sistem yang paling umum (**Gambar 2.7**). Daur operasinya meliputi empat tahap yaitu *service*, *backwash*, regenerasi, dan pembilasan. Penjelasan dari daur operasi sistem pertukaran ion adalah sebagai berikut:

1. *Service*, tahap dimana reaksi pertukaran terjadi. Tahap ini dikarakterisasi dengan kurva konsentrasi efluen atau kurva *breakthrough*. Dalam praktiknya, kecepatan aliran cukup berarti dan keseimbangan tidak pernah tercapai secara total dalam kolom. Dalam kondisi demikian terdapat batas yang memisahkan resin yang mengandung ion yang ditukarkan dengan resin yang mengandung ion yang menukarkan, yang membentuk kurva S. Batas ini bergerak dari bagian atas menuju ke bawah.
2. *Backwash*, dilakukan dengan air produk setelah kapasitas operasi penukar ion tercapai. Proses *upflow* digunakan untuk mempersiapkan resin yang akan digenerasi. Tujuan *backwash* antara lain:
  - Memecah gumpalan resin.
  - Menghilangkan bahan yang terperangkap dalam resin dengan filtrasi.
  - Mengeliminasi gas.
  - Mengstratifikasi ulang resin.
3. Regenerasi, menggantikan ion yang tertukar selama *service* berlangsung dan mengembalikan resin ke kapasitas pertukarannya semula, yang tergantung pada jumlah regenerasi yang digunakan. Efisiensi regenerasi didefinisikan sebagai rasio ekivalen total ion yang disisihkan dari resin dengan ekivalen total ion dalam volume regenerasi yang digunakan.
4. Pembilasan, setelah tahap regenerasi, resin pertukaran ion harus dicuci untuk membebaskan regenerasi berlebih sebelum dioperasikan kembali. Prosedur pembilasan mencakup dua tahap dengan menggunakan air produk yaitu pembilasan lambat dan pembilasan cepat. Pembilasan lambat menggantikan regenerasi dan limbah dari pembilasan ini digabungkan dengan regenerasi bekas untuk dibuang. Sementara, pembilasan cepat membersihkan ion berlebih dan buangan dari pembilasan tersebut dikumpulkan untuk digunakan sebagai air pengencer regenerasi. Perbedaan kolom pertukaran ion pada

saat tahap operasi dan *backwash* dapat dilihat pada **Gambar 2.10** berikut.



**Gambar 2.10. Kolom Pertukaran Ion: (a) tahap operasi, (b) backwash**

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2016

Beberapa aplikasi penggunaan metode pertukaran ion yang umum dalam pengolahan air bersih antara lain:

- Penurunan kesadahan, yaitu dengan mempertukarkan ion natrium dalam resin dengan ion kalsium dan/atau magnesium dalam air.
- Demineralisasi total, yaitu mempertukarkan ion dalam resin dengan semua kation dan anion dalam air. Dalam demineralisasi total ini, resin kationik mengandung ion hidrogen dan resin anionik mengandung ion hidroksil. Jadi air yang terolah hanya mengandung ion hidrogen dan hidroksil yang akan membentuk air murni.
- Demineralisasi parsial pada penyediaan air bersih dengan air baku air laut.

### 2.9.6 Metode Ozonisasi

Menurut Mazille dan Spuhler (2019), ozonasi atau ozonisasi adalah teknik pengolahan air secara kimia dengan cara menginjeksikan ozon ke dalam air. Ozon adalah gas yang terdiri dari tiga atom oksigen ( $O_3$ ), yang merupakan salah satu oksidan paling kuat. Ozonasi adalah jenis proses oksidasi tingkat lanjut, yang melibatkan produksi oksigen yang sangat reaktif yang mampu menyerang berbagai senyawa organik dan semua mikroorganisme. Pengolahan air dengan ozon banyak diaplikasikan karena efisien untuk desinfeksi serta untuk degradasi polutan organik dan anorganik. Ozon diproduksi dengan penggunaan energi dengan memberi oksigen ( $O_2$ ) ke tegangan listrik tinggi atau radiasi UV. Jumlah ozon yang diperlukan dapat diproduksi pada titik penggunaan tetapi produksi membutuhkan banyak energi dan karenanya mahal.

Berikut adalah keunggulan dari penggunaan metode ozonisasi:

1. Bereaksi dengan cepat terhadap bakteri, virus, dan protozoa pada rentang pH yang luas.
2. Sifat kuman yang lebih kuat dari pada klorinasi.
3. Tidak ada bahan kimia yang ditambahkan ke air.
4. Efisien untuk degradasi bahan organik dan pemindahan anorganik
5. Menghilangkan warna, rasa dan bau.

Namun, metode ozonisasi juga memiliki kelemahan, antara lain:

1. Biaya peralatan yang relatif tinggi.
2. Membutuhkan energi yang besar.
3. Membutuhkan tenaga ahli yang profesional untuk pemeliharaan desain dan sistem.
4. Pembentukan produk samping yang berpotensi berbahaya (*Disinfection by Products*), yaitu keberadaan brome di dalam air.
5. Tidak ada efek residual hadir dalam sistem distribusi.
6. Potensi bahaya kebakaran dan toksisitas yang terkait dengan pembentukan ozon.

## 2.10 Referensi Unit Pengolahan *Recycle Water* (NEWater)

Singapura mempertimbangkan daur ulang air untuk menambah persediaan air tawarnya yang terbatas mulai tahun 1970-an. Master Plan yang disusun pada tahun 1972 mengidentifikasi reklamasi dan desalinasi air sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada air yang diimpor dari Malaysia. Selanjutnya, pabrik pengolahan reklamasi air eksperimental dibangun pada tahun 1974, tetapi operasi dihentikan setelah hanya satu tahun karena masalah biaya dan keandalan.

PUB meluncurkan NEWater kepada publik pada tahun 2003, dengan pembukaan dua pabrik NEWater pertama yaitu pabrik Bedok dan Kranji serta Pusat Pengunjung NEWater. Dalam mengantisipasi kekhawatiran publik yang potensial atas keamanan air daur ulang, NEWater dilaksanakan dengan hati-hati. Berikut adalah tahapan pengolahan di NEWater:

### Tahap 1 – Mikrofiltrasi

Tahap pertama dari proses produksi NEWater dikenal sebagai *Microfiltration* (MF). Dalam proses ini, air bekas yang diolah dilewatkan melalui membran untuk menyaring padatan tersuspensi, partikel koloid, beberapa bakteri, beberapa virus dan kista protozoa.

### Tahap 2 – *Reverse Osmosis*

Tahap kedua dari proses produksi NEWater dikenal sebagai *Reverse Osmosis* (RO). Dalam RO, membran *semi permeable* digunakan. Membran semi-permeabel memiliki pori-pori sangat kecil yang hanya memungkinkan molekul sangat kecil seperti molekul air untuk melewatinya. Akibatnya, kontaminan yang tidak diinginkan seperti bakteri dan virus tidak dapat melewati membran. Oleh karena itu, NEWater adalah air RO dan bebas dari virus, bakteri dan mengandung jumlah garam dan bahan organik yang dapat diabaikan.

### Tahap 3 – *Ultraviolet Disinfection*

Setelah tahap RO, air sudah memiliki kualitas air berkualitas tinggi. Tahap ketiga dari proses produksi NEWater adalah desinfeksi ultraviolet atau UV yang mampu menonaktifkan organisme. Proses ini bertindak sebagai cadangan keselamatan lebih lanjut untuk RO untuk menjamin kemurnian air produk yang dijamin.

Dengan penambahan beberapa bahan kimia alkali untuk mengembalikan keseimbangan pH, NEWater disalurkan ke berbagai aplikasi. Karena sangat bersih, NEWater digunakan terutama untuk keperluan pendinginan industri dan pendingin ruangan di pabrik fabrikasi wafer, kawasan industri dan bangunan komersial. Pengguna terbesar NEWater adalah pabrik fabrikasi wafer yang membutuhkan kualitas air yang bahkan lebih ketat daripada air untuk minum. NEWater dikirim ke pelanggan industri melalui jaringan pipa khusus. Selama musim kemarau, NEWater ditambahkan ke reservoir air. Air baku dari reservoir diolah di pengolahan air sebelum dipasok ke konsumen sebagai air ledeng.

#### **2.11 Efisiensi Removal Unit Pengolahan**

Referensi efisiensi removal unit pengolahan digunakan sebagai perkiraan awal untuk mengetahui unit pengolahan apa saja yang akan digunakan berdasarkan karakteristik air baku. Berikut adalah nilai efisiensi removal dari beberapa unit pengolahan yang digunakan dalam pengolahan air minum (**Tabel 2.14**).

**Tabel 2.14. Efisiensi Removal Unit Pengolahan**

Unit Pengolahan	Efisiensi Removal							
	COD	Kekeruhan	TDS	Logam berat	Mikroorganisme	TSS	Warna	Minyak Lemak
Koagulasi-flokulasi	93 <sup>1</sup>	0	0	0	0 <sup>11</sup>	-	-	-
Rapid sand filter	67 <sup>1</sup>	87 <sup>1</sup>	0	-	5 <sup>8</sup>	48.3 <sup>12</sup>	77.5 <sup>13</sup>	91 <sup>14</sup>
Slow sand filter	60-90 <sup>2</sup>	90 <sup>2</sup>	0	-	0 <sup>11</sup>	-	-	-
Ion exchanger	0 <sup>11</sup>	0 <sup>11</sup>	93.8 <sub>21</sub>	99.2 <sup>3</sup>	0 <sup>11</sup>	0 <sup>11</sup>	87 - 100 <sub>12</sub>	69 <sup>13</sup>
Adsorption (carbon active)	95 <sup>9</sup>	80 <sup>7</sup>	48 <sup>10</sup>	89 <sup>7</sup>	80 <sup>7</sup>	97.98 <sub>15</sub>	39.16 <sup>16</sup>	91-97 <sup>17</sup>
Desinfeksi	0 <sup>6</sup>	0 <sup>6</sup>	0 <sup>6</sup>	0 <sup>6</sup>	90-99 <sup>6</sup>	-	-	-
Mikrofiltrasi	>90 <sup>4</sup>	>90 <sup>4</sup>	46 <sup>19</sup>	84-99 <sup>5</sup>	100 <sup>19</sup>	100 <sup>18</sup>	97.3 <sup>19</sup>	48.5 <sup>20</sup>
Nanofiltrasi	>90 <sup>4</sup>	>90 <sup>4</sup>	79 <sup>18</sup>	84-99 <sup>5</sup>	>90 <sup>4</sup>	100 <sup>18</sup>	94 <sup>23</sup>	99 <sup>22</sup>
Ultrafiltrasi	>90 <sup>4</sup>	>90 <sup>4</sup>	>90 <sup>4</sup>	84-99 <sup>5</sup>	>90 <sup>4</sup>	-	-	-
Reverse Osmosis	>90 <sup>4</sup>	>90 <sup>4</sup>	>90 <sup>4</sup>	84-99 <sup>5</sup>	>90 <sup>4</sup>	-	-	-

Sumber:

<sup>1</sup>Shammas dan Wang, 2010

<sup>2</sup>Visser *et al*, 1987

<sup>3</sup>Barakat dan Ismat-Shah, 2013

<sup>4</sup>Moldoveanu dan David, 2015

<sup>5</sup>Khulbe dan Matsuura, 2018

<sup>6</sup>Denisova *et al*, 2014

<sup>7</sup>Hatt *et al*, 2013

<sup>8</sup>O'Connor dan O'Connor, 2015

<sup>9</sup>AEA *et al*, 2017

<sup>10</sup>Mortula, 2012

<sup>11</sup>Abeynayaka, 2019

<sup>12</sup>Hudori dan Rafiandy, 2016

<sup>13</sup>Firmansyah, 2015

<sup>14</sup>Jumadil, 2017

<sup>15</sup>Wardhani dkk, 2014

<sup>16</sup>Mizwar dan Diena, 2012

<sup>17</sup>Rahmat dkk, 2017

<sup>18</sup>Amalia dkk, 2016

<sup>19</sup>Mahardani dan Kusuma, 2010

<sup>20</sup>Andina, 2017

<sup>21</sup>Desmiarti dkk, 2017

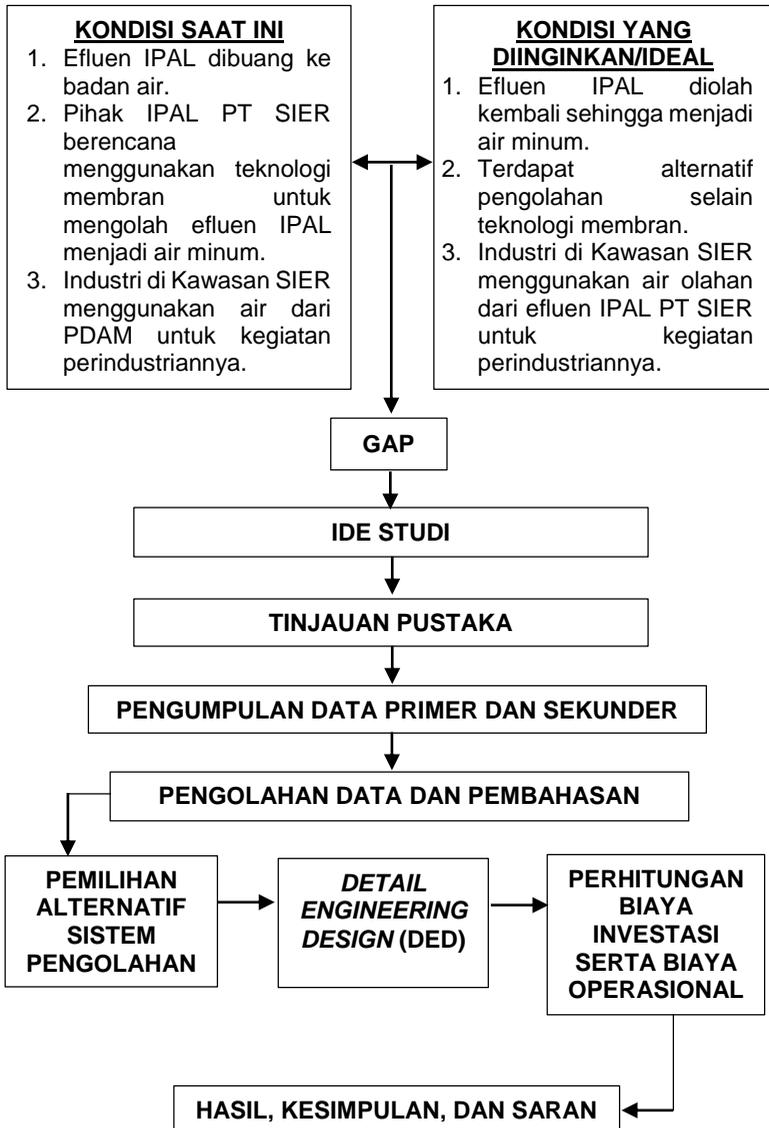
<sup>22</sup>Esmaili dan Saremnia, 2018

<sup>23</sup>Abid dkk, 2012

## **BAB 3 METODE PERENCANAAN**

### **3.1 Umum**

Tugas akhir yang berjudul **Perencanaan Pengolahan Efluen IPAL PT SIER menjadi Air Minum untuk Kegiatan Industri** ini diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Kemudian, dilanjutkan dengan pengolahan data dan pembahasan. Terdapat tiga langkah dalam pengolahan data dan pembahasan. Pertama, pembuatan alternatif sistem pengolahan dan pemilihan teknologi. Setelah diperoleh alternatif sistem pengolahan yang terpilih, dilakukan penyusunan *Detail Engineering Design* (DED). Lalu, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan biaya investasi yang diperoleh serta biaya operasional dan pemeliharaan yang diperlukan. Untuk lebih jelasnya, alur atau kerangka perencanaan dari tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1. Kerangka Perencanaan

## 3.2 Tahapan Perencanaan

### 3.2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka bertujuan untuk membantu dan mendukung ide perencanaan serta dapat meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide yang direncanakan. Tinjauan pustaka juga harus mendapatkan *feedback* dari hasil pengolahan dan pembahasan untuk menyesuaikan hasil pengolahan dengan literatur yang ada. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal, peraturan, baku mutu, artikel, dan tugas akhir yang berkaitan dengan perencanaan ini.

### 3.2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap dimana data-data pendukung perencanaan mulai dicari dan dikumpulkan. Data-data yang digunakan untuk perencanaan dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang langsung diperoleh oleh perencana dari subjek perencanaan atau berdasarkan hasil analisis pribadi. Sementara, data sekunder merupakan data yang diperoleh oleh perencana secara tidak langsung yakni dari hasil catatan subjek perencanaan.

#### A. Data Primer

Data primer didapatkan dari hasil pengukuran kualitas efluen IPAL dan wawancara. Metode yang digunakan untuk memperoleh data primer, antara lain:

#### **Pengukuran Kualitas Air Baku (Efluen IPAL)**

Pengambilan sampel untuk pengukuran kualitas air baku (efluen IPAL) dilakukan dengan metode *grab sampling* pada bak efluen IPAL PT SIER. Frekuensi pengambilan sampel ditentukan dengan memperhatikan data debit dan kualitas efluen IPAL untuk mengetahui kualitas air baku pada saat beban pencemar rendah dan beban pencemar tinggi.

Parameter yang diukur dalam analisis kualitas air baku (efluen IPAL) dilakukan dengan mengacu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Permenkes 492 Tahun 2010. Selain itu, terdapat beberapa pertimbangan lain yang digunakan dalam penentuan parameter yang akan diuji dalam analisis kualitas air baku yaitu dengan meninjau parameter di standar influen IPAL PT SIER (**Tabel 2.1**) dan kualitas efluen IPAL PT SIER (**Tabel 2.3**). Hal ini dilakukan karena terdapat beberapa parameter dengan

konsentrasi rendah sehingga tidak perlu diuji. Terdapat 11 parameter yang diuji, antara lain: kekeruhan, *total dissolved solids* (TDS), warna, besi (Fe), arsen (As), fluorida (F<sup>-</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub>), selenium (Se), *E. coli*, total coli, dan temperatur. Pengukuran awal ini digunakan untuk mengetahui karakteristik air baku yang akan diolah sehingga dapat dilakukan pemilihan alternatif yang sesuai berdasarkan karakteristik tersebut.

### **Wawancara**

Wawancara dilakukan dengan Kepala IPAL PT SIER dan Kepala Divisi Pengembangan PT SIER. Pengumpulan data dengan cara wawancara dilakukan karena terdapat beberapa keperluan dokumen data yang bersifat rahasia. Wawancara ini bertujuan untuk memperkuat dasaran ataupun latar belakang dari perencanaan ini sehingga dapat tercapai tujuan yang menjadi solusi dari latar belakang perencanaan ini. Berikut adalah data yang dapat diperoleh dengan proses wawancara (**Tabel 3.1**).

**Tabel 3.1. Kebutuhan Data Primer berdasarkan Proses Wawancara**

<b>Data</b>	<b>Fungsi</b>
Dasaran pelaksanaan program	Memperkuat latar belakang perencanaan
Cakupan pelayanan air industri	Gambaran awal mengenai pemanfaatan air industri

### **B. Data Sekunder**

Data sekunder diperoleh dari IPAL PT SIER. Selain itu, data sekunder juga dapat diperoleh dari internet berupa jurnal, artikel ilmiah, dan perencanaan-perencanaan sebelumnya. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdapat pada **Tabel 3.2** berikut.

**Tabel 3.2. Kebutuhan Data Sekunder**

<b>Data/dokumen</b>	<b>Fungsi</b>
Debit dan kualitas efluen IPAL	Sebagai dasaran dalam pemilihan alternatif teknologi pengolahan
Daftar industri di Kawasan Rungkut	Gambaran awal mengenai pemanfaatan air industri berdasarkan jenis industri
Kebutuhan air <i>tenant</i> yang tertarik dengan program	Mengetahui kebutuhan debit pengolahan

### **3.2.3 Pengolahan Data dan Pembahasan**

Dari data-data yang terkumpul akan diolah untuk mendapatkan:

1. Alternatif sistem pengolahan

Penentuan alternatif sistem pengolahan dilakukan dengan memperhatikan dua aspek yaitu aspek teknis dan aspek finansial. Adapun data yang diperlukan pada tahap ini adalah data primer berupa kualitas air baku berdasarkan hasil analisis serta data sekunder berupa luas lahan yang tersedia, kapasitas pengolahan yang diinginkan, debit efluen IPAL, dan data kualitas efluen IPAL. Dari penentuan alternatif sistem pengolahan maka akan diperoleh teknologi pengolahan yang akan digunakan. Pembuatan alternatif pengolahan dilakukan sesuai tahapan berikut:

- a. Membandingkan kualitas influen dengan kualitas efluen yang diinginkan menurut baku mutu Parameter Wajib Permenkes Nomor 492 Tahun 2010.
- b. Membandingkan kualitas efluen IPAL dengan baku mutu kelas air PP Nomor 81 Tahun 2001.
- c. Kemudian, menentukan parameter apa saja yang harus di removal.
- d. Membuat alternatif pengolahan sesuai kriteria desain yang diharapkan.

Adapun kriteria desain rangkaian alternatif pengolahan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

- a. Memiliki persen removal yang tinggi terhadap parameter dengan kadar tinggi.
- b. Luas lahan yang dibutuhkan kecil.
- c. Menggunakan teknologi membran.
- d. Nilai investasi tinggi.

- e. Tidak membutuhkan banyak biaya operasional dan pemeliharaan.
2. Penyusunan *Detail Engineering Design* (DED)  
Setelah mengetahui teknologi pengolahan yang akan digunakan, maka langkah selanjutnya adalah penyusunan *Detail Engineering Design* (DED). Data yang dibutuhkan dalam tahap ini adalah sama dengan data yang dibutuhkan untuk penentuan alternatif sistem pengolahan.
3. Perhitungan biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan  
Setelah selesai menyusun DED, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan biaya investasi yang diperoleh serta biaya operasional dan pemeliharaan yang diperlukan terhadap hasil perencanaan dengan melakukan perhitungan BOQ (*Bill of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya) menggunakan HSPK Kota Surabaya Tahun 2018.

### **3.2.4 Hasil, Kesimpulan, dan Saran**

Dari pengolahan data yang diperoleh kemudian dilakukan analisis terkait perencanaan dan perhitungan biaya yang telah dilakukan, sehingga didapatkan hasil berupa kelayakan baik dari segi teknis dan juga finansial. Selain itu, juga diperoleh kesimpulan. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan perencanaan meliputi:

1. Sistem pengolahan daur ulang efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri.
2. Biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan dari sistem pengolahan daur ulang efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri.

Kemudian, saran diberikan sebagai masukan kepada pihak IPAL PT SIER dan dapat juga dalam bentuk rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yang berada di luar lingkup perencanaan ini.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Lokasi Perencanaan**

Lokasi perencanaan terletak di dalam kawasan IPAL PT SIER. IPAL PT SIER sendiri memiliki luas wilayah  $\pm 13.000 \text{ m}^2$ . Dari luas area tersebut, terdapat lokasi yang dapat digunakan sebagai lahan perencanaan dengan luas  $476,85 \text{ m}^2$ . Detail lokasi lahan perencanaan dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

### **4.2 Karakteristik Air Baku**

Air baku yang digunakan dalam pengolahan ini adalah efluen IPAL PT SIER. Setelah mengetahui karakteristik air baku maka akan diketahui kelas dari air baku tersebut berdasarkan parameter Penentuan Kelas Sungai Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 81 Tahun 2001.

Penentuan kelas air baku dilakukan dengan menggunakan data sekunder kualitas efluen air limbah yang kemudian dibandingkan dengan parameter yang sama di parameter penentuan kelas air baku PP Nomor 81 Tahun 2001 sehingga dapat diketahui level kelas dari tiap parameter yang diamati.

Parameter dengan level kelas 3 atau 4 perlu dilakukan pengolahan khusus sehingga hasil pengolahan memenuhi baku mutu Parameter Wajib Kualitas Air Minum Permenkes Nomor 492 Tahun 2010.

**Tabel 4.1. Penentuan Kelas Air Baku**

Parameter	Satuan	Kualitas efluen IPAL			Pembagian kelas (menurut PP 81/2001)				Kelas Air Baku
		10/11/19	06/11/19	04/12/19	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	
pH	-	7,01	7,29	7,46	6 - 9	6 - 9	6 - 9	5 - 9	1
BOD <sub>5</sub>	mg/L	34,33	8,1	4,25	2	3	6	12	3
COD	mg/L	74,63	25,21	50,12	10	25	50	100	3
Zat tersuspensi (TSS)	mg/L	35	18	<2,38	50	50	400	400	1
Amonia bebas (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,0023	0,0709	0,0061	0,5	-	-	-	1
Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	<0,0101	<0,0101	<0,0101	0,002	0,002	0,002	-	4
Fenol	mg/L	<0,0009	<0,0009	<0,0009	0,001	0,001	0,001	-	1
Detergen (MBAS)	mg/L	0,2368	0,0871	0,0649	0,2	0,2	0,2	-	1
Minyak dan lemak	mg/L	1,75	1,75	1,5	1	1	1	-	4
Tembaga (Cu) total	mg/L	<0,0173	0,0261	<0,0173	0,02	0,02	0,02	0,2	1
Seng (Zn) total	mg/L	0,4549	0,114	0,0867	0,05	0,05	0,05	2	4
Krom Val. 6 (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	<0,0038	<0,0038	<0,0038	0,05	0,05	0,05	1	1
Krom (Cr) total	mg/L	<0,0169	<0,0169	<0,0169					-
Kadmium (Cd) total	mg/L	<0,0023	<0,0023	<0,0023	0,01	0,01	0,01	0,01	1
Timbal (Pb) total	mg/L	<0,0029	<0,0029	0,0051	0,03	0,03	0,03	1	1
Nikel (Ni) total	mg/L	<0,0287	<0,0287	<0,0287					-

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil perbandingan, dapat diketahui bahwa rata-rata parameter dari hasil uji air baku cukup baik. Namun, ada beberapa parameter yang berada di level kelas 3 atau 4, yaitu parameter BOD, COD, sulfida, minyak dan lemak, serta seng (Zn).

Selain melakukan penentuan kualitas air baku berdasarkan data sekunder, juga dilakukan pengujian laboratorium menurut baku mutu Parameter Wajib Permenkes Nomor 492 Tahun 2010. Terdapat 11 parameter yang diuji yaitu kekeruhan, *total dissolved solid* (TDS), *E. coli*, total coli, warna, besi (Fe), arsen (As), selenium (Se), fluorida (F<sup>-</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub>), dan suhu. Pengujian ini dilakukan karena parameter-parameter tersebut tidak terdapat pada data sekunder serta untuk mengetahui pemenuhan proses *removal* terhadap baku mutu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Permenkes 492/2010. Hasil pengujian air baku dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Sementara, untuk sertifikat hasil pengujian dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

Dalam perencanaan ini, pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 kali pada waktu dan hari yang sama namun di minggu yang berbeda. Dari ketiga hasil pengujian, digunakan nilai hasil uji yang paling tidak memenuhi baku mutu. Hal ini bertujuan agar sistem pengolahan yang direncanakan mampu mengolah air baku disaat kualitas yang paling buruk sekalipun. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa parameter yang sangat melampaui baku mutu adalah parameter mikrobiologi yaitu ***E. Coli***, **Total Coli**, dan **parameter fisik TDS**.

### 4.3 Debit Pengolahan

Debit air baku yang akan diolah mengikuti kebutuhan air dari *tenant* PT SIER yang berminat membeli air hasil olahan. Data kebutuhan air dari *tenant* yang berminat dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Total kebutuhan air dari *tenant* sebesar 1.224 m<sup>3</sup>/hari. Namun, untuk mengantisipasi adanya penambahan permintaan, maka debit produksi ditambah menjadi 1.500 m<sup>3</sup>/hari.

Debit pengolahan adalah debit produksi yang ditambah dengan kebutuhan air untuk keperluan operasional seperti proses *backwash* dan regenerasi resin, dan pelarut bahan kimia CIP (*Clean in Process*) sebesar 30% serta *reject water* membran sebesar 38%. Berikut perhitungannya:

Debit pengolahan  
= (debit produksi + air operasional) x (100% + persen *reject water*)  
= (1500 m<sup>3</sup>/hari + (30% x 1500 m<sup>3</sup>/hari) x (100% + 38%)  
= 2700 m<sup>3</sup>/hari

Sehingga debit pengolahan pada perencanaan ini adalah **2.700 m<sup>3</sup>/hari atau 31,3 L/detik.**

**Tabel 4.2. Data Primer Kualitas Air Baku**

No	Parameter	Satuan	Standart Maksimal	Hasil Uji (1)	Hasil Uji (2)	Hasil Uji (3)
1	Kekeruhan	NTU	5	3,92	4,3	2,5
2	Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	500	<b>1.064</b>	610	616
3	Warna	TCU	15	9	4	9
4	Besi (Fe)	mg/L	0,3	<0,0668	0,013	0,759
5	Arsen (As)	mg/L	0,01	<0,005	<0,005	<0,005
6	Fluorida (F <sup>-</sup> )	mg/L	1,5	1,319	1,69	1,92
7	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L	3	<0,0298	0,0787	0,011
8	Selenium (Se)	mg/L	0,01	<0,007803	<0,007803	<0,007803
9	E. coli	JPT/100 mL	0	<b>140.000</b>	23.000	79.000
10	Total coli	JPT/100 mL	0	<b>920.000</b>	350.000	540.000
11	Suhu	°C	Suhu udara ± 3°C	-	27	28

Sumber: Hasil Pengujian oleh Laboratorium PDAM Surabaya

**Tabel 4.3. Debit Permintaan Air dari *Tenant* PT SIER**

No	Nama Perusahaan	Alamat	Kebutuhan per Bulan (m <sup>3</sup> )	Kebutuhan per Hari (m <sup>3</sup> )
1	PT. ANEKA GAS	Jl. Berbek Industri I/23A	5.000 – 8.000	217
2	PT. Aktif Indonesia Indah	Jl. Rungkut Industri III/64	3.000	100
3	PT. SMART tbk	Jl. Rungkut Industri Raya 19	15.000 – 20.000	583
4	PT. ARUKI	Jl. Rungkut Industri I/18-22	4.769	159
5	PT. Mikatasa Agung	Jl. Rungkut Industri I & II	4.950	165
<b>Total (m<sup>3</sup>/hari)</b>				1.224

Sumber: IPAL SIER, 2016

#### 4.4 Pemilihan Alternatif Perencanaan

Dalam proses perencanaan, diperlukan beberapa alternatif pengolahan untuk menghilangkan kandungan parameter yang melampaui baku mutu dan memperoleh sistem pengolahan sesuai kriteria desain. Parameter yang masih tinggi adalah **Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), Total Dissolved Solids (TDS), bakteri E. coli, dan total coli**. Jenis-jenis unit operasi dan unit proses yang dapat digunakan untuk menghilangkan konstituen yang terkandung dalam efluen air limbah dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Berdasarkan kualitas efluen untuk pengolahan efluen air limbah menjadi air minum untuk kegiatan industri ini dapat digunakan unit pengolahan berupa:

- a. *Rapid Sand Filter*, untuk menurunkan kandungan COD, BOD, kekeruhan, warna, serta minyak dan lemak.
- b. Filter Karbon Aktif, untuk menurunkan kandungan kekeruhan, logam berat, serta minyak dan lemak.
- c. *Ion Exchanger*, untuk menurunkan kandungan TDS, logam berat, dan warna.
- d. Teknologi membran, untuk menurunkan atau menghilangkan kandungan TSS, TDS, serta bakteri.

**Tabel 4.4. Analisa Unit Pengolahan Yang Dapat Digunakan**

Parameter	Dapat Diolah dengan Unit Pengolahan									
	Koa-Flo	RSF	SSF	Ion Exchanger	Adsorption (Carbon Active)	Desinfeksi	Mikrofiltrasi	Nanofiltrasi	Ultrafiltrasi	Reverse Osmosis
COD	v	v	v		v		v	v	v	v
Kekeruhan		v	v		v		v	v	v	v
TDS				v	v		v	v	v	v
Logam berat				v	v		v	v	v	v
Mikroorganisme		v			v	v	v	v	v	v
TSS		v			v		v	v	v	v
Warna		v		v	v		v	v	v	v
Minyak dan lemak		v		v	v		v	v	v	v

Sumber:

Shammas dan Wang, 2010; Visscher *et al*, 1987; Barakat dan Ismat-Shah, 2013; Moldoveanu dan David, 2015; Khulbe dan Matsuura, 2018; Denisova *et al*, 2014; Hatt *et al*, 2013; O'Connor dan O'Connor, 2015; AEA *et al*, 2017; Mortula, 2012; Abeynayaka, 2019; Hudori dan Rafiandy, 2016; Firmansyah, 2015; Jumadil, 2017; Wardhani dkk, 2014; Mizwar dan Diena, 2012; Rahmat dkk, 2017; Amalia dkk, 2016; Mahardani dan Kusuma, 2010; Andina, 2017; Desmiarti dkk, 2017; Esmaeili dan Saremnia, 2018; Abid dkk, 2012.

Dari unit-unit pengolahan tersebut, dibuat 3 rangkaian alternatif pengolahan sebagai berikut:

- A. Alternatif 1
  - *Rapid Sand Filter* (RSF)
  - *Ion Exchanger*
  - Nanofiltrasi
  - *Gas chlor Disinfection*
- B. Alternatif 2
  - *Rapid Sand Filter* (RSF)
  - *Ion Exchanger*
  - Mikrofiltrasi
  - *Gas chlor Disinfection*
- C. Alternatif 3
  - *Rapid Sand Filter* (RSF)
  - Mikrofiltrasi
  - Reverse Osmosis (RO)
  - *Gas chlor Disinfection*

Untuk memilih alternatif pengolahan yang terbaik diperlukan adanya analisis secara kuantitatif dan kualitatif. Adapun kriteria yang diperhatikan terdiri dari:

- a. Pemenuhan kualitas hasil olahan terhadap baku mutu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Nomor 492/2010.
- b. Tidak membutuhkan lahan yang luas.
- c. Menggunakan teknologi membran.
- d. Biaya investasi paling kecil.
- e. Biaya operasional dan pemeliharaan kecil.

Penjelasan lebih lanjut mengenai kriteria desain dijelaskan dalam sub-bab berikut:

#### **4.4.1 Pemenuhan Kualitas Efluen terhadap Baku Mutu.**

Efisiensi removal sistem pengolahan harus diketahui untuk dapat menentukan unit pengolahan yang mampu mereduksi kadar pencemar pada air baku hingga tidak melampaui baku mutu. Apabila unit pengolahan tidak mampu mengolah air baku hingga memenuhi kualitas sesuai dengan baku mutu Parameter Wajib Permenkes 492 Tahun 2010, maka unit pengolahan tersebut tidak layak untuk diterapkan.

Setelah diketahui besarnya efisiensi removal dari tiap unit pengolahan, selanjutnya dilakukan perhitungan kualitas efluen hasil pengolahan terhadap baku mutu yang digunakan, yaitu Parameter Wajib Standar Kualitas Air Minum Permenkes 492 Tahun 2010. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan nilai parameter dari karakteristik air baku yang akan diolah dengan besar persen removal dari tiap unit pengolahan terhadap parameter tersebut. Sehingga dari hasil perhitungan, akan diperoleh nilai akhir yang merupakan kualitas efluen. Analisis awal pemenuhan kualitas terhadap baku mutu dapat dilihat pada **Tabel 4.5** sampai **Tabel 4.10**. Berdasarkan hasil perhitungan, ketiga alternatif pengolahan dapat mengolah air baku hingga memenuhi baku mutu yang digunakan.

**Tabel 4.5. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan 1**

Parameter	Karakteristik Air Baku		Unit Pengolahan							
			RSF		Ion Exchanger		Nanofiltrasi		Disinfeksi	
	Nilai	Satuan	% R	Hasil	% R	Hasil	% R	Hasil	%R	Hasil
Kekeruhan	4,3	NTU	67%	1,42	0%	1,42	90%	0,14	0,14	0,14
TSS	35	mg/L	48%	18,2	0%	18,2	100%	0	0,00	0
TDS	1064	mg/L	0%	1064	93%	74	79%	15,64	40,22	15,64
Warna	9	TCU	77%	2,07	87%	0,27	94%	0,02	0,01	0,02
Minyak dan lemak	1,75	mg/L	91%	0,16	69%	0,05	99%	0	0,03	0
COD	74,63	mg/L	87%	9,70	0%	9,7	90%	0,97	0,97	0,97
Besi	0,759	mg/L	97%	0,02	99%	0	85%	0	0,00	0
Arsen	0,005	mg/L	0%	0,01	99%	0	85%	0	0,00	0
Selenium	0,007803	mg/L	0%	0,01	99%	0	85%	0	0,00	0
Kadmium total	0,0023	mg/L	0%	0,00	99%	0	85%	0	0,00	0
Krom total	0,0169	mg/L	0%	0,02	99%	0	85%	0	0,00	0
Fluorida	1,92	mg/L	0%	1,92	99%	0,02	85%	0	0,00	0
Nitrit	0,0787	mg/L	0%	0,08	99%	0	85%	0	0,00	0
E. coli	140000	JPT/100 mL	5%	133000	0%	133000	100%	0	0,00	0
Total bakteri koliform	920000	JPT/100 mL	5%	874000	0%	874000	100%	0	0,00	0

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.6. Pemenuhan Removal Alternatif Pengolahan 1 Terhadap Baku Mutu**

Parameter	Hasil Pengolahan		Baku Mutu		Kesimpulan
	Nilai	Satuan	Nilai	Sumber	
Kekeruhan	0,14	NTU	5	Permenkes 492	Memenuhi
TSS	0	mg/L	50	PP 81/2001	Memenuhi
TDS	15,64	mg/L	500	Permenkes 492	Memenuhi
Warna	0,02	TCU	15	Permenkes 492	Memenuhi
Minyak dan lemak	0	mg/L	1	PP 81/2001	Memenuhi
COD	0,97	mg/L	10	PP 81/2001	Memenuhi
Besi	0	mg/L	0,3	Permenkes 492	Memenuhi
Arsen	0	mg/L	0,01	Permenkes 492	Memenuhi
Selenium	0	mg/L	0,01	Permenkes 492	Memenuhi
Kadmium total	0	mg/L	0,003	Permenkes 492	Memenuhi
Krom total	0	mg/L	0,05	Permenkes 492	Memenuhi
Fluorida	0	mg/L	1,5	Permenkes 492	Memenuhi
Nitrit	0	mg/L	3	Permenkes 492	Memenuhi
E. coli	0	JPT/100 mL	0	Permenkes 492	Memenuhi
Total bakteri koliform	0	JPT/100 mL	0	Permenkes 492	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.7. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan 2**

Parameter	Karakteristik Air Baku		Unit Pengolahan							
			RSF		Ion Exchanger		Mikrofiltrasi		Disinfeksi	
	Nilai	Satuan	% R	Hasil	% R	Hasil	% R	Hasil	% R	Hasil
Kekeruhan	4,3	NTU	67%	1,42	0%	1,42	90%	0,14	0%	0,14
TSS	35	mg/L	48%	18,2	0%	18,2	100%	0,00	0%	0,00
TDS	1064	mg/L	0%	1064	93%	74	46%	40,22	0%	40,22
Warna	9	TCU	77%	2,07	87%	0,27	97%	0,01	0%	0,01
Minyak dan lemak	1,75	mg/L	91%	0,16	69%	0,05	48%	0,03	0%	0,03
COD	74,63	mg/L	87%	9,70	0%	9,7	90%	0,97	0%	0,97
Besi	0,759	mg/L	97%	0,02	99%	0	85%	0,00	0%	0,00
Arsen	0,005	mg/L	0%	0,01	99%	0	85%	0,00	0%	0,00
Selenium	0,007803	mg/L	0%	0,01	99%	0	85%	0,00	0%	0,00
Kadmium total	0,0023	mg/L	0%	0,00	99%	0	85%	0,00	0%	0,00
Krom total	0,0169	mg/L	0%	0,02	99%	0	85%	0,00	0%	0,00
Fluorida	1,92	mg/L	0%	1,92	99%	0,02	85%	0,00	0%	0,00
Nitrit	0,0787	mg/L	0%	0,08	99%	0	85%	0,00	0%	0,00
E. coli	140000	JPT/100 mL	5%	133000	0%	133000	100%	0,00	100%	0,00
Total bakteri koliform	920000	JPT/100 mL	5%	874000	0%	874000	100%	0,00	100%	0,00

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.8. Pemenuhan Removal Alternatif Pengolahan 2 Terhadap Baku Mutu**

Parameter	Hasil Pengolahan		Baku Mutu		Kesimpulan
	Nilai	Satuan	Nilai	Sumber	
Kekeruhan	0,14	NTU	5	Permenkes 492	Memenuhi
TSS	0,00	mg/L	50	PP 81/2001	Memenuhi
TDS	40,22	mg/L	500	Permenkes 492	Memenuhi
Warna	0,01	TCU	15	Permenkes 492	Memenuhi
Minyak dan lemak	0,03	mg/L	1	PP 81/2001	Memenuhi
COD	0,97	mg/L	10	PP 81/2001	Memenuhi
Besi	0,00	mg/L	0,3	Permenkes 492	Memenuhi
Arsen	0,00	mg/L	0,01	Permenkes 492	Memenuhi
Selenium	0,00	mg/L	0,01	Permenkes 492	Memenuhi
Kadmium total	0,00	mg/L	0,003	Permenkes 492	Memenuhi
Krom total	0,00	mg/L	0,05	Permenkes 492	Memenuhi
Fluorida	0,00	mg/L	1,5	Permenkes 492	Memenuhi
Nitrit	0,00	mg/L	3	Permenkes 492	Memenuhi
E. coli	0,00	JPT/100 mL	0	Permenkes 492	Memenuhi
Total bakteri koliform	0,00	JPT/100 mL	0	Permenkes 492	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.9. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan 3**

Parameter	Karakteristik Air Baku		Unit Pengolahan							
			RSF		Mikrofiltrasi		Reverse Osmosis		Disinfeksi	
	Nilai	Satuan	% R	Hasil	% R	Hasil	% R	Hasil	%R	Hasil
Kekeruhan	4,3	NTU	67%	1,42	90%	0,14	90%	0,43	0%	0,43
TSS	35	mg/L	48%	18,2	100%	0,00	100%	0	0%	0
TDS	1064	mg/L	0%	1064	46%	574,56	90%	106	0%	106
Warna	9	TCU	77%	2,07	97%	0,06	20%	7,2	0%	7,2
Minyak dan lemak	1,75	mg/L	91%	0,16	48%	0,08	80%	0,35	0%	0,35
COD	74,63	mg/L	87%	9,7	90%	0,97	90%	7,46	0%	7,46
Besi	0,759	mg/L	97%	0,02	85%	0	90%	0,08	0%	0,08
Arsen	0,005	mg/L	0%	0,01	85%	0	90%	0	0%	0
Selenium	0,007803	mg/L	0%	0,01	85%	0	90%	0	0%	0
Kadmium total	0,0023	mg/L	0%	0	85%	0	90%	0	0%	0
Krom total	0,0169	mg/L	0%	0,02	85%	0	90%	0	0%	0
Fluorida	1,92	mg/L	0%	1,92	85%	0,29	90%	0,19	0%	0,19
Nitrit	0,0787	mg/L	0%	0,08	85%	0,01	90%	0,01	0%	0,01
E. coli	140000	JPT/10 0 mL	5%	133000	100%	0	100%	0	100%	0
Total bakteri koliform	920000	JPT/10 0 mL	5%	874000	100%	0	100%	0	100%	0

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.10. Pemenuhan Removal Alternatif Pengolahan 3 Terhadap Baku Mutu**

Parameter	Hasil Pengolahan		Baku Mutu		Kesimpulan
	Nilai	Satuan	Nilai	Sumber	
Kekeruhan	0,43	NTU	5	Permenkes 492	Memenuhi
TSS	0	mg/L	50	PP 81/2001	Memenuhi
TDS	106	mg/L	500	Permenkes 492	Memenuhi
Warna	7,2	TCU	15	Permenkes 492	Memenuhi
Minyak dan lemak	0,35	mg/L	1	PP 81/2001	Memenuhi
COD	7,46	mg/L	10	PP 81/2001	Memenuhi
Besi	0,08	mg/L	0,3	Permenkes 492	Memenuhi
Arsen	0	mg/L	0,01	Permenkes 492	Memenuhi
Selenium	0	mg/L	0,01	Permenkes 492	Memenuhi
Kadmium total	0	mg/L	0,003	Permenkes 492	Memenuhi
Krom total	0	mg/L	0,05	Permenkes 492	Memenuhi
Fluorida	0,19	mg/L	1,5	Permenkes 492	Memenuhi
Nitrit	0,01	mg/L	3	Permenkes 492	Memenuhi
E. coli	0	JPT/100 mL	0	Permenkes 492	Memenuhi
Total bakteri koliform	0	JPT/100 mL	0	Permenkes 492	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.4.2 Tidak Membutuhkan Lahan Yang Luas

Sementara, untuk analisis awal kebutuhan luas lahan dari tiap alternatif dilakukan dengan *preliminary sizing*. Berikut adalah perhitungannya:

##### A. *Holding Tank*

Direncanakan *holding tank* berbentuk persegi dengan jumlah 2 bak. Kedua bak digunakan bersamaan saat proses operasional. Namun, ketika dilakukan pemeliharaan, hanya beroperasi satu bak. Perhitungan kebutuhan luas *holding tank* adalah sebagai berikut:

Jumlah holding tank (n)	= 2 bak
Debit rencana (Q)	= 31,3 L/detik = 0,0313 m <sup>3</sup> /detik
Waktu detensi (td)	= 20 menit = 1200 detik

Maka, perhitungan awal terhadap volume dari *holding tank* adalah sebagai berikut:

Volume bak (V)	= Q x td = 0,0313 m <sup>3</sup> /detik x 1200 detik = 37,5 m <sup>3</sup>
----------------	--

*Holding tank* direncanakan memiliki kedalaman 2 meter. Maka, luas lahan yang dibutuhkan:

Luas lahan tiap bak	= Volume bak : kedalaman = 37,5 m <sup>3</sup> : 2 m = 19 m <sup>2</sup>
Kebutuhan total luas lahan	= n x luas lahan tiap bak = 2 x 19 m <sup>2</sup> = 38 m <sup>2</sup>

Berdasarkan hasil perhitungan, didapat luas kebutuhan lahan *holding tank* adalah 38 m<sup>2</sup>.

### B. *Rapid Sand Filter Dual Media*

Direncanakan unit *rapid sand filter* berbentuk persegi dengan jumlah 2 unit. Unit filter yang digunakan menggunakan *dual media*. Perhitungan kebutuhan luas lahan unit *rapid sand filter* dual media adalah sebagai berikut:

Jumlah unit	= 2 bak
Debit rencana (Q)	= 31,3 L/detik
	= 0,0313 m <sup>3</sup> /detik
Debit tiap bak	= Q : jumlah bak
	= 0,0313 m <sup>3</sup> /detik : 2
	= 0,016 m <sup>3</sup> /detik

Kriteria desain kecepatan filtrasi adalah 6 – 11 m/jam. Dalam perencanaan ini, dipilih kecepatan filtrasi sebesar 6 m/jam untuk memperoleh hasil filtrasi yang baik. Dari kecepatan filtrasi tersebut, dapat dihitung luas kebutuhan lahan, berikut perhitungannya:

Kecepatan filtrasi ( $v_a$ )	= 6 m/jam
	= 0,0017 m/detik
Luas lahan	= Q : $v_a$
	= 0,016 m <sup>3</sup> /detik : 0,0017 m/detik
	= 9,38 m <sup>2</sup>
Kebutuhan total luas lahan	= jumlah unit x luas lahan
	= 2 x 9,38 m <sup>2</sup>
	= 18,75 m <sup>2</sup>

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh luas kebutuhan lahan untuk unit *rapid sand filter* dual media adalah 18,75 m<sup>2</sup>.

### C. *Adsorption (Carbon Active)*

Direncanakan unit adsorption menggunakan granular karbon aktif (GAC). Unit *adsorption* berbentuk silinder dengan jumlah 1 unit. Perhitungan kebutuhan luas lahan unit *adsorption* adalah sebagai berikut:

Jumlah unit	= 1 unit
Debit rencana (Q)	= 31,3 L/detik

$$\begin{aligned}
 &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{EBCT} &= 30 \text{ menit} \\
 &= 1800 \text{ detik} \\
 \text{Densitas GAC} &= 450 \text{ g/L} \\
 \text{Massa karbon yang dibutuhkan} &= \text{EBCT} \times Q \times \text{densitas GAC} \\
 &= 1800 \text{ detik} \times 31,3 \text{ L/detik} \times 450 \text{ g/L} \\
 &= 25.312.500 \text{ gram} \\
 \text{Volume GAC} &= \text{massa GAC} : \text{densitas GAC} \\
 &= 25.312.500 \text{ gram} : 450 \text{ g/L} \\
 &= 56250 \text{ L} \\
 &= 56 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan panjang kolom karbon filter adalah 2 m, maka luas lahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas lahan} &= \text{volume GAC} : \text{panjang kolom} \\
 &= 56 \text{ m}^3 : 2 \text{ m} \\
 &= 28,13 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka kebutuhan luas lahan unit *adsorption* adalah 28,13 m<sup>3</sup>.

#### D. *Ion Exchanger* (Kation)

Direncanakan unit *ion exchanger* (kation) berbentuk silinder dengan jumlah 1 unit. Perhitungan kebutuhan luas lahan unit *ion exchanger* (kation) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah unit} &= 1 \text{ unit} \\
 \text{Debit rencana (Q)} &= 31,3 \text{ L/detik} \\
 \text{Lama operasi} &= 20 \text{ jam} \\
 &= 1 \text{ hari/cycle} \\
 \text{Kation exchange capacity} &= 2 \text{ meq/gr} \\
 &= 2 \text{ eq/kg} \\
 \text{Densitas kation } (\rho) &= 500 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian efluen IPAL PT SIER, diperoleh konsentrasi TDS sebesar 1064 mg/L, maka konsentrasi kation adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kation} &= \text{konsentrasi TDS} : 2 \\
 &= 1064 \text{ mg/L} : 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 532 \text{ mg/L} \\ \text{Berat molekul CaCO}_3 &= 100 \\ \text{Berat ekuivalen CaCO}_3 &= 50 \text{ meq/mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kation sebagai CaCO}_3 & \\ \text{mg/L as CaCO}_3 &= \text{konsentrasi kation : berat molekul CaCO}_3 \\ &= 532 \text{ mg/L : } 100 \text{ meq/mg} \\ &= 5,3 \text{ mg/L as CaCO}_3 \\ &= 5,3 \text{ g/m}^3 \text{ as CaCO}_3 \\ \text{meq/L kation} &= \text{konsentrasi kation : berat ekuivalen CaCO}_3 \\ &= 532 \text{ mg/L : } 50 \text{ meq/mg} \\ &= 10,6 \text{ meq/L} \\ &= 10,6 \text{ eq/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Exchange capacity per cycle} & \\ &= \text{g/m}^3 \text{ as CaCO}_3 \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle} \\ &= 5,3 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle} \times 2700 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari/cycle} \\ &= 17.237 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dalam eq} & \\ &= \text{meq/L} \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle} \\ &= 10,6 \text{ meq/L} \times 31,3 \text{ L/detik} \times 86400 \text{ detik/hari} \times 1 \text{ hari/cycle} \\ &= 34.474 \text{ eq/cycle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa resin} & \\ &= \text{exchange capacity per cycle : exchange capacity resin} \\ &= 34.474 \text{ eq/cycle : } 2 \text{ eq/kg} \\ &= 17.237 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume resin} &= \text{massa resin : densitas resin} \\ &= 17.237 \text{ kg : } 500 \text{ kg/m}^3 \\ &= 34,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume hydrogen cation bed} &= 1,3 \times \text{volume resin} \\ &= 1,3 \times 34,5 \text{ m}^3 \\ &= 44,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan panjang kolom ion exchanger (kation) adalah 2 meter, maka perhitungan luas lahan unit ion exchanger adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas lahan} &= \text{volume } \textit{hydrogen cation bed} : \text{panjang kolom} \\ &= 44,8 \text{ m}^3 : 2 \text{ m} \\ &= 22,4 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa kebutuhan luas lahan untuk unit ion exchanger (kation) adalah 22,4 m<sup>2</sup>.

#### E. *Ion Exchanger* (Anion)

Direncanakan unit *ion exchanger* (anion) berbentuk silinder dengan jumlah 1 unit. Perhitungan kebutuhan luas lahan unit *ion exchanger* (anion) adalah sebagai berikut:

Jumlah unit	= 1 unit
Debit rencana (Q)	= 31,3 L/detik
Lama operasi	= 20 jam
	= 1 hari/cycle
Anion exchange capacity	= 1,3 meq/gr
	= 1,3 eq/kg
Densitas anion ( $\rho$ )	= 700 kg/m <sup>3</sup>

Berdasarkan hasil pengujian efluen IPAL PT SIER, diperoleh konsentrasi TDS sebesar 1064 mg/L, maka konsentrasi anion adalah:

Jumlah anion	= konsentrasi TDS : 2
	= 1064 mg/L : 2
	= 532 mg/L
Berat molekul CaCO <sub>3</sub>	= 100
Berat ekivalen CaCO <sub>3</sub>	= 50 meq/mg
Jumlah anion sebagai CaCO <sub>3</sub>	
mg/L as CaCO <sub>3</sub>	= konsentrasi anion : berat molekul CaCO <sub>3</sub>
	= 532 mg/L : 100 meq/mg
	= 5,3 mg/L as CaCO <sub>3</sub>
	= 5,3 g/m <sup>3</sup> as CaCO <sub>3</sub>

$$\begin{aligned}
 \text{meq/L kation} &= \text{konsentrasi anion : berat ekuivalen CaCO}_3 \\
 &= 532 \text{ mg/L} : 50 \text{ meq/mg} \\
 &= 10,6 \text{ meq/L} \\
 &= 10,6 \text{ eq/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Exchange capacity per cycle} \\
 &= \text{g/m}^3 \text{ as CaCO}_3 \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle} \\
 &= 5,3 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle} \times 2700 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari/cycle} \\
 &= 17.237 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{dalam eq} \\
 &= \text{meq/L} \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle} \\
 &= 11 \text{ meq/L} \times 31,3 \text{ L/detik} \times 86400 \text{ detik/hari} \times 1 \text{ hari/cycle} \\
 &= 34.474 \text{ eq/cycle}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Massa resin} \\
 &= \text{exchange capacity per cycle} : \text{exchange capacity resin} \\
 &= 34.474 \text{ eq/cycle} : 1,3 \text{ eq/kg} \\
 &= 26.518 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume resin} &= \text{massa resin} : \text{densitas resin} \\
 &= 26.518 \text{ kg} : 700 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 38 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume hydrogen cation bed} &= 1,3 \times \text{volume resin} \\
 &= 1,3 \times 38 \text{ m}^3 \\
 &= 49,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan panjang kolom *ion exchanger* (anion) adalah 2 meter, maka perhitungan luas lahan unit *ion exchanger* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas lahan} &= \text{volume } \textit{hydrogen cation bed} : \text{panjang kolom} \\
 &= 49,2 \text{ m}^3 : 2 \text{ m} \\
 &= 24,6 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa kebutuhan luas lahan untuk unit *ion exchanger* (anion) adalah 24,6 m<sup>2</sup>.

#### F. Mikrofiltrasi

Dalam perencanaan ini, direncanakan menggunakan produk mikrofiltrasi dari Shandong Zhaojin Motian Co., Ltd. Nama produk tersebut adalah PVDF hollow fiber MF membrane MF30A200. Berdasarkan spesifikasinya, total luas lahan yang dibutuhkan adalah 60 m<sup>2</sup>.

#### G. Nanofiltrasi

Jenis nanofiltrasi yang digunakan adalah *Industrial Nanofiltration Membrane System*. Berdasarkan spesifikasinya, dimensi dari unit ini adalah 10 m x 2 m x 2,5 m sehingga luas kebutuhan lahan unit nanofiltrasi adalah 20 m<sup>2</sup> (10 m x 2 m).

#### H. Reverse Osmosis

Dalam perencanaan ini, direncanakan menggunakan produk *reverse osmosis* dari Jiangmen First Drinking Water Equipment Co., Ltd. Tipe produk tersebut adalah RO-10001 dengan kapasitas 2.000 L/jam. Satu set unit RO memiliki dimensi panjang dan lebar 5,9 m dan 1,8 m. Sehingga, total luas lahan yang dibutuhkan adalah kurang lebih 12 m<sup>2</sup>. Gambar produk *reverse osmosis* dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

#### I. Disinfeksi

Dalam perencanaan ini, direncanakan menggunakan produk disinfeksi dari Yantai Jietong Water Treatment Technology Co., Ltd. Nama produk tersebut adalah *Chlorine gas producing equipment*. Total luas lahan yang dibutuhkan adalah kurang lebih 10 m<sup>2</sup>.

#### J. Reservoir

Direncanakan 2 unit reservoir untuk menampung air hasil olahan. Berikut perhitungan kebutuhan luasnya:

Debit (Q)	= 31,3 L/detik
	= 0,0313 m <sup>3</sup> /detik
Gravitasi bumi (g)	= 9,81 m/det <sup>2</sup>
Jumlah unit	= 2 unit
Debit tiap unit	= 15,6 L/detik
	= 0,016 m <sup>3</sup> /detik

Kebutuhan volume = 500 m<sup>3</sup>  
 Volume tiap unit = 250 m<sup>3</sup>  
 Kedalaman air = 5 m  
 Panjang = 2 x lebar  
 Tebal dinding = 0,3 m  
 Freeboard = 0,5 m  
 Total luas permukaan = 2 x (volume : kedalaman)  
 = 2 x (250 m<sup>3</sup> : 5 m)  
 = 100 m<sup>2</sup>

Kemudian, dilakukan rekap kebutuhan lahan dari setiap alternatif pengolahan sebagai berikut:

**Tabel 4.11. Kebutuhan Luas Lahan Tiap Alternatif Pengolahan**

Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3	
Unit	Luas (m <sup>2</sup> )	Unit	Luas (m <sup>2</sup> )	Unit	Luas (m <sup>2</sup> )
<i>Holding tank</i>	38	<i>Holding tank</i>	38	<i>Holding tank</i>	38
<i>Rapid Sand Filter</i>	18,75	<i>Rapid Sand Filter</i>	18,75	<i>Rapid Sand Filter</i>	18,75
<i>Ion Exchanger</i>	47	<i>Ion Exchanger</i>	47	Mikrofiltrasi	60
Nanofiltrasi	20	Mikrofiltrasi	60	<i>Reverse Osmosis</i>	12
Disinfeksi	10	Disinfeksi	10	Disinfeksi	10
<i>Reservoir</i>	100	<i>Reservoir</i>	100	<i>Reservoir</i>	100
<b>Total</b>	<b>233,75</b>	<b>Total</b>	<b>273,75</b>	<b>Total</b>	<b>238,75</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 4.11**, dapat diketahui bahwa alternatif pengolahan 1 adalah alternatif dengan luas lahan paling kecil dibanding alternatif lainnya.

#### 4.4.3 Penggunaan Teknologi Membran

Dalam tiap sistem pengolahan digunakan teknologi membran agar kekeruhan dapat teremoval dengan baik dan memastikan kualitas air daur ulang yang baik. Selain itu, dari IPAL PT SIER sendiri juga bermaksud menggunakan teknologi membran dalam mengolah effluen IPAL menjadi air minum untuk kegiatan industri.

#### 4.4.4 Biaya Investasi

Dari rangkaian alternatif pengolahan yang telah dibuat, dipilih alternatif dengan biaya investasi kecil. Tahapan perhitungan biaya investasi adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung biaya konstruksi dari setiap unit pengolahan dari semua alternatif.
- b. Lalu, menghitung biaya investasi dari setiap alternatif pengolahan sesuai biaya konstruksi dari tiap unit pengolahannya.
- c. Dipilih biaya investasi yang paling kecil.

Perhitungan biaya investasi dari tiap unit direkap dalam **Tabel 4.14** sampai **Tabel 4.22**. Berdasarkan perhitungan, alternatif pengolahan ketiga adalah alternatif dengan biaya investasi paling besar dari kedua alternatif pengolahan lainnya. Berikut adalah perbandingan biaya investasi dari ketiga alternatif pengolahan berdasarkan hasil perhitungan (**Tabel 4.12**).

**Tabel 4.12. Perbandingan Biaya Investasi**

Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Biaya pembangunan lebih mahal dari alternatif kedua, namun lebih kecil dari alternatif ketiga karena menggunakan nanofiltrasi.	Biaya pembangunan paling rendah dari alternatif lain karena hanya menggunakan teknologi membran mikrofiltrasi.	Biaya pembangunan lebih besar dari alternatif lainnya karena menggunakan reverse osmosis.

Sumber: Analisis Pribadi

#### 4.4.5 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari biaya penyediaan bahan kimia, resin, dan media filter serta biaya pembayaran listrik dan gaji tenaga kerja. Alternatif pengolahan dengan biaya operasional dan pemeliharaan yang kecil akan menjadi alternatif yang unggul dari yang lain. Tahapan perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung biaya operasional dan pemeliharaan dari setiap unit pengolahan tiap alternatif.
- b. Lalu, menghitung biaya keseluruhan biaya operasional dan pemeliharaan dari setiap alternatif pengolahan.
- c. Dipilih biaya operasional dan pemeliharaan yang paling kecil.

Perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan dari tiap alternatif pengolahan direkap dalam **Tabel 4.23** sampai **Tabel 4.28**. Berdasarkan perhitungan, ketiga alternatif memiliki biaya operasional dan pemeliharaan yang sama. Selain, membandingkan berdasarkan hasil perhitungan, juga dilakukan perbandingan secara deskriptif seperti pada **Tabel 4.13** berikut.

**Tabel 4.13. Perbandingan Biaya Operasional dan Pemeliharaan**

<b>Jenis Biaya OM</b>	<b>Alternatif 1</b>	<b>Alternatif 2</b>	<b>Alternatif 3</b>
Bahan kimia	Memerlukan biaya penyediaan bahan kimia untuk regenerasi ion resin dan proses klorinasi.	Memerlukan biaya penyediaan bahan kimia untuk regenerasi ion resin dan proses klorinasi.	Hanya membutuhkan zat kimia klor.
Resin	Membutuhkan biaya penyediaan resin untuk unit Ion Exchanger.	Membutuhkan biaya penyediaan resin untuk unit Ion Exchanger.	Tidak membutuhkan biaya penyediaan resin.
Media filter	Membutuhkan biaya penggantian media filter.	Membutuhkan biaya penggantian media filter.	Tidak membutuhkan biaya penggantian media filter. Namun, perlu memperhatikan <i>cartridge</i> pada mikrofiltrasi dan reverse osmosis.
Listrik	Biaya listrik diperlukan untuk unit ion exchanger, nanofiltrasi, dan disinfeksi.	Biaya listrik diperlukan untuk unit ion exchanger, mikrofiltrasi, dan disinfeksi.	Biaya listrik yang diperlukan lebih besar karena menggunakan 2 teknologi membran.
Tenaga kerja	Membutuhkan tenaga ahli dan operator.	Membutuhkan tenaga ahli dan operator.	Membutuhkan lebih banyak tenaga ahli.

Sumber: Studi Literatur

**Tabel 4.14. Perhitungan Biaya Pembangunan Holding Tank**

<b>Holding Tank</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Harga Total (Rp)</b>
1	<b>Pekerjaan beton K-225</b>		m <sup>3</sup>	106.68		
	Upah					
	Mandor	0.015	orang.hari	1.600265	Rp180,000	Rp288,048
	Pekerja	0.1	orang.hari	10.66843	Rp165,000	Rp1,760,291
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC 50 kg	0.1	zak	10.66843	Rp68,300	Rp728,654
	Pasir cor	0.005	m <sup>3</sup>	0.533422	Rp265,300	Rp141,517
	Batu pecah mesin 2/3 cm	0.009	m <sup>3</sup>	0.960159	Rp243,300	Rp233,607
	Biaya air	215	liter	22937.13	Rp6	Rp137,623
2	<b>Perlengkapan</b>					
	Pintu air		buah	2	Rp3,000,000	Rp6,000,000
<b>TOTAL</b>						<b>Rp9,289,739</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.15. Perhitungan Biaya Pembangunan Rapid Sand Filter**

<b>Rapid Sand Filter</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Harga Total (Rp)</b>
1	<b>Pekerjaan beton K-225</b>		m <sup>3</sup>	104.62		
	Upah					
	Mandor	0.015	orang.hari	1.56924	Rp180,000	Rp282,463
	Pekerja	0.1	orang.hari	10.4616	Rp165,000	Rp1,726,164
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC 50 kg	0.1	zak	10.4616	Rp68,300	Rp714,527
	Pasir cor	0.005	m <sup>3</sup>	0.52308	Rp265,300	Rp138,773
	Batu pecah mesin 2/3 cm	0.009	m <sup>3</sup>	0.941544	Rp243,300	Rp229,078
	Biaya air	215	liter	22492.44	Rp6	Rp134,955
2	<b>Perpipaan dan aksesoris</b>					
	Pipa PVC AW (114 mm)		lonjor	4.00	Rp324,100	Rp1,296,400
	Pipa PVC AW (216 mm)		lonjor	1.00	Rp1,208,600	Rp1,208,600
	Pipa PVC AW (60 mm)		lonjor	4.00	Rp95,200	Rp380,800
	Gate valve 4"		buah	2.00	Rp1,827,600	Rp3,655,200
3	<b>Media Filter</b>					
	Pasir		kg	2867.40	Rp2,000	Rp5,734,810
	Antrasit		kg	359.20	Rp10,000	Rp3,592,017
	Kerikil		kg	1.85	Rp200,000	Rp369,672
4	<b>Perlengkapan</b>					
	Pintu air		buah	2	Rp3,000,000	Rp6,000,000
<b>TOTAL</b>						<b>Rp25,463,458</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.16. Perhitungan Biaya Pembangunan Ion Exchanger**

Ion Exchanger						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Tangki Exchanger		set	1	Rp113,944,000	Rp113,944,000
2	Regeneran HCl		kg	1.7	Rp1,068,225	Rp1,859,877
3	Regeneran NaOH		kg	3.9	Rp18,500	Rp72,309
<b>TOTAL</b>						Rp164,079,947

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.17. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Mikrofiltrasi**

Mikrofiltrasi						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Unit mikrofiltrasi	-	set	1.00	Rp71,215,000	Rp71,215,000
<b>TOTAL</b>						Rp71,215,000

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.18. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Nanofiltrasi**

Nanofiltrasi						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Unit nanofiltrasi	-	set	1.00	Rp142,430,000	Rp142,430,000
<b>TOTAL</b>						Rp142,430,000

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.19. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Disinfeksi**

Disinfeksi						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Unit disinfeksi	-	set	1.00	Rp15,786,595	Rp15,786,595
<b>TOTAL</b>						Rp15,786,595

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.20. Perhitungan Biaya Pengadaan Unit Reverse Osmosis**

Reverse Osmosis						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Unit RO	-	set	1.00	Rp427,290,000	Rp427,290,000
<b>TOTAL</b>						Rp427,290,000

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.21. Perhitungan Biaya Pembangunan Reservoir**

Reservoir						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Pekerjaan beton K-225		m <sup>3</sup>	377.15		
	Upah					
	Mandor	0.015	orang.hari	5.65728	Rp180,000	Rp1,018,310
	Pekerja	0.1	orang.hari	37.7152	Rp165,000	Rp6,223,008
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC 50 kg	0.1	zak	37.7152	Rp68,300	Rp2,575,948
	Pasir cor	0.005	m <sup>3</sup>	1.88576	Rp265,300	Rp500,292
	Batu pecah mesin 2/3 cm	0.009	m <sup>3</sup>	3.394368	Rp243,300	Rp825,850
	Biaya air	215	liter	81087.68	Rp6	Rp486,526
<b>TOTAL</b>						Rp11,629,935

Sumber: Hasil Perhitungan

Kemudian, dilakukan rekap perhitungan biaya investasi dari setiap alternatif. Berikut hasil rekapnya (Tabel 4.22).

**Tabel 4.22. Perbandingan Biaya Investasi dari Tiap Alternatif Pengolahan**

Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3	
Unit	Biaya	Unit	Biaya	Unit	Biaya
Holding tank	Rp9,289,739	Holding tank	Rp9,289,739	Holding tank	Rp9,289,739
Rapid sand filter	Rp25,463,458	Rapid sand filter	Rp25,463,458	Rapid sand filter	Rp25,463,458
Ion Exchanger	Rp164,079,947	Ion Exchanger	Rp164,079,947	Mikrofiltrasi	Rp71,215,000
Nanofiltrasi	Rp142,430,000	Mikrofiltrasi	Rp71,215,000	Reverse osmosis	Rp427,290,000
Disinfeksi	Rp15,786,595	Disinfeksi	Rp15,786,595	Disinfeksi	Rp15,786,595
Reservoir	Rp11,629,935	Reservoir	Rp11,629,935	Reservoir	Rp11,629,935
Total	Rp368,679,675	Total	Rp297,464,675	Total	Rp560,674,727

Sumber: Hasil Perhitungan

Biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari biaya penyediaan bahan kimia, resin, media filter, listrik, dan tenaga kerja selama satu tahun. Berikut perhitungannya:

**Tabel 4.23. Biaya Penyediaan Bahan Kimia**

Bahan Kimia						
No	Nama Bahan	Satuan	Jumlah	Kebutuhan per tahun	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	HCl	kg	1.74	105.92	Rp1,068,225	Rp113,142,508
2	NaOH	kg	3.9	237.77	Rp18,500	Rp4,398,771
3	Klor bubuk	kg	3.5	1259.25	Rp36,000	Rp45,333,000
<b>TOTAL</b>						Rp162,874,279

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.24. Biaya Penyediaan Resin**

<b>Resin</b>						
<b>No</b>	<b>Nama Bahan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Kebutuhan per tahun</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Harga Total (Rp)</b>
1	Kation Na <sup>+</sup>	liter	1223	1223	Rp35,608	Rp8,709,595
2	Anion Cl <sup>-</sup>	liter	1874	1874	Rp35,608	Rp13,345,691
<b>TOTAL</b>						Rp22,055,286

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.25. Biaya Penyediaan Media Filter**

<b>Media Filter</b>						
<b>No</b>	<b>Nama Bahan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Kebutuhan per tahun</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Harga Total (Rp)</b>
1	Pasir	kg	2826.7	2826.67	Rp2,000	Rp1,130,667
2	Antrasit	kg	354.10	354.10	Rp10,000	Rp708,196.72
3	Kerikil	kg	1.88	1.88	Rp200,000	Rp75,000.00
<b>TOTAL</b>						Rp1,913,863

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4. 26. Biaya Operasional Listrik**

<b>Listrik</b>						
<b>No</b>	<b>Nama Bahan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Kebutuhan per tahun</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Harga Total (Rp)</b>
1	Ion Exchanger	kWh	36.0	13140.00	Rp1,115	Rp14,651,100
2	Nanofiltrasi	kWh	36.0	13140.00	Rp1,115	Rp14,651,100
3	Disinfeksi	kWh	36.0	13140.00	Rp1,115	Rp14,651,100
4	Mikrofiltrasi	kWh	36.0	13140.00	Rp1,115	Rp14,651,100
5	Reverse Osmosis	kWh	108.0	39420.00	Rp1,115	Rp43,953,300
<b>TOTAL</b>						Rp102,557,700

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.27. Biaya Kebutuhan Gaji Tenaga Kerja**

<b>Tenaga Kerja</b>						
<b>No</b>	<b>Jenis Pekerjaan</b>	<b>Jumlah (orang)</b>	<b>Jumlah shift/hari</b>	<b>Gaji per Bulan</b>	<b>Total Gaji per Bulan</b>	<b>Total Gaji per Tahun</b>
1	Tenaga Ahli	1	3.0	Rp4,200,479.19	Rp4,200,479	Rp50,405,750
2	Operator	3		Rp4,200,479.19	Rp12,601,438	Rp151,217,251
<b>TOTAL</b>						<b>Rp201,623,001</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4.28. Perbandingan Biaya OM Alternatif Pengolahan**

<b>No</b>	<b>Jenis Biaya</b>	<b>Biaya OM</b>	<b>Biaya OM 2</b>	<b>Biaya OM 3</b>
1	Bahan kimia	Rp162,874,279	Rp162,874,279	Rp162,874,279
2	Resin	Rp22,055,286	Rp22,055,286	Rp0
3	Media filter	Rp1,913,863	Rp1,913,863	0
4	Listrik	Rp43,953,300	Rp43,953,300	Rp146,511,000
5	Tenaga kerja	Rp201,623,001	Rp201,623,001	Rp201,623,001
<b>TOTAL</b>		<b>Rp432,419,729</b>	<b>Rp432,419,729</b>	<b>Rp511,008,280</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

Kemudian, setelah melakukan perbandingan dengan menggunakan kriteria desain yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah menyimpulkan alternatif pengolahan yang terbaik. Caranya adalah dengan membuat penilaian dengan range 1 sampai 3 untuk mempermudah menarik kesimpulan. Berikut adalah perbandingan faktor pemilihan dari tiap alternatif (**Tabel 4.29**). Dari tabel tersebut, dapat diketahui bahwa alternatif pengolahan 1 yang memiliki total poin paling tinggi diantara alternatif lainnya sehingga alternatif pengolahan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah alternatif 1.

**Tabel 4.29. Rekap Perhitungan Perbandingan Alternatif Pengolahan**

<b>Faktor Pemilihan</b>	<b>Alternatif 1</b>	<b>Alternatif 2</b>	<b>Alternatif 3</b>
<b>Kualitas air olahan</b>	3	3	3
<b>Kebutuhan luas lahan</b>	3	1	2
<b>Penggunaan membran</b>	3	3	3
<b>Biaya investasi</b>	2	3	1
<b>Biaya operasional dan pemeliharaan</b>	3	3	2
<b>Total</b>	<b>14</b>	13	11

Sumber: Hasil Perhitungan

\*Keterangan nilai:

- 1 = rendah
- 2 = cukup
- 3 = baik

#### 4.5 Perencanaan Pompa Intake

Intake dalam perencanaan ini berasal dari bak efluen IPAL SIER yang kemudian dialirkan ke *holding tank* menggunakan pipa. Jarak dari bak efluen ke *holding tank* adalah 53 m. Direncanakan pipa akan berada di atas permukaan tanah. Di beberapa titik, pipa akan memiliki ketinggian kurang lebih 5 m. Hal ini dikarenakan, jalur yang dilalui adalah jalan. Sistem perpipaan tidak menggunakan sistem tanam karena apabila digunakan sistem tanam diperlukan penggalian pada saat melewati jalur jalan aspal. Hal ini tentunya selain menambah biaya penggalian juga menambah biaya perbaikan jalan setelah pipa selesai ditanam. Sistem aliran dilakukan dengan menggunakan pompa. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan kebutuhan pompa untuk mengetahui pompa yang dibutuhkan untuk kemudian disesuaikan dengan spesifikasi pompa di pasaran. Adapun pompa yang digunakan adalah pompa *submersible*. Berikut perhitungannya:

##### Pipa discharge

Panjang pipa	= 53 m
Kecepatan aliran pada pipa	= 1 m/detik
Debit	= 31,3 L/detik
	= 0,0313 m <sup>3</sup> /detik

Dari data tersebut, dapat dilakukan perhitungan luas melintang pipa, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas melintang pipa} &= \text{debit} : \text{kecepatan aliran pada pipa} \\ &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} : 1 \text{ m/detik} \\ &= 0,0313 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{luas melintang pipa}}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0313 \text{ m}^2}{3,14}} \\ &= 0,2 \text{ m} \\ &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh diameter 200 mm. Kemudian, diameter pipa hasil perhitungan tersebut

disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC dengan merek Rucika, sehingga diameter yang digunakan adalah 216 mm. Nilai kekasaran pipa PVC (C) adalah 130. Kemudian, dilakukan pengecekan terhadap kecepatan aliran pipa seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cek kecepatan aliran} &= \text{debit} : (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} : (0,25 \times 3,14 \times (0,216 \text{ m})^2) \\ &= 0,85 \text{ m/detik} \quad (\mathbf{OK!}) \end{aligned}$$

### **Pemompaan**

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pompa} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Debit pompa} &= 31,3 \text{ L/detik} \\ &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

### **Headloss pompa**

$$\begin{aligned} \text{Head statis} &= \text{head statis dari dasar outlet efluen IPAL} + \text{head statis tinggi pipa pada jalur jalan} \\ &= 1 \text{ m} + 5 \text{ m} \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

### **Mayor losses**

$$\begin{aligned} \text{Hf discharge} &= \left( \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left( \frac{0,0313 \text{ m}^3}{0,00155 \times 130 \times 21,6^{2,63}} \right)^{1,85} \times 43 \text{ m} \\ &= 0,00000044 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf } \textit{mayor losses} &= \text{Hf } \textit{discharge} \\ &= 0,00000044 \text{ m} \end{aligned}$$

### **Minor Losses**

$$\begin{aligned} \text{Head velocity} &= v^2 : 2g \\ &= (0,85 \text{ m/detik})^2 : (2 \times 9,81 \text{ m/detik}^2) \\ &= 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah belokan = 3

$$\begin{aligned} \text{Hfm belokan} &= \text{head velocity} \times \text{jumlah belokan} \times k_{\text{belokan}} \\ &= 0,037 \text{ m} \times 3 \times 0,4 \\ &= 0,045 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah valve = 1

$$\begin{aligned} \text{Hfm valve} &= \text{head velocity} \times \text{jumlah valve} \times k_{\text{valve}} \\ &= 0,037 \text{ m} \times 1 \times 0,3 \\ &= 0,011 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf minor losses} &= \text{Hfm belokan} + \text{Hfm valve} \\ &= 0,045 \text{ m} + 0,011 \text{ m} \\ &= 0,055 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka, dapat dihitung *headloss* total sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Hf total} &= \text{Hf } \textit{major losses} + \text{Hf } \textit{minor losses} \\ &= 0,00000044 \text{ m} + 0,055 \text{ m} \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah menghitung *headloss* total, maka selanjutnya adalah melakukan *plotting* pada kurva pompa *submersible*. Pada perencanaan intake ini digunakan pompa *submersible* merek Ebara. Hasil *plotting* di kurva pompa dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Dari hasil *plotting* tersebut diperoleh tipe pompa 80DSA53.7. Dari tipe tersebut dapat diketahui hal-hal berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pompa} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Diameter pipa } \textit{discharge} \text{ pompa} &= 80 \text{ mm} \\ \text{Versi pompa} &= \text{DSA (automatic version)} \\ \text{Frekuensi} &= 53 \text{ Hz} \\ \text{Motor output} &= 7 \text{ kW} \end{aligned}$$



## 4.6 Perencanaan *Holding Tank*

### 4.4.6 Umum

*Holding tank*  diperlukan untuk menampung kebutuhan air selama operasional 1 hari dan mengatasi fluktuasi debit.  *Holding tank*  berjumlah 2 bak agar dapat digunakan secara bergantian apabila dilakukan proses pemeliharaan. Dalam perencanaan  *holding tank* , dilakukan perhitungan pada saat kedua  *holding tank*  sedang sama-sama beroperasi dan perhitungan ketika hanya beroperasi salah satu sehingga dapat diketahui perlakuan yang harus dilakukan terhadap proses operasional apabila dilakukan pemeliharaan untuk salah satu  *holding tank* . Air dari  *holding tank*  akan disalurkan ke unit selanjutnya yaitu unit Rapid Sand Filter Dual Media.

### 4.4.7 Perhitungan Dimensi *Holding Tank*

Pada perencanaan bangunan  *holding tank*  data yang diperlukan adalah debit yang akan diolah. Selain itu, juga ada beberapa variabel yang direncanakan seperti jumlah bak,  *freeboard* , tebal dinding, dan waktu detensi. Berikut adalah perhitungan dimensi  *holding tank* :

#### Data yang diperlukan:

Debit = 2700 m<sup>3</sup>/hari  
= 31,3 L/detik

#### Direncanakan:

Jumlah bak = 2 bak  
Freeboard (fb) = 0,5 m  
Tebal dinding = 0,20 m  
Waktu detensi = 20 menit  
= 1200 detik  
Kedalaman (H<sub>air</sub>) = 2 m

#### Perhitungan:

Debit tiap bak (Q) = debit : jumlah bak  
= 31,3 L/detik : 2  
= 15,63 L/detik  
= 0,016 m<sup>3</sup>/detik

$$\begin{aligned} \text{Volume bak (V)} &= \text{debit} : \text{waktu detensi} \\ &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} : 1200 \text{ detik} \\ &= 19 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman total (H)} &= H_{\text{air}} + f_b \\ &= 2 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan bak} &= \text{Volume} : H_{\text{air}} \\ &= 19 \text{ m}^3 : 2 \text{ m} \\ &= 9,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar} &= \sqrt{\frac{\text{luas permukaan bak}}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{9,4 \text{ m}}{2}} \\ &= 2,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar total (L)} &= \text{lebar} + 2 \times \text{tebal dinding} \\ &= 2,2 \text{ m} + 2 \times (0,2 \text{ m}) \\ &= 2,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 2 \times \text{lebar} \\ &= 2 \times 2,2 \text{ m} \\ &= 4,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total} &= \text{panjang} + 2 \times \text{tebal dinding} \\ &= 4,3 \text{ m} + 2 \times 0,2 \text{ m} \\ &= 4,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh dimensi *holding tank* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang bak} &= 4,7 \text{ m} \\ \text{Lebar bak} &= 2,6 \text{ m} \\ \text{Kedalaman bak} &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan pada saat hanya satu unit *holding tank* yang beroperasi agar dapat diketahui berapa

waktu detensi yang dibutuhkan. Berikut adalah perhitungan waktu detensi apabila hanya satu unit *holding tank* yang beroperasi.

$$\begin{aligned}
 \text{Debit tiap bak} &= \text{debit (Q)} \\
 &= 31,3 \text{ L/detik} \\
 &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Volume bak (V)} &= 19 \text{ m}^3 \\
 \text{Waktu detensi (td)} &= \text{volume bak : debit} \\
 &= 19 \text{ m}^3 : 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 600 \text{ detik} \\
 &= 10 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai waktu detensi sebesar 10 menit untuk holding tank pada saat hanya beroperasi 1 unit saja.

#### 4.4.3 Perencanaan Pipa *Inlet*

Inlet pada holding tank menggunakan pipa karena diperlukan adanya pemompaan dari bak efluen ke holding tank. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC. Kecepatan aliran direncanakan 1 m/detik. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q)} &= 31,3 \text{ L/detik} \\
 &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/detik} \\
 \text{Luas melintang pipa} &= Q : v \\
 &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} : 1 \text{ m/detik} \\
 &= 0,0313 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{luas melintang pipa}}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0313 \text{ m}^2}{3,14}} \\
 &= 0,199 \text{ m} \\
 &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diameter pipa adalah 200 mm. Kemudian, hasil perhitungan ini disesuaikan dengan diameter pipa PVC merek Rucika di pasaran, sehingga diameter pipa yang

digunakan adalah 216 mm. Kemudian, dilakukan perhitungan untuk mengecek kecepatan aliran.

$$\begin{aligned} \text{Cek kecepatan aliran} &= \text{debit} : (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} : (0,25 \times 3,14 \times 0,216^2) \\ &= 0,85 \text{ m/detik (OK!)} \end{aligned}$$

#### 4.4.4 Perencanaan Saluran *Outlet*

Perbandingan ukuran lebar dan kedalaman dari saluran outlet adalah 1 dan panjang saluran 1 m. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Debit} &= 1,375 L \times h^{3/2} \\ &= 1,375 \times h \times h^{3/2} \\ &= 1,375 \times h^{5/2} \end{aligned}$$

$$h^{5/2} = 0,02 \text{ m}$$

$$h = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman air (h)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (fb)} = 0,15 \text{ m}$$

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

$$= 0,3 \text{ m} + 0,15 \text{ m}$$

$$= 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = \text{kedalaman air}$$

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

$$\text{Tebal dinding saluran} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Lebar total} = \text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding saluran})$$

$$= 0,3 \text{ m} + (2 \times 0,15 \text{ m})$$

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

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan (V)} = \text{debit} : (\text{lebar} \times \text{kedalaman air})$$

$$= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} : (0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m})$$

$$= 0,35 \text{ m/detik}$$

Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa dimensi lebar dan kedalaman saluran outlet dari unit holding tank adalah 0,3 m dan memiliki kecepatan aliran 0,35 m/detik. Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* seperti berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Kekasaran (n)} &= 0,015 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= \text{lebar} \times \text{kedalaman} \\
&= 0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\
&= 0,09 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Slope} &= \left( \frac{v \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \\
&= \left( \frac{0,35 \times 0,015}{0,04^{2/3}} \right)^2 \\
&= 0,001
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_f &= \text{slope} \times L \\
&= 0,001 \times 1 \text{ m} \\
&= 0,001 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Head kecepatan} &= v^2 : 2g \\
&= (0,35 \text{ m/detik})^2 : (2 \times 9,81 \text{ m/detik}^2) \\
&= 0,006 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss total} &= H_f + h_v \\
&= 0,001 \text{ m} + 0,006 \text{ m} \\
&= 0,007 \text{ m} \\
&= 0,7 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa *headloss* dari saluran outlet holding tank adalah 0,7 cm.

## 4.5 Perencanaan *Rapid Sand Filter*

### 4.5.1 Umum

Jenis filter yang digunakan adalah *Rapid Sand Filter Dual Media*. Dalam perencanaan ini digunakan *dual media* karena dapat memperpanjang kerja filter sehingga periode *backwash* juga semakin lama. Media yang digunakan adalah media pasir dan antrasit. Media pasir terletak di bawah media antrasit. Hal ini dikarenakan massa jenis pasir lebih berat daripada massa jenis antrasit sehingga diharapkan ketika proses *backwashing*, media yang paling atas dapat terangkat akibat adanya getaran dari media

dibawahnya sehingga flok-flok yang menempel pada media filter dapat dibersihkan. Selain itu, diharapkan setelah proses *backwash*, media antrasit dapat mengendap terlebih dahulu. Diameter media antrasit lebih besar daripada media pasir agar *clogging* tidak mudah terjadi sehingga dapat memperpanjang umur *filter*. Pada perencanaan ini digunakan sistem *direct filtration* karena kekeruhan dari air baku kurang dari 10 NTU yaitu hanya 4,3 NTU. Kriteria desain *Rapid Sand Filter* pada sistem *direct filtration* sama dengan perencanaan *rapid sand filter* pada umumnya.

Secara umum, dasar perencanaan *Rapid Sand Filter Dual Media* dapat dilihat pada **Tabel 4.30**. Sementara, dasar perencanaan media *filter dual media* untuk pengolahan air dapat dilihat pada **Tabel 4.31**.

**Tabel 4.30. Kriteria Desain Rapid Sand Filter**

No	Unit	Satuan	Nilai Unit (Saringan Biasa /Gravitasi)
1.	Kecepatan penyaringan	m/jam	6-11
2.	Pencucian: - Sistem pencucian  - Kecepatan - Lama pencucian - Periode antara dua pencucian - Ekspansi	m/jam) menit jam %	Tanpa/dengan blower dan atau surface <i>backwash</i> 36 - 50 10 – 15 18 – 24 30 - 50
3.	Dasar filter 1) Lapisan penyangga dari atas ke bawah - Kedalaman Ukuran butir - Kedalaman Ukuran butir - Kedalaman Ukuran butir - Kedalaman Ukuran butir 2) Filter nozel - Lebar slot nozel - Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter	mm mm mm mm mm mm mm mm mm mm mm %	80 -100 2 - 5 80 – 100 5 - 10 80 – 100 10 - 15 80 – 150 15 – 30 < 0,5 >4%

Sumber: SNI 6774, 2008

**Tabel 4.31. Kriteria Desain *Dual Media Filter***

Karakteristik	Nilai	
	Rentang	Tipikal
Antrasit		
- Kedalaman (mm)	460 – 610	610
- ES (mm)	0,9 – 1,1	1,0
- UC	1,6 – 1,8	1,7
Pasir		
- Kedalaman (mm)	150 – 205	150
- ES (mm)	0,45 – 0,55	0,5
- UC	1,5 – 1,7	1,6
Rate Filtrasi (L/detik.m <sup>2</sup> )	2,04 – 5,44	3,4

Sumber: Reynolds dan Richards, 1996

#### 4.5.2 Perhitungan Dimensi Bak Filter

Setelah diketahui kriteria desain *Rapid Sand Filter Dual Media*, maka dilakukan perhitungan perencanaan unit sebagai berikut:

##### Data Yang Diperlukan:

Debit (Q) = 31,3 L/detik  
= 0,0313 m<sup>3</sup>/detik

##### Direncanakan:

Bak filter berbentuk persegi  
Kecepatan penyaringan ( $v_0$ ) = 6 m/jam  
Sistem pencucian = *backwash*  
Panjang = lebar  
Tebal dinding = 0,2 m

##### Perhitungan:

Dalam merencanakan bak filter, jumlah bak yang diperlukan dihitung menggunakan rumus seperti berikut:

Jumlah bak =  $0,25 \times Q^{0,5}$   
=  $0,25 \times (0,0313 \text{ m}^3/\text{detik})^{0,5}$   
= 3 bak

Berdasarkan perhitungan, jumlah bak filter yang dibutuhkan dalam perencanaan ini adalah 3 bak. Namun, dengan

memperhatikan kualitas air baku yang sudah bagus sehingga periode backwash akan panjang maka cukup digunakan 2 bak filter. Debit untuk tiap bak filter adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Debit tiap bak} &= Q : \text{jumlah bak} \\ &= 0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} : 2 \\ &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan luas permukaan menggunakan data debit dan kecepatan filtrasi sehingga dapat diperoleh dimensi dari bak filter.

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan} &= \text{debit tiap bak} : \text{kecepatan filtrasi} \\ &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} : 6 \text{ m/jam} \\ &= 9,38 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar} &= \sqrt{\text{luas permukaan}} \\ &= \sqrt{9,38 \text{ m}^2} \\ &= 3,1 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar total} &= \text{lebar} + 2 \times \text{tebal dinding} \\ &= 3,1 \text{ m} + (2 \times 0,2 \text{ m}) \\ &= 3,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang} &= \text{lebar} \\ &= 3,1 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang total} &= \text{lebar total} \\ &= 3,5 \text{ m}\end{aligned}$$

Setelah diperoleh dimensi dari bak *filter*, kemudian dilakukan pengecekan terhadap kecepatan filtrasi.

$$\begin{aligned}\text{Cek } v_0 &= \text{debit tiap bak} : \text{luas permukaan} \\ &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} : 9,38 \text{ m}^2 \\ &= 6 \text{ m/jam} \quad \text{(OK!)}\end{aligned}$$

Selain dilakukan pengecekan kecepatan filtrasi ( $v_0$ ) pada saat kedua bak sama-sama beroperasi, juga dilakukan pengecekan pada saat salah satu bak sedang proses backwashing.

Jumlah bak = 1 bak  
Debit =  $0,0313 \text{ m}^3/\text{detik}$   
Luas permukaan =  $9,38 \text{ m}^2$

Cek  $v_0$  = debit : luas permukaan  
=  $0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} : 9,38 \text{ m}^2$   
=  $12 \text{ m}/\text{jam}$  (**mendekati kriteria**)

Berdasarkan hasil perhitungan, kecepatan filtrasi pada saat hanya salah satu bak yang beroperasi sedikit melebihi kriteria desain. Namun, hal ini dapat diantisipasi dengan mengurangi debit pengolahan selama proses backwash yaitu 10 menit. Pengurangan debit dilakukan dengan menampung air terlebih dahulu di *holding tank*.

#### 4.5.3 Perhitungan *Headloss Media Filter*

Media *filter* yang digunakan dalam perencanaan ini adalah media pasir dan media antrasit. Sementara, untuk media penyangga menggunakan kerikil. Berikut adalah perhitungan *headloss* dari setiap media tersebut.

##### **Headloss Media Pasir**

Data yang diperlukan untuk menghitung *headloss* media pasir adalah data suhu air yaitu  $27^\circ\text{C}$ . Dengan data tersebut, dapat diketahui nilai variabel perencanaan yang lain yaitu sebagai berikut:

Viskositas absolut ( $\mu$ ) =  $0,000855 \text{ N}\cdot\text{detik}/\text{m}^2$   
Viskositas kinematis ( $\nu$ ) =  $0,000008581 \text{ m}^2/\text{detik}$   
Densitas air ( $\rho$ ) =  $0,99654 \text{ g}/\text{cm}^3$   
Gravitasi bumi ( $g$ ) =  $9,81 \text{ m}/\text{detik}^2$

Selain itu, beberapa variabel perencanaan telah direncanakan terlebih dahulu. Penentuan nilai dari beberapa

variabel tersebut menggunakan nilai tipikal dari kriteria desain yang ada.

Kedalaman media	= 150 mm
Effective size (ES)	= 0,5 mm
Uniformity Coefficient (UC)	= 1,7
Spesific gravity (Sg)	= 2,65
Porositas media ( $\epsilon$ )	= 0,42
Faktor bentuk ( $\Psi$ )	= 0,82
Ukuran butir (d)	= 0,5 mm

Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* media pasir seperti berikut:

Bilangan Reynold ( $N_{re}$ )

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\omega \cdot p \cdot d \cdot v_o}{\mu} \\
 &= \frac{0,82 \cdot 2,099654 \text{ g/cm}^3 \cdot 0,5 \text{ mm} : 10 \cdot 6 \text{ m/jam} \times 100 : 3600}{0,000855 \text{ N.detik/m}^2} \\
 &= 7,96
 \end{aligned}$$

Nilai  $N_{re}$  berada di range  $1 > N_{re} > 10^4$ , maka perhitungan nilai koefisien drag untuk *headloss* media pasir adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien drag (C}_D) &= \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34 \\
 &= \frac{24}{7,96} + \frac{3}{\sqrt{7,96}} + 0,34 \\
 &= 4,42
 \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* media pasir dengan menggunakan Persamaan Rose dan Persamaan Carman Kozeny.

$$\begin{aligned}
 hL \text{ (Rose)} &= 1,067 \frac{C_D \times L \times v_o^2}{\omega \times d \times \epsilon^4 \times g} \\
 &= 1,067 \frac{4,42 \times 15 \text{ cm} \times (6 \times 100 : 3600)^2}{0,82 \times 0,5 : 10 \times 0,42^4 \times 981} \\
 &= 1,6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f' &= 150 \frac{(1-\varepsilon)}{N_{re}} + 1,75 \\
 &= 150 \frac{(1-0,42)}{7,96} + 1,75 \\
 &= 12,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 hL \text{ (Carman Kozeny)} &= f' \frac{L}{\omega \times d} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{v_a^2}{g} \\
 &= 12,7 \frac{15 \text{ cm}}{0,82 \times 0,05 \text{ cm}} \frac{(1-0,42)}{0,42^3} \frac{(6 \times 100 : 3600)^2}{981} \\
 &= 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *headloss* media pasir dengan menggunakan Persamaan Rose adalah sebesar 1,6 cm. Sementara, nilai *headloss* dengan menggunakan Persamaan Carman Kozeny adalah sebesar 1 cm.

### **Headloss Media Antrasit**

Data yang diperlukan untuk menghitung *headloss* media antrasit adalah data suhu air yaitu 27°C. Dengan data tersebut, dapat diketahui nilai variabel perencanaan yang lain yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Viskositas absolut } (\mu) &= 0,000855 \text{ N.detik/m}^2 \\
 \text{Viskositas kinematis } (\nu) &= 0,000008581 \text{ m}^2/\text{detik} \\
 \text{Densitas air } (\rho) &= 0,99654 \text{ g/cm}^3 \\
 \text{Gravitasi bumi } (g) &= 9,81 \text{ m/detik}^2
 \end{aligned}$$

Selain itu, beberapa variabel perencanaan telah direncanakan terlebih dahulu. Penentuan nilai dari beberapa variabel tersebut menggunakan nilai tipikal dari kriteria desain yang ada.

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman media} &= 610 \text{ mm} \\
 \text{Effective size (ES)} &= 0,5 \text{ mm} \\
 \text{Uniformicity Coefficient (UC)} &= 1,7 \\
 \text{Spesific gravity (Sg)} &= 1,3 \\
 \text{Porositas media } (\varepsilon) &= 0,48 \\
 \text{Faktor bentuk } (\Psi) &= 0,55 \\
 \text{Ukuran butir } (d) &= 1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* media antrasit seperti berikut:

Bilangan Reynold ( $N_{re}$ )

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\omega \cdot p \cdot d \cdot v_o}{\mu} \\
 &= \frac{0,55 \cdot 0,99654 \text{ g/cm}^3 \cdot 1 \text{ mm} : 10 \cdot 6 \text{ m/jam} \times 100 : 3600}{0,000855 \text{ N.detik/m}^2} \\
 &= 10,68
 \end{aligned}$$

Nilai  $N_{re}$  berada di range  $1 > N_{re} > 10^4$ , maka perhitungan nilai koefisien drag untuk *headloss* media antrasit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien drag } (C_D) &= \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34 \\
 &= \frac{24}{10,68} + \frac{3}{\sqrt{10,68}} + 0,34 \\
 &= 3,5
 \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* media antrasit dengan menggunakan Persamaan Rose dan Persamaan Carman Kozeny.

$$\begin{aligned}
 h_L \text{ (Rose)} &= 1,067 \frac{C_D \times L \times v_o^2}{\omega \times d \times \epsilon^4 \times g} \\
 &= 1,067 \frac{3,5 \times 61 \text{ cm} \times (6 \times 100 : 3600)^2}{0,55 \times 1 : 10 \times 0,48^4 \times 981} \\
 &= 2,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f' &= 150 \frac{(1-\epsilon)}{N_{re}} + 1,75 \\
 &= 150 \frac{(1-0,48)}{10,68} + 1,75 \\
 &= 9,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_L \text{ (Carman Kozeny)} &= f' \frac{L}{\omega \times d} \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \frac{v_a^2}{g} \\
 &= 9,1 \frac{61 \text{ cm}}{0,55 \times 0,1 \text{ cm}} \frac{(1-0,48)}{0,48^3} \frac{(6 \times 100 : 3600)^2}{981} \\
 &= 1,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *headloss* media antrasit dengan menggunakan Persamaan Rose adalah sebesar 2,2 cm. Sementara, nilai *headloss* dengan menggunakan Persamaan Carman Kozeny adalah sebesar 1,3 cm.

### **Headloss Media Penyangga**

Data yang diperlukan untuk menghitung *headloss* media kerikil adalah data suhu air yaitu 27°C. Dengan data tersebut, dapat diketahui nilai variabel perencanaan yang lain yaitu sebagai berikut:

Viskositas absolut ( $\mu$ ) = 0,000855 N.detik/m<sup>2</sup>  
 Viskositas kinematis ( $\nu$ ) = 0,000008581 m<sup>2</sup>/detik  
 Densitas air ( $\rho$ ) = 0,99654 g/cm<sup>3</sup>  
 Gravitasi bumi ( $g$ ) = 9,81 m/detik<sup>2</sup>

Selain itu, beberapa variabel perencanaan telah direncanakan terlebih dahulu. Penentuan nilai dari beberapa variabel tersebut menggunakan nilai tipikal dari kriteria desain yang ada.

Kedalaman media = 300 mm  
 Spesific gravity (Sg) = 2,65  
 Porositas media ( $\epsilon$ ) = 0,38  
 Faktor bentuk ( $\Psi$ ) = 0,83  
 Ukuran butir ( $d$ ) = 10 mm

Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* media kerikil seperti berikut:

Bilangan Reynold ( $N_{re}$ )

$$= \frac{\omega.p.d.v_o}{\mu}$$

$$= \frac{0,83 \cdot 0,99654 \text{ g/cm}^3 \cdot 10 \text{ mm} : 10 \cdot 6 \text{ m/jam} \times 100 : 3600}{0,000855 \text{ N.detik/m}^2}$$

$$= 241,82$$

Nilai  $N_{re}$  berada di range  $1 > N_{re} > 10^4$ , maka perhitungan nilai koefisien drag untuk *headloss* media kerikil adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien drag (C}_D) &= \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34 \\
&= \frac{24}{241,82} + \frac{3}{\sqrt{241,82}} + 0,34 \\
&= 0,63
\end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* media kerikil dengan menggunakan Persamaan Rose dan Persamaan Carman Kozeny.

$$\begin{aligned}
hL \text{ (Rose)} &= 1,067 \frac{C_D \times L \times v_o^2}{\omega \times d \times \varepsilon^4 \times g} \\
&= 1,067 \frac{0,63 \times 30 \text{ cm} \times (5,07 \times 100 : 3600)^2}{0,83 \times 10 : 10 \times 0,38^4 \times 981} \\
&= 0,02 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f' &= 150 \frac{(1-\varepsilon)}{N_{re}} + 1,75 \\
&= 150 \frac{(1-0,38)}{241,82} + 1,75 \\
&= 2,1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
hL \text{ (Carman Kozeny)} &= f' \frac{L}{\omega \times d} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{v_a^2}{g} \\
&= 2,1 \frac{30 \text{ cm}}{0,83 \times 1 \text{ cm}} \frac{(1-0,38)}{0,38^3} \frac{(6 \times 100 : 3600)^2}{981} \\
&= 0,016 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *headloss* media kerikil dengan menggunakan Persamaan Rose adalah sebesar 0,02 cm. Sementara, nilai *headloss* dengan menggunakan Persamaan Carman Kozeny adalah sebesar 0,016 cm.

#### 4.5.4. Perhitungan Ekspansi Media Saat *Backwashing*

Perhitungan ekspansi media saat *backwashing* diperlukan untuk mengetahui tinggi ekspansi tiap media sehingga dapat diperoleh dimensi kedalaman dari bak filter.

#### Ekspansi Media Penyangga (Kerikil)

Ekspansi tidak boleh terjadi pada media penyangga saat proses *backwash*. Untuk mengetahui apakah terjadi ekspansi di

media penyangga, maka dilakukan perhitungan kecepatan pengendapan partikel dan kecepatan *backwash* agar diketahui perbandingannya.

Langkah pertama adalah melakukan perhitungan kecepatan pengendapan partikel dengan menggunakan metode iterasi. Kecepatan pengendapan partikel ( $v_s$ ) dimisalkan 15 cm/detik. Berikut perhitungannya pada **Tabel 4.32**.

**Tabel 4.32. Perhitungan Iterasi Nilai  $N_{re}$ ,  $C_D$ , dan  $v_s$  Media Kerikil**

$N_{re}$	$C_D$	$v_s$ (m/detik)
$(\Psi \cdot p \cdot d \cdot v_o) / \mu$	$(24/N_{re}) + (3/\sqrt{N_{re}}) + 0,34$	$((4g/3CD) \times (S_s - 1)d)^{1/2}$
2176398,61	0,34	0,972859507
141155,34	0,35	0,964284456
139911,16	0,35	0,964233308
139903,74	0,35	0,964233
139903,69	0,35	0,964232999
139903,69	0,35	0,964232999

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{re} &= 139.903 \\ C_D &= 0,35 \\ v_s &= 0,96 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Lalu, dilakukan perhitungan kecepatan *backwash* seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan } backwash (v_B) &= v_s \times \mathcal{E}^{4,5} \\ &= 0,96 \text{ m/detik} \times 0,38^{4,5} \\ &= 0,012 \text{ m/detik} \\ &= 44,62 \text{ m/jam (OK!)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa kecepatan *backwash* lebih kecil daripada kecepatan pengendapan kerikil. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi ekspansi pada media kerikil saat proses *backwash*.

### Ekspansi Media Pasir

Perhitungan ekspansi media pasir diawali dengan menghitung kecepatan pengendapan media pasir terlebih dahulu.

Untuk mengetahui kecepatan pengendapan media pasir dilakukan dengan menggunakan metode iterasi. Kecepatan pengendapan pertama dimisalkan 15 cm/detik. Metode iterasi untuk mendapat kecepatan pengendapan media pasir dapat dilihat pada **Tabel 4.33** berikut.

**Tabel 4.33. Perhitungan Iterasi Nilai  $N_{re}$ ,  $C_D$ , dan  $v_s$  Media Pasir**

$N_{re}$	$C_D$	$v_s$ (m/detik)
$(\Psi \cdot p \cdot d \cdot v_o) / \mu$	$(24/N_{re}) + (3/\sqrt{N_{re}}) + 0,34$	$((4g/3C_D) \times (S_s - 1)d)^{1/2}$
71672,56	0,35	0,17520
837,15	0,47	0,15115
722,20	0,48	0,14918
712,82	0,49	0,14900
711,97	0,49	0,14899
711,89	0,49	0,14899
711,88	0,49	0,14899
711,88	0,49	0,14899

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{re} &= 711,88 \\ C_D &= 0,49 \\ v_s &= 0,15 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Kecepatan *backwash* adalah sama dengan kecepatan *backwash* media penyangga yaitu 0,012 m/detik atau 44,62 m/jam. Sehingga debit *backwash* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Debit } backwash &= v_B \times 1000 \text{ L/m}^3 \\ &= 0,012 \text{ m/detik} \times 1000 \text{ L/m}^3 \\ &= 12,39 \text{ L/detik.m}^2 \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan tinggi ekspansi media pasir. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan tekanan saat awal } backwash &= (S_g - 1) \times (1 - \varepsilon) \times L \\ &= (2,65 - 1) \times (1 - 0,42) \times 0,15 \text{ m} \\ &= 0,14 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Porositas saat ekspansi } (\epsilon_e) &= (v_B : v_s)^{0,22} \\
 &= (0,012 \text{ m/detik} : 0,15 \text{ m/detik}) \\
 &= 0,58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi ekspansi media } (L_e) &= L \frac{(1-\epsilon)}{(1-\epsilon_e)} \\
 &= 0,15 \text{ m} \frac{(1-0,42)}{(1-0,58)} \\
 &= 0,21 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio ekspansi} &= L_e : L \\
 &= 0,21 \text{ m} : 0,15 \text{ m} \\
 &= 1,37 \\
 &= 37,65\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui bahwa tinggi ekspansi media pasir pada saat *backwash* adalah 0,21 m. Maka, rasio ekspansi media pasir saat *backwash* dengan tinggi media pasir saat proses operasional normal adalah sebesar 37,65%.

### Ekspansi Media Antrasit

Perhitungan ekspansi media antrasit diawali dengan menghitung kecepatan pengendapan media antrasit terlebih dahulu. Untuk mengetahui kecepatan pengendapan media antrasit dilakukan dengan menggunakan metode iterasi. Kecepatan pengendapan pertama dimisalkan 15 cm/detik. Metode iterasi untuk mendapat kecepatan pengendapan media antrasit dapat dilihat pada **Tabel 4.22** berikut.

**Tabel 4.34. Perhitungan Iterasi Nilai  $N_{re}$ ,  $C_D$ , dan  $v_s$  Media Antrasit**

$N_{re}$	$C_D$	$v_s$ (m/detik)
$(\Psi \cdot p \cdot d \cdot v_o) / \mu$	$(24/N_{re}) + (3/\sqrt{N_{re}}) + 0,34$	$((4g/3C_D) \times (S_s - 1)d)^{1/2}$
96146,12	0,35	0,1756
1125,60	0,45	0,1547
991,76	0,46	0,1533
982,31	0,46	0,1531
981,57	0,46	0,1531
981,51	0,46	0,1531
981,51	0,46	0,1531

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai sebagai berikut:

$$N_{re} = 981,51$$

$$C_D = 0,46$$

$$v_s = 0,15 \text{ m/detik}$$

Kecepatan *backwash* adalah sama dengan kecepatan *backwash* media penyangga yaitu 0,012 m/detik atau 44,62 m/jam. Sehingga debit *backwash* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Debit } backwash &= v_B \times 1000 \text{ L/m}^3 \\ &= 0,012 \text{ m/detik} \times 1000 \text{ L/m}^3 \\ &= 12,39 \text{ L/detik.m}^2 \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan tinggi ekspansi media antrasit. Berikut perhitungannya:

Kehilangan tekanan saat awal *backwash*

$$\begin{aligned} &= (S_g - 1) \times (1 - \epsilon) \times L \\ &= (1,3 - 1) \times (1 - 0,48) \times 0,61 \text{ m} \\ &= 0,11 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porositas saat ekspansi } (\epsilon_e) &= (v_B : v_s)^{0,22} \\ &= (0,012 \text{ m/detik} : 0,15 \text{ m/detik}) \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi ekspansi media } (L_e) &= L \frac{(1 - \epsilon)}{(1 - \epsilon_e)} \\ &= 0,61 \text{ m} \frac{(1 - 0,48)}{(1 - 0,58)} \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio ekspansi} &= L_e : L \\ &= 0,75 \text{ m} : 0,61 \text{ m} \\ &= 1,224 \\ &= 22,4\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui bahwa tinggi ekspansi media antrasit pada saat *backwash* adalah 0,75 m. Maka, rasio ekspansi media antrasit saat *backwash* dengan tinggi media antrasit saat proses operasional normal adalah sebesar 22,4%.

### **Ekspansi Total Media Filter**

Setelah diketahui tinggi ekspansi dari setiap media, maka dilakukan perhitungan ekspansi total media filter sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Total tinggi ekspansi media} &= L_e \text{ (pasir+antrasit)} \\ &= 0,21 \text{ m} + 0,75 \text{ m} \\ &= 0,95 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman total media} &= L \text{ (pasir+antrasit)} \\ &= 0,15 \text{ m} + 0,61 \text{ m} \\ &= 0,76 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Persentase ekspansi total} &= (L_e - L) : L \\ &= (0,95 \text{ m} - 0,76 \text{ m}) : 0,76 \text{ m} \\ &= 25,41\%\end{aligned}$$

### **Volume Air untuk *Backwash***

Data yang diperlukan untuk perhitungan volume air *backwash* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}v_B &= 0,012 \text{ m/detik} \\ \text{Panjang bak} &= 3,1 \text{ m} \\ \text{Lebar bak} &= 3,1 \text{ m} \\ \text{Luas permukaan bak} &= 9,38 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Kemudian, merencanakan lama pencucian (t) atau waktu *backwash* selama 10 menit atau 600 detik. Sehingga volume air untuk *backwash* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Volume air untuk } \textit{backwash} & \\ = v_B \times \text{luas permukaan bak} \times t & \\ = 0,012 \text{ m/detik} \times 9,38 \text{ m}^2 \times 600 \text{ detik} & \\ = 70 \text{ m}^3 &\end{aligned}$$

Volume air yang dibutuhkan untuk proses *backwash* adalah sebesar 70 m<sup>3</sup>.

### **4.5.5 Perencanaan *Gutter***

Salah satu bagian dari bak filter adalah *gutter*. Dalam perencanaan *gutter* diperlukan beberapa data sebagai berikut:

Debit tiap bak (Q) = 0,016 m<sup>3</sup>/detik  
Total tinggi ekspansi media filter = 0,95 m

Kemudian, beberapa variabel direncanakan yaitu sebagai berikut:

Panjang *gutter* = panjang bak  
= 3,1 m  
Angka aman = 0,3 m  
Tebal dinding = 0,04 m  
Kedalaman = 0,1 m  
Kecepatan aliran = 0,1 m/detik  
Lebar = kedalaman

Maka, perhitungan dimensi *gutter* adalah sebagai berikut:

Tinggi lokasi *gutter*  
= kedalaman media filter + kedalaman media penyangga + total  
tinggi ekspansi media + angka aman  
= 0,15 m + 0,3 m + 0,95 m + 0,3 m  
= 2,4 m

Lebar = Q : (panjang x kedalaman *gutter*)  
= 0,016 m<sup>3</sup>/detik : (3,5 m x 0,1 m)  
= 0,3 m

Kedalaman = lebar  
= 0,3 m

#### 4.5.6 Perencanaan Sistem *Underdrain*

Sistem *underdrain* bak filter terdiri dari pipa *manifold*, pipa lateral, dan orifice. Sistem *underdrain* ini berfungsi sebagai penyalur efluen bak filter untuk dialirkan ke unit selanjutnya.

#### Pipa *Manifold*

Dalam merencanakan pipa *manifold*, diperlukan beberapa data seperti berikut:

Volume air untuk *backwash* = 70 m<sup>3</sup>  
Lama pencucian (t) = 10 menit

Kemudian, terdapat beberapa variabel perencanaan yang perlu direncanakan, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran di } manifold (v_M) &= 2,5 \text{ m/detik} \\ \text{Jarak ujung } manifold \text{ dan dinding} &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Lalu, dilakukan perhitungan untuk perencanaan pipa *manifold* seperti menghitung panjang pipa *manifold* yang dibutuhkan dan menentukan diameter pakai pipa *manifold*. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Panjang pipa } manifold & \\ = \text{panjang bak} - \text{jarak ujung } manifold \text{ dan dinding} & \\ = 3,1 \text{ m} - 0,2 \text{ m} & \\ = 2,9 \text{ m} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit } backwash (Q_b) &= \text{volume air } backwash : t \\ &= 70 \text{ m}^3 : 600 \text{ detik} \\ &= 0,12 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan pipa } manifold &= Q_b : v_M \\ &= 0,12 \text{ m}^3/\text{detik} : 2,5 \text{ m/detik} \\ &= 0,05 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{\text{luas permukaan pipa } manifold}{\pi}} \times 4 \\ &= \sqrt{\frac{0,05 \text{ m}^2}{3,14}} \times 4 \\ &= 0,24 \text{ m} \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka diameter pipa yang diperlukan adalah 243 mm. Kemudian, hasil perhitungan diameter pipa ini disesuaikan dengan diameter pipa merek Rucika di pasaran. Sehingga diameter pipa *manifold* yang digunakan adalah 267 mm. Kemudian, dilakukan pengecekan kecepatan aliran di pipa *manifold*. Jika kecepatan aliran yang dihasilkan tidak jauh berbeda dari kecepatan aliran yang telah direncanakan, maka diameter pipa tersebut dapat digunakan.

$$\begin{aligned}
\text{Cek } v_M &= Q : (0,25 \pi D^2) \\
&= 0,12 \text{ m}^3/\text{detik} : (0,25 \times 3,14 \times 0,267 \text{ m}) \\
&= 2,08 \text{ m/detik} \quad (\mathbf{OK!})
\end{aligned}$$

### Pipa Lateral

Dalam merencanakan pipa *manifold*, diperlukan beberapa variabel perencanaan yang perlu direncanakan, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Jarak antar pipa lateral} &= 0,2 \text{ m} \\
\text{Jarak ujung lateral dengan dinding} &= 0,2 \text{ m}
\end{aligned}$$

Lalu, dilakukan perhitungan untuk perencanaan pipa lateral seperti menentukan diameter pakai pipa lateral, jumlah pipa lateral, dan menghitung panjang pipa lateral yang dibutuhkan. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}
\text{Diameter pipa} &= 0,25 \times \text{diameter pipa } manifold \\
&= 0,25 \times 267 \text{ mm} \\
&= 67 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka diameter pipa yang diperlukan adalah 67 mm. Kemudian, hasil perhitungan diameter pipa ini disesuaikan dengan diameter pipa merek Rucika di pasaran. Sehingga diameter pipa lateral yang digunakan adalah 60 mm.

Kemudian, dilakukan perhitungan terhadap jumlah pipa lateral dan panjang pipa yang dibutuhkan. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah pipa lateral} &= 2 \times ((\text{panjang pipa } manifold - \text{jarak antar pipa lateral}) : (\text{d} + \text{jarak antar pipa lateral})) \\
&= 2 \times ((2,9 \text{ m} - 0,2) : (0,06 \text{ m} + 0,2 \text{ m})) \\
&= 20 \text{ pipa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit tiap pipa} &= Q_{manifold} : \text{jumlah pipa lateral} \\
&= 0,12 \text{ m}^3/\text{detik} : 20 \\
&= 0,0057 \text{ m}^3/\text{detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang tiap pipa} &= 0,25 \pi D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 0,6^2 \\ &= 0,003 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total luas penampang pipa} &= \text{luas penampang tiap pipa} \times \text{jumlah pipa} \\ &= 0,003 \text{ m}^2 \times 20 \\ &= 0,058 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran di lateral } (v_L) &= Q_{\text{lateral}} : \text{luas penampang tiap pipa} \\ &= 0,0057 \text{ m}^3/\text{detik} : 0,003 \text{ m}^2 \\ &= 2,01 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang pipa} &= \left(\frac{1}{2} \times L\right) - \left(\frac{1}{2} \times d_{\text{manifold}}\right) - \text{jarak antara ujung lateral dengan dinding} \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 3,1 \text{ m}\right) - \left(\frac{1}{2} \times 0,267 \text{ m}\right) - 0,2 \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka panjang pipa lateral adalah 1,2 m.

### Orifice

Orifice adalah bagian terkecil dari sistem underdrain bak filter. Aliran air dari media filter pasir akan masuk ke pipa lateral melalui orifice. Dalam perencanaan orifice, terdapat beberapa variabel yang perlu direncanakan berdasarkan kriteria desain yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diameter orifice} &= 1,5 \text{ cm} \\ \text{Luas orifice : luas filter} &= 0,005 \end{aligned}$$

Kemudian, dilakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah orifice di tiap pipa lateral. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Luas lubang orifice} &= 0,25 \pi D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (0,015 \text{ m})^2 \\ &= 0,000176 \text{ m}^2 \\ \text{Luas total orifice} &= 0,005 \times \text{luas filter} \\ &= 0,005 \times 9,38 \text{ m}^2 \\ &= 0,047 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jumlah total orifice tiap filter  
 = luas total orifice : luas lubang orifice  
 =  $0,047 \text{ m}^2 : 0,000176 \text{ m}^2$   
 = 265 orifice

Jumlah orifice tiap lateral  
 = jumlah total orifice : jumlah pipa lateral  
 = 265 orifice : 20  
 = 13 orifice

Jarak antar orifice  
 = (panjang pipa lateral - (D x jumlah orifice)) : (jumlah orifice + 1)  
 =  $(1,2 \text{ m} - (0,015 \text{ m} \times 13)) : (13+1)$   
 = 0,07 m  
 = 7 cm

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa jumlah orifice pada tiap pipa lateral adalah 13 orifice dengan jarak antar orifice 7 cm.

Setelah itu, dihitung kedalaman bak filter sebagai berikut:

Kedalaman bak  
 =  $d_{\text{manifold}} + h_{\text{media penyangga}} + h_{\text{total media}} + h_{\text{total ekspansi}} + h_{\text{gutter}} + \text{freeboard}$   
 =  $0,267 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,76 \text{ m} + 0,95 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$   
 = 3,1 m

#### 4.5.7 Perencanaan Saluran *Inlet* dan Pipa Outlet

##### 4.5.7.1 Saluran *Inlet*

Perbandingan ukuran lebar dan kedalaman dari saluran inlet adalah 1. Debit yang digunakan adalah 15,6 L/detik atau  $0,0156 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Berikut perhitungannya:

Debit =  $1,375 \text{ L} \times h^{3/2}$   
 =  $1,375 \times h \times h^{3/2}$   
 =  $1,375 \times h^{5/2}$   
 $h^{5/2} = 1,375 : 0,0156 \text{ m}^3/\text{detik}$   
 $h^{5/2} = 0,01 \text{ m}$   
 $h = 0,20 \text{ m}$

Kedalaman air (h)	= 0,2 m
Freeboard (fb)	= 0,15 m
Kedalaman total	= kedalaman air + freeboard = 0,2 m + 0,15 m = 0,35 m
Lebar	= kedalaman air = 0,20 m
Tebal dinding saluran	= 0,15 m
Lebar total	= lebar + (2 x tebal dinding saluran) = 0,2 m + (2 x 0,15 m) = 0,2 m + 0,3 m = 0,5 m
Kecepatan (V)	= debit : (lebar x kedalaman air) = 0,0156 m <sup>3</sup> /detik : (0,2 m x 0,2 m) = 0,39 m/detik

Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa dimensi lebar dan kedalaman dari saluran *inlet* unit *Rapid Sand Filter* adalah 0,2 m dan memiliki kecepatan aliran 0,39 m/detik. Kemudian, dilakukan perhitungan *headloss* dari perencanaan saluran *inlet* tersebut. Berikut perhitungannya:

Kekasaran (n)	= 0,015
Jari-jari hidrolis (R)	= lebar x kedalaman = 0,2 m x 0,2 m = 0,040 m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Slope} &= \left( \frac{v \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \\ &= \left( \frac{0,39 \times 0,015}{0,04^{2/3}} \right)^2 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

Hf	= slope x L = 0,003 x 5 m = 0,013 m
----	---

$$\begin{aligned}
 \text{Head kecepatan} &= v^2 : 2g \\
 &= (0,39 \text{ m/detik})^2 : (2 \times 9,81 \text{ m/detik}^2) \\
 &= 0,008 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jumlah belokan = 1

$$\begin{aligned}
 \text{Hfm belokan} &= \text{head kecepatan} \times \text{jumlah belokan} \times k_{\text{belokan}} \\
 &= 0,008 \text{ m} \times 1 \times 0,4 \\
 &= 0,003 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss total} &= H_f + h_v + \text{hfm belokan} \\
 &= 0,013 \text{ m} + 0,008 \text{ m} + 0,003 \\
 &= 0,023 \text{ m} \\
 &= 2,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa *headloss* dari saluran *inlet* unit *Rapid Sand Filter* adalah 2,3 cm.

#### 4.5.7.2 Pipa Outlet

*Outlet* pada RSF menggunakan pipa karena akan dialirkan menuju *ion exchanger*. Debit yang digunakan adalah 15,63 L/detik atau 0,016 m<sup>3</sup>/detik. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa} &= 3,45 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran pada pipa} &= 1 \text{ m/detik} \\
 \text{Debit} &= 15,63 \text{ L/detik} \\
 &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Dari data tersebut, dapat dilakukan perhitungan luas melintang pipa, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas melintang pipa} &= \text{debit} : \text{kecepatan aliran pada pipa} \\
 &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} : 1 \text{ m/detik} \\
 &= 0,016 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{luas melintang pipa}}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,016 \text{ m}^2}{3,14}} \\
 &= 0,14 \text{ m} \\
 &= 141 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

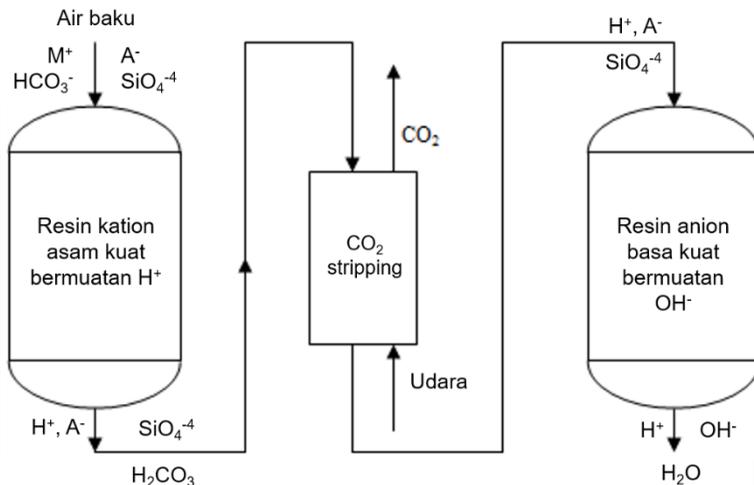
Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh diameter 141 mm. Kemudian, diameter pipa hasil perhitungan tersebut disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC dengan merek Rucika, sehingga diameter yang digunakan adalah 140 mm. Nilai kekasaran pipa PVC (C) adalah 130. Kemudian, dilakukan pengecekan terhadap kecepatan aliran pipa seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cek kecepatan aliran} &= \text{debit} : (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} : (0,25 \times 3,14 \times (0,140 \text{ m})^2) \\ &= 1,02 \text{ m/detik} \quad (\text{OK!}) \end{aligned}$$

## 4.6 Perencanaan Ion Exchanger

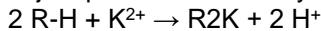
### 4.6.1 Umum

Ion exchanger digunakan untuk proses demineralisasi kandungan logam terlarut hingga menghasilkan air murni ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Kemudian, air akan diolah menggunakan nanofiltrasi. Salah satu anion dalam air baku adalah silikat ( $\text{SiO}_4^{-4}$ ). Demineralisasi dengan removal silikat terdiri dari rangkaian pengolahan kation ion exchanger,  $\text{CO}_2$  stripping, lalu anion ion exchanger. Diagram alir proses dapat dilihat pada **Gambar 4.2** berikut.

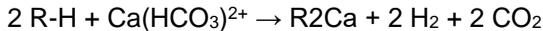


**Gambar 4.2. Diagram Alir Multi-Stage Demineralisasi**

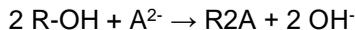
Sistem yang digunakan adalah multi-stage demineralisasi. Pada awal proses demineralisasi multi-stage, air akan melewati resin kation untuk mengikat ion-ion mineral positif. Proses ini diikuti dengan pelepasan ion H<sup>+</sup> ke dalam air. Jika R dan K<sup>2+</sup> berturut-turut adalah molekul ion resin dan ion mineral positif, maka reaksi ion exchange yang terjadi pada kolom resin yakni sebagai berikut:



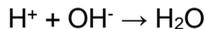
Ion kalsium yang terlarut di dalam air biasanya berbentuk kalsium bikarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Pada saat ion kalsium diikat molekul resin, kalsium bikarbonat akan terpecah membentuk molekul air dan karbondioksida.



Molekul karbondioksida hasil reaksi di atas dikeluarkan melalui sistem CO<sub>2</sub> stripping. Ion H<sup>+</sup> yang lepas ke dalam air akan berikatan dengan anion terlarut di dalam air. Sehingga reaksi ion hidrogen tersebut akan menghasilkan asam kuat seperti asam sulfurik, hidroklorik, dan asam nitrit. Untuk menghilangkan keasaman ini, air dialirkan lebih lanjut ke resin anion. Saat melewati resin anion, ion-ion negatif yang larut di dalam air akan terikat oleh molekul resin diikuti dengan terlepasnya ion OH<sup>-</sup>. Jika A adalah ion negatif yang terlarut di dalam air, maka reaksi yang terjadi pada resin anion adalah sebagai berikut:



Pada akhirnya ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> akan bereaksi membentuk molekul air baru:



Proses pertukaran ion berlangsung terus-menerus hingga resin mencapai *breakthrough*. Jika telah mencapai *breakthrough*, maka resin harus didesorpsi dengan larutan regenerasi untuk melepaskan ion logam berat sekaligus mengembalikan ion resin yang telah mengalami pertukaran dengan ion logam berat. Secara umum, kriteria desain perencanaan ion exchanger dapat dilihat pada **Tabel 4.35**.

**Tabel 4.35. Kriteria Desain Ion Exchanger**

Parameter	Satuan	Nilai
Tipikal kedalaman	m	2 x diameter
Kation <i>exchange capacity</i>	meq/gr	2
Anion <i>exchange capacity</i>	meq/gr	1,3
Density resin <i>ion exchange</i>	kg/m <sup>3</sup>	500 – 700

Sumber: Qosim, 2000 dan Kawamura, 1991

#### 4.6.2 Kebutuhan Resin

Resin terdiri dari dua jenis, yaitu resin pertukaran kation (resin pertukaran asam kuat dan resin pertukaran asam lemah) dan resin pertukaran anion (resin pertukaran basa kuat dan resin pertukaran basa lemah). Dalam perencanaan ini digunakan kation resin asam kuat dan anion resin basa kuat. Data yang diperlukan dalam menghitung kebutuhan resin adalah konsentrasi TDS air baku dan debit air yang akan diolah. Perhitungan kebutuhan resin adalah sebagai berikut:

##### **Kation**

##### Data Yang Diperlukan:

Debit (Q)	= 31,3 L/detik = 0,0313 m <sup>3</sup> /detik
Konsentrasi TDS	= 1064 mg/L
Kapasitas pertukaran kation	= 1,25 eq/L
Densitas resin kation	= 870 kg/m <sup>3</sup>
Kapasitas pertukaran anion	= 3,5 mmol/gram
Densitas resin anion	= 730 kg/m <sup>3</sup>

##### Direncanakan:

Regeneration cycle = 4 jam/cycle

##### Perhitungan:

Jumlah kation = konsentrasi TDS : 2  
= 1064 mg/L : 2  
= 532 mg/L

Jumlah valensi kation H<sup>+</sup> = 1

Kapasitas pertukaran kation (meq/L)

= kapasitas pertukaran kation dalam mmol/gram x jumlah valensi  
= 4,5 mmol/gram x 1  
= 4,5 meq/L

$$\begin{aligned} \text{Berat molekul CaCO}_3 &= 100 \\ \text{Berat ekuivalen CaCO}_3 &= 50 \text{ meq/mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kation sebagai CaCO}_3 \\ \text{mg/L as CaCO}_3 &= \text{konsentrasi kation} : \text{berat molekul CaCO}_3 \\ &= 532 \text{ mg/L} : 100 \\ &= 5,3 \text{ mg/L as CaCO}_3 \\ &= 5,3 \text{ g/m}^3 \text{ as CaCO}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{meq/L kation} &= \text{konsentrasi kation} : \text{berat ekuivalen CaCO}_3 \\ &= 532 \text{ mg/L} : 50 \text{ meq/mg} \\ &= 10,6 \text{ meq/L} \\ &= 10,6 \text{ eq/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Exchange capacity per cycle} \\ &= \text{g/m}^3 \text{ as CaCO}_3 \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle} \\ &= 5,3 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle} \times 2700 \text{ m}^3/\text{hari} \times (4 \text{ jam} : 24 \text{ jam}) \text{ hari/cycle} \\ &= 2.394 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dalam eq} \\ &= \text{meq/L} \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle} \\ &= 10,6 \text{ meq/L} \times 2700 \text{ m}^3/\text{hari} \times (4 \text{ jam}/24 \text{ jam}) \text{ hari/cycle} \\ &= 4.788 \text{ eq/cycle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa resin} \\ &= \text{exchange capacity per cycle} : \text{exchange capacity resin} \\ &= 4.788 \text{ eq/cycle} : 4,5 \text{ eq/kg} \\ &= 4.596 \text{ kg} \end{aligned}$$

### **Anion**

$$\begin{aligned} \text{Jumlah anion} &= \text{konsentrasi TDS} : 2 \\ &= 1064 \text{ mg/L} : 2 \\ &= 532 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah valensi katino Cl}^- = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pertukaran kation (meq/L)} \\ &= \text{kapasitas pertukaran kation dalam mmol/gram} \times \text{jumlah valensi} \\ &= 3,5 \text{ mmol/gram} \times 1 \end{aligned}$$

$$= 3,5 \text{ meq/L}$$

$$\text{Berat molekul CaCO}_3 = 100 \text{ meq/mg}$$

$$\text{Berat ekuivalen CaCO}_3 = 50 \text{ meq/mg}$$

Jumlah anion sebagai  $\text{CaCO}_3$

$$\text{mg/L as CaCO}_3 = \text{konsentrasi anion} : \text{berat molekul CaCO}_3$$

$$= 532 \text{ mg/L} : 100 \text{ meq/mg}$$

$$= 5,3 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

$$= 5,3 \text{ g/m}^3 \text{ as CaCO}_3$$

$$\text{meq/L anion} = \text{konsentrasi anion} : \text{berat ekuivalen CaCO}_3$$

$$= 532 \text{ mg/L} : 50 \text{ meq/mg}$$

$$= 10,6 \text{ meq/L}$$

$$= 10,6 \text{ eq/m}^3$$

Exchange capacity per cycle

$$= \text{g/m}^3 \text{ as CaCO}_3 \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle}$$

$$= 5,3 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle} \times 2700 \text{ m}^3/\text{hari} \times (4 \text{ jam} : 24 \text{ jam}) \text{ hari/cycle}$$

$$= 2.394 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle}$$

dalam eq

$$= \text{meq/L} \times \text{debit yang diolah} \times \text{hari/cycle}$$

$$= 10,6 \text{ meq/L} \times 1500 \text{ m}^3/\text{hari} \times (4 \text{ jam} : 24 \text{ jam}) \text{ hari/cycle}$$

$$= 4.788 \text{ eq/cycle}$$

Massa resin

$$= \text{exchange capacity per cycle} : \text{exchange capacity resin}$$

$$= 4.788 \text{ eq/cycle} : 3,5 \text{ eq/kg}$$

$$= 1.368 \text{ kg}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa kebutuhan resin anion adalah sebanyak 4.596 kg dan kebutuhan resin anion adalah 1.368 kg.

#### 4.6.3 Perhitungan Dimensi Ion Exchanger

Setelah mengetahui kebutuhan resin dalam bentuk volume, maka dapat dilakukan perhitungan untuk dimensi unit ion exchanger yaitu sebagai berikut:

Direncanakan:

Tinggi kolom = 2 kali diameter  
Ketinggian ruang influen = 0,3 m  
Ketinggian ruang efluen (sistem underdrain) = 0,3 m

Perhitungan:

**Kation**

Volume resin  
= kapasitas pertukaran per cycle : kapasitas pertukaran resin  
= 4.788 eq/cycle : 1,25 eq/L  
= 3.830 L/cycle  
= 4 m<sup>3</sup>/cycle

Direncanakan tinggi resin adalah 0,8 m, maka berikut perhitungannya:

Luas permukaan media resin = volume resin : tinggi resin  
= 4 m<sup>3</sup> : 0,8 m  
= 4,8 m<sup>2</sup>

Maka, diameter dari tangki ion exchange kation adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diameter tangki} &= \sqrt{\frac{4 \times 4,8 \text{ m}^2}{3,14}} \\ &= 0,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Ketinggian kolom = 2 x diameter  
= 2 x 0,7 m  
= 1,4 m

Setelah diperoleh diameter dari tangki, maka dihitung ketinggian dari tangki yaitu sebagai berikut:

Ketinggian tangki  
= tinggi kolom + tinggi ruang influen + tinggi ruang efluen  
= 1,4 m + 0,3 m + 0,3 m  
= 2,0 m

Maka, dimensi dari tangki ion exchanger kation adalah berdiameter **0,7 m** dan tinggi tangki **2 m**.

### **Anion**

$$\begin{aligned}\text{Volume resin} &= \text{massa resin} : \text{densitas resin} \\ &= 1368 \text{ kg} : 730 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1,87 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Direncanakan tinggi resin adalah 0,5 m, maka berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan media resin} &= \text{volume resin} : \text{tinggi resin} \\ &= 1,87 \text{ m}^3 : 0,5 \text{ m} \\ &= 3,7 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Maka, diameter dari tangki ion exchange anion adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Diameter tangki} &= \sqrt{\frac{4 \times 3,7 \text{ m}^2}{3,14}} \\ &= 0,6 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ketinggian kolom} &= 2 \times \text{diameter} \\ &= 2 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 1,2 \text{ m}\end{aligned}$$

Setelah diperoleh diameter dari tangki, maka dihitung ketinggian dari tangki yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Ketinggian tangki} &= \text{tinggi kolom} + \text{tinggi ruang influen} + \text{tinggi ruang efluen} \\ &= 1,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 1,8 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka, dimensi dari tangki ion exchanger anion adalah berdiameter **0,6 m** dan tinggi tangki **1,8 m**.

### **4.6.4 Regenerasi Zat Kimia**

Zat kimia yang digunakan adalah HCl 99% dan NaOH 98%. Zat kimia HCl dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 5%. Sementara, zat kimia NaOH dilarutkan ke dalam air dengan

konsentrasi 4%. Berikut adalah perhitungan jumlah zat kimia yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}\text{HCl 99\%} &= \frac{36 \text{ eq wt of HCl} \times 2394 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle}}{0,99 \times 50 \text{ eq wt of CaCO}_3 \times 1000 \text{ g/kg}} \\ &= 1,74 \text{ kg/cycle}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{NaOH 98\%} &= \frac{40 \text{ eq wt of NaOH} \times 2394 \text{ g as CaCO}_3/\text{cycle}}{0,98 \times 50 \text{ eq wt of CaCO}_3 \times 1000 \text{ g/kg}} \\ &= 1,95 \text{ kg/cycle}\end{aligned}$$

Kebutuhan asam dan basa aktual biasanya 1,5-3 kali jumlah kebutuhan secara teoritikal. Sehingga zat kimia yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}\text{HCl 99\%} &= 2 \times \text{jumlah kebutuhan HCl 99\%} \\ &= 2 \times 1,74 \text{ kg/cycle} \\ &= 3,5 \text{ kg/cycle}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{NaOH 98\%} &= 2 \times \text{jumlah kebutuhan NaOH 98\%} \\ &= 2 \times 1,95 \text{ kg} \\ &= 3,9 \text{ kg/cycle}\end{aligned}$$

#### 4.6.5 Perhitungan Tangki Zat Kimia

Terdapat dua tangki zat kimia yaitu tangki HCl dan tangki NaOH. Berikut adalah perhitungannya:

##### Tangki HCl

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan HCl} &= 3,5 \text{ kg/cycle} \\ \text{Regeneration cycle} &= 0,16 \text{ hari/cycle} \\ \text{Densitas HCl} &= 1490 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan HCl dalam volume} &= \text{kebutuhan HCl} : \text{densitas HCl} \\ &= 3,5 \text{ kg/cycle} : 1490 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{cycle}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi air dalam larutan} &= 100\% \\ \text{Konsentrasi HCL dalam larutan} &= 5\%\end{aligned}$$

Volume air pelarut

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{\text{konsentrasi air dalam larutan}}{\text{konsentrasi HCL dalam larutan}} \right) \times \text{kebutuhan HCl dalam volume} \\ &= \left( \frac{100\%}{5\%} \right) \times 0,0012 \text{ m}^3/\text{cycle} \\ &= 0,023 \text{ m}^3/\text{cycle} \end{aligned}$$

Kapasitas tangki

$$\begin{aligned} &= \text{kebutuhan HCl dalam volume} + \text{volume air pelarut} \\ &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{cycle} + 0,023 \text{ m}^3/\text{cycle} \\ &= 0,025 \text{ m}^3 \\ &= 25 \text{ L} \end{aligned}$$

Kapasitas tangki aktual

$$\begin{aligned} &= 1,5 \times \text{nilai kapasitas teoritikal} \\ &= 1,5 \times 25 \text{ L} \\ &= 37,5 \text{ L} \end{aligned}$$

### **Tangki NaOH**

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan NaOH} &= 3,9 \text{ kg/cycle} \\ \text{Regeneration cycle} &= 0,16 \text{ hari/cycle} \\ \text{Densitas NaOH} &= 2130 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan NaOH dalam volume

$$\begin{aligned} &= \text{kebutuhan NaOH} : \text{densitas NaOH} \\ &= 3,9 \text{ kg/cycle} : 2130 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,0018 \text{ m}^3/\text{cycle} \end{aligned}$$

Konsentrasi air dalam larutan

$$= 96\%$$

Konsentrasi NaOH dalam larutan

$$= 1 - \text{konsentrasi air}$$

$$= 1 - 96\%$$

$$= 4\%$$

Volume air pelarut

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{\text{konsentrasi air dalam larutan}}{\text{konsentrasi NaOH dalam larutan}} \right) \times \text{kebutuhan NaOH dalam volume} \\ &= \left( \frac{100\%}{4\%} \right) \times 0,0018 \text{ m}^3/\text{cycle} \\ &= 0,05 \text{ m}^3/\text{cycle} \end{aligned}$$

Kapasitas tangki  
 = kebutuhan NaOH dalam volume + volume larutan NaOH  
 =  $0,0018 \text{ m}^3/\text{cycle} + 0,05 \text{ m}^3/\text{cycle}$   
 =  $0,048 \text{ m}^3$   
 = 48 L

Kapasitas tangki aktual  
 = 1,5 x nilai kapasitas teoritikal  
 =  $1,5 \times 48 \text{ L}$   
 = 72 L

#### 4.6.6 Perencanaan Pipa Inlet dan Pipa Outlet

Pipa inlet ion exchanger berasal dari bak penampung efluen filter ke kation exchanger. Sementara, aliran pipa outlet ion exchanger mengalir dari anion exchanger menuju unit nanofiltrasi. Berikut perhitungannya:

Panjang pipa = 5,7 m  
 Kecepatan aliran pada pipa = 2,5 m/detik  
 Debit = 31,3 L/detik  
 =  $0,0313 \text{ m}^3/\text{detik}$

Dari data tersebut, dapat dilakukan perhitungan luas melintang pipa, yaitu sebagai berikut:

Luas melintang pipa = debit : kecepatan aliran pada pipa  
 =  $0,0313 \text{ m}^3/\text{detik} : 2,5 \text{ m/detik}$   
 =  $0,0125 \text{ m}^2$

Diameter pipa =  $\sqrt{\frac{4 \times \text{luas melintang pipa}}{\pi}}$   
 =  $\sqrt{\frac{4 \times 0,0125 \text{ m}^2}{3,14}}$   
 = 0,126 m  
 = 126 mm

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh diameter 126 mm. Kemudian, diameter pipa hasil perhitungan tersebut disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC dengan merek Rucika, sehingga

diameter yang digunakan adalah 114 mm. Nilai kekasaran pipa PVC (C) adalah 130. Kemudian, dilakukan pengecekan terhadap kecepatan aliran pipa seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cek kecepatan aliran} &= \text{debit} : (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} : (0,25 \times 3,14 \times (0,114 \text{ m})^2) \\ &= 3,02 \text{ m/detik} \quad (\mathbf{OK!}) \end{aligned}$$

### **Pemompaan**

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pompa} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Debit pompa} &= 31,3 \text{ L/detik} \\ &= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

### **Headloss pompa**

$$\begin{aligned} \text{Head statis} &= \text{tinggi unit nanofiltrasi} + \text{angka aman} \\ &= 2,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

### **Mayor losses**

$$\begin{aligned} \text{Hf discharge} &= \left( \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left( \frac{0,031 \text{ m}^3}{0,00155 \times 130 \times 14^{2,63}} \right)^{1,85} \times 5,7 \text{ m} \\ &= 0,000000162068443 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf } \textit{major losses} &= \text{Hf } \textit{discharge} \\ &= 0,000000162068443 \text{ m} \end{aligned}$$

### **Minor Losses**

$$\begin{aligned} \text{Head velocity} &= v^2 : 2g \\ &= (1,13 \text{ m/detik})^2 : (2 \times 9,81 \text{ m/detik}^2) \\ &= 0,064894004401026 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah belokan} = 3$$

$$\begin{aligned} \text{Hfm belokan} &= \text{head velocity} \times \text{jumlah belokan} \times k_{\text{belokan}} \\ &= 0,064894004401026 \text{ m} \times 3 \times 0,4 \\ &= 0,077872805281231 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah valve} = 1$$

$$\begin{aligned} H_{fm \text{ valve}} &= \text{head velocity} \times \text{jumlah valve} \times K_{\text{valve}} \\ &= 0,064894004401026 \text{ m} \times 1 \times 0,3 \\ &= 0,019468201320308 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_f \text{ minor losses} &= H_{fm \text{ belokan}} + H_{fm \text{ valve}} \\ &= 0,077872805281231 \text{ m} + 0,01946820132030 \text{ m} \\ &= 0,097341006601539 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka, dapat dihitung *headloss* total sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_f \text{ total} &= H_f \text{ mayor losses} + H_f \text{ minor losses} \\ &= 0,000000162068443 \text{ m} + 0,097341006601539 \text{ m} \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah menghitung *headloss* total, maka selanjutnya adalah menentukan tipe pompa sentrifugal yang akan digunakan. Pada perencanaan inlet ion exchanger ini digunakan pompa sentrifugal Model *Sls Single-Stage Vertical Centrifugal Pump* produksi Liancheng. Pompa tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Debit (Q)	: 1,5 – 2.400 m <sup>3</sup> /jam
Head (H)	: 8 – 150 m
Suhu (T)	: -20°C – 120°C
Pressure (p)	: max 16 bar

#### 4.6.7 Perawatan Unit Ion Exchanger

Unit Ion Exchanger terdiri dari tangki baja, sistem underdrain, media kerikil, dan media resin penukar ion. Tangki unit dilengkapi dengan bukaan, katup, dan perlengkapan lainnya. Perawatan untuk unit ion exchanger adalah sebagai berikut:

1. Setiap hari dilakukan regenerasi resin.
2. Setiap 3 bulan sekali, kelengkapan untuk distribusi air dan larutan regenerasi harus diperiksa untuk mengetahui ada tidaknya kontaminasi yang menghalangi dan korosi.
3. Setiap 4 bulan, siram tangki penukar ion dengan air terklorinasi yang mengandung setidaknya 2 ppm klorin.
4. Setiap 6 bulan, setiap katup harus diperiksa dan diuji untuk mengetahui ada tidaknya kebocoran kemudian diperbaiki seperti semula.

5. Setiap tahun, bagian luar tangki harus dibersihkan dan disikat dengan sikat kawat, kemudian dicat agar tidak korosi.
6. Setiap tahun, atau jika perlu, kondisi sistem underdrain perlu diamati dari penurunan tekanan pada sistem underdrain dengan aliran backwash penuh yang dikeluarkan dari manhole. Penurunan tekanan yang lebih besar daripada saat pemasangan instalasi menunjukkan penyumbatan pipa. Sementara, penurunan tekanan yang lebih rendah menunjukkan adanya korosi. Sistem underdrain harus diperiksa, dilepas, dibersihkan, dicat (jika perlu), dan diganti setiap 3 tahun.
7. Setiap 5 tahun sekali, resin diganti dengan yang baru.

#### **4.7 Perencanaan Teknologi Membran Nanofiltrasi**

Pada perencanaan ini, digunakan teknologi membran nanofiltrasi dari Shandong Zhaojin Motian Co., Ltd. dengan nama tipe *Industrial Nanofiltration Membrane System* brand MOTIAN. Produk ini memiliki dimensi panjang 10 m, lebar 2 m, dan tinggi 2,5 m. Sehingga, luas lahan yang dibutuhkan adalah 20 m<sup>2</sup>. Gambar dari produk ini dapat dilihat pada bagian lampiran.

Membran nanofiltrasi ini memiliki kemampuan *reject water* sebesar 38%. Dengan unit nanofiltrasi akan dihasilkan air olahan dengan kualitas tinggi karena kandungan kekeruhan dan mikroorganisme teremoval hampir 100%. Namun, kadar kekeruhan dan mikroorganisme yang berhasil tertahan, lama kelamaan harus dibersihkan agar tidak mengganggu operasional membran. Pembersihan pada membran dilakukan dengan menggunakan bahan kimia yang sesuai peruntukannya, metode ini disebut CIP (*Clean-in-Place*).

Bahan kimia yang digunakan saat CIP adalah natrium hidroksida (NaOH) dan sodium dodecylsulfate (SDS). NaOH dan SDS mampu menghilangkan foulant organik yang berasal dari alam, foulant koloid dari campuran organik / anorganik, serta bahan biologis (jamur, jamur, slime dan biofilm). Pada tahap awal pembersihan, akan dilakukan pembersihan dengan larutan pH rendah sehingga digunakan bahan kimia HCl untuk menurunkan pH. Jumlah bahan kimia yang dibutuhkan adalah 0,38 kg NaOH dan 0,11 kg SDS yang dilarutkan dalam 369 liter air.

Frekuensi pembersihan adalah setiap 3 hingga 12 bulan sekali. Apabila membran harus dibersihkan lebih dari sebulan sekali, maka biaya operasional dan pemeliharaan akan sangat besar. Jika frekuensi pembersihan setiap satu hingga tiga bulan, maka perlu dilakukan upaya peningkatan pengoperasian peralatan. Dalam perencanaan ini, frekuensi pembersihan (CIP) adalah setiap 3 bulan sekali.

#### 4.8 Perencanaan Desinfeksi

Terdapat dua pilihan jenis desinfeksi yaitu klorinasi dan ozonisasi. Desinfeksi yang dipilih adalah klorinasi karena efektif membunuh bakteri dan virus serta terdapat sisa klor yang dapat digunakan untuk menghilangkan re-kontaminasi saat distribusi air dengan perpipaan. Dalam perencanaan ini, direncanakan menggunakan produk desinfeksi dari Yantai Jietong Water Treatment Technology Co., Ltd. Nama produk tersebut adalah *Chlorine gas producing equipment*. Total luas lahan yang dibutuhkan adalah kurang lebih 10 m<sup>2</sup>.

#### 4.9 Perencanaan Reservoir

Setelah air baku selesai diolah, maka akan ditampung di reservoir. Reservoir direncanakan berkapasitas 300 m<sup>3</sup> dan berjumlah 2 bak sehingga masing-masing reservoir berkapasitas 150 m<sup>3</sup>. Dimensi reservoir mengikuti bentuk lahan sehingga perhitungan dilakukan untuk mengetahui waktu detensi dari tiap reservoir. Struktur bangunan reservoir adalah bangunan beton. Berikut perhitungannya:

##### Reservoir 1

###### Direncanakan:

Debit	= 0,016 m <sup>3</sup> /detik
Volume tiap unit	= 150 m <sup>3</sup>
Panjang	= 9 m
Lebar	= 8 m
Tebal dinding	= 0,3 m
Freeboard	= 0,5 m

###### Perhitungan:

Waktu detensi (td)	= volume : debit
--------------------	------------------

	= $150 \text{ m}^3 : 0,016 \text{ m}^3/\text{detik}$
	= 9600 detik
	= 2,7 jam
Lebar total	= lebar + 2 x tebal dinding
	= $8 \text{ m} + 2 \times 0,3 \text{ m}$
	= 8,6 m
Panjang total	= panjang + 2 x tebal dinding
	= $9 \text{ m} + 2 \times 0,3 \text{ m}$
	= 9,6 m
Kedalaman air	= volume : luas permukaan
	= $150 \text{ m}^3 : (9 \text{ m} \times 8 \text{ m})$
	= 2,1 m
Kedalaman total	= kedalaman air + freeboard
	= $2,1 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$
	= 2,6 m

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui dimensi dari reservoir 1 sebagai berikut:

Panjang reservoir	= 9,6 m
Lebar reservoir	= 8,6 m
Kedalaman reservoir	= 2,6 m

## **Reservoir 2**

### Direncanakan:

Debit	= $0,016 \text{ m}^3/\text{detik}$
Volume tiap unit	= $150 \text{ m}^3$
Panjang	= 11 m
Lebar	= 5,5 m
Tebal dinding	= 0,3 m
Freeboard	= 0,5 m

### Perhitungan:

Waktu detensi (td)	= volume : debit
	= $150 \text{ m}^3 : 0,016 \text{ m}^3/\text{detik}$
	= 9600 detik
	= 2,7 jam
Lebar total	= lebar + 2 x tebal dinding
	= $5,5 \text{ m} + 2 \times 0,3 \text{ m}$
	= 6,1 m

Panjang total	= panjang + 2 x tebal dinding = 11 m + 2 x 0,3 m = 11,6 m
Kedalaman air	= volume : luas permukaan = 150 m <sup>3</sup> : (11 m x 5,5 m) = 2,5 m
Kedalaman total	= kedalaman air + freeboard = 2,5 m + 0,5 m = 3 m

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui dimensi dari reservoir 1 sebagai berikut:

Panjang reservoir	= 11,6 m
Lebar reservoir	= 6,1 m
Kedalaman reservoir	= 3 m

#### 4.10 Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan referensi grafis dari *hydraulic grade linier* pada suatu bangunan pengolahan air minum. Profil hidrolis sangat penting untuk penentuan peletakan bangunan (didalam tanah, dipermukaan tanah atau diatas permukaan tanah) dan untuk mengetahui peletakan pompa yang tepat. Pada perencanaan ini, titik yang digunakan sebagai acuan adalah muka elevasi tanah lokasi perencanaan dengan ketinggian +4,00 m. Profil hidrolis dari semua unit pengolahan dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Berikut adalah perhitungannya:

#### Intake - Holding Tank

Elevasi muka awal	= 4,00 m
Head	= 2,30 m
Elevasi 2	= Elevasi muka awal + head = 4,00 m + 2,30 m = 6,30 m

Hf total (menuju holding tank)	= 0,10 m
Elevasi akhir (inlet holding tank)	= elevasi 2 - hf total = 6,30 m - 0,1 m = 6,20 m

### **Holding Tank – Rapid Sand Filter**

Elevasi muka awal = Elevasi akhir (inlet holding tank)  
= 6,20 m

Posisi dasar inlet RSF dari tinggi inlet HT = 0,45 m  
Hf total outlet = 0,007 m

Elevasi akhir (inlet koagulasi)  
= elevasi muka awal - posisi dasar inlet koa-flo dari tinggi inlet HT-  
hf outlet total  
= 6,20 m – 0,45 m – 0,007 m  
= 5,85 m

### **Rapid Sand Filter - Ion Exchanger**

Elevasi muka awal = elevasi akhir (inlet RSF)  
= 5,85 m

Posisi dasar inlet IO dari tinggi inlet RSF = -0,3 m  
Hf total outlet = 0,01 m

Elevasi akhir (inlet ion exchanger)  
= elevasi muka awal - posisi dasar inlet IO dari tinggi inlet RSF -hf  
outlet total  
= 5,85 – (-0,3 m) – 0,01 m  
= 6,15 m

### **Ion Exchanger - Nanofiltrasi**

Elevasi muka awal = elevasi akhir (inlet *Ion Exchanger*)  
= 6,15 m

Posisi dasar inlet NF dari tinggi inlet IO = -0,55 m  
Hf total outlet = 0,10 m

Elevasi akhir (inlet nanofiltrasi)  
= elevasi muka awal - posisi dasar inlet NF dari tinggi inlet IO -hf  
outlet total  
= 6,15 – (-0,50 m) – 0,10 m  
= 6,59 m

### **Nanofiltrasi - Disinfeksi**

Elevasi muka awal = elevasi akhir (inlet nanofiltrasi)  
= 6,59 m

Posisi dasar inlet reservoir dari tinggi inlet nanofiltrasi = 0 m  
Elevasi akhir (inlet reservoir)  
= elevasi muka awal - Posisi dasar inlet disinfeksi dari tinggi inlet nanofiltrasi  
= 6,59 – 0 m  
= 6,59 m.

### **Disinfeksi - Reservoir**

Elevasi muka awal = elevasi akhir (inlet *Ion Exchanger*)  
= 6,59 m

Posisi dasar inlet NF dari tinggi inlet IO = 2,81 m

Elevasi akhir (inlet nanofiltrasi)

= elevasi muka awal - posisi dasar inlet reservoir dari tinggi inlet disinfeksi

= 6,59 – 2,81 m

= 3,78 m

## **BAB 5**

### **PEMBIAYAAN**

Aspek finansial dalam perencanaan ini terdiri dari biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan dengan perhitungan BOQ dan RAB. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari setiap unit perencanaan dihitung dengan menggunakan HSPK Kota Surabaya Tahun 2018.

#### **5.1 Biaya Investasi**

Biaya investasi adalah biaya konstruksi dari perencanaan ini. Perhitungan diawali dengan menghitung BOQ tiap unit terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan perhitungan RAB.

##### **5.1.1 Bill of Quantity (BOQ)**

Perhitungan BOQ dilakukan di tiap unit. Berikut perhitungannya.

#### **Holding Tank**

##### Direncanakan:

Panjang	= 4,3 m
Lebar	= 2,2 m
Tinggi	= 2 m
Tebal dinding	= 0,2 m
Freeboard	= 0,5 m
Jumlah	= 2
Tebal dinding kedalaman	= 0,2 m

##### Perhitungan:

Panjang total	= panjang bak + 2 x tebal dinding = 4,3 + 2 x 0,2 m = 4,7 m
Lebar total	= lebar bak + 2 x tebal dinding = 2,2 m + 2 x 0,2 m = 2,6 m
Tinggi total	= tinggi bak + freeboard + tebal dinding kedalaman = 2 m + 0,5 m + 0,2 m = 2,7 m
Volume	= P x L x H x jumlah

$$\begin{aligned}
 &= 4,7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} \times 2 \\
 &= 65,5 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume beton} &= \text{volume} - (\text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}) \times \text{jumlah bed} \\
 &= 65,5 \text{ m}^3 - (4,7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} \times 2 \text{ m}) \times 2 \\
 &= 28,02 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### ***Rapid Sand Filter Dual Media***

#### Direncanakan:

Panjang	= 3,1 m
Lebar	= 3,1 m
Tinggi	= 2,7 m
Tebal dinding	= 0,2 m
Freeboard	= 0,5 m
Jumlah	= 2
Tebal dinding kedalaman	= 0,7 m

#### Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= \text{panjang bak} + 2 \times \text{tebal dinding} \\
 &= 3,1 \text{ m} + 2 \times 0,2 \text{ m} \\
 &= 3,5 \text{ m} \\
 \text{Lebar total} &= \text{lebar bak} + 2 \times \text{tebal dinding} \\
 &= 3,1 \text{ m} + 2 \times 0,2 \text{ m} \\
 &= 3,5 \text{ m} \\
 \text{Tinggi total} &= \text{tinggi bak} + \text{freeboard} + \text{tebal dinding kedalaman} \\
 &= 2,7 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,7 \text{ m} \\
 &= 3,9 \text{ m} \\
 \text{Volume} &= P \times L \times H \times \text{jumlah} \\
 &= 3,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 3,9 \text{ m} \times 2 \\
 &= 93,5 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume beton} &= \text{volume} - (\text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}) \times \text{jumlah bed} \\
 &= 93,5 \text{ m}^3 - (3,1 \text{ m} \times 3,1 \text{ m} \times 2,7 \text{ m}) \times 2 \\
 &= 42,85 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### **Reservoir 1**

#### Direncanakan:

Panjang	= 9 m
Lebar	= 8 m
Tinggi	= 2,1 m
Tebal dinding	= 0,3 m

Freeboard = 0,5 m  
Jumlah = 1

Perhitungan:

Panjang total = panjang bak + 2 x tebal dinding  
= 9 m + 2 x 0,3 m  
= 9,6 m

Lebar total = lebar bak + 2 x tebal dinding  
= 8 m + 2 x 0,3 m  
= 8,6 m

Tinggi total = tinggi bak + freeboard + tebal dinding  
= 2,1 m + 0,5 m + 0,2 m  
= 2,9 m

Volume galian = P x L x H x jumlah  
= 9,6 m x 8,6 m x 2,9 m x 1  
= 238 m<sup>3</sup>

Volume beton = volume - (panjang x lebar x tinggi) x jumlah bed  
= 238 m<sup>3</sup> - (9 m x 8 m x 2,1 m) x 1  
= 88,05 m<sup>3</sup>

Volume pengurugan pasir = P x L x H x jumlah  
= 9,6 m x 8,6 m x 0,1 m x 1  
= 8,26 m<sup>3</sup>

**Reservoir 2**

Direncanakan:

Panjang = 11 m  
Lebar = 5,5 m  
Tinggi = 2,5 m  
Tebal dinding = 0,3 m  
Freeboard = 0,5 m  
Jumlah = 1

Perhitungan:

Panjang total = panjang bak + 2 x tebal dinding  
= 1 m + 2 x 0,3 m  
= 11,6 m

Lebar total = lebar bak + 2 x tebal dinding  
= 5,5 m + 2 x 0,3 m  
= 6,1 m

Tinggi total = tinggi bak + freeboard + tebal dinding  
= 2,5 m + 0,5 m + 0,2 m  
= 3,3 m

Volume = P x L x H x jumlah  
= 11,6 m x 6,1 m x 3,3 m x 1  
= 232 m<sup>3</sup>

Volume beton = volume - (panjang x lebar x tinggi) x jumlah bed  
= 232 m<sup>3</sup> - (11 m x 5,5 m x 2,5 m) x 1  
= 82,05 m<sup>3</sup>

Volume pengurangan pasir = P x L x H x jumlah  
= 11,6 m x 6,1 m x 0,1 m x 1  
= 7,08 m<sup>3</sup>

### **Saluran 1 meter**

#### Direncanakan:

Panjang = 1 m  
Lebar = 0,2 m  
Tinggi = 0,2 m  
Tebal dinding = 0,15 m  
Freeboard = 0,15 m  
Jumlah = 4  
Tebal dinding kedalaman = 0,15 m

#### Perhitungan:

Panjang total = panjang saluran  
= 1 m

Lebar total = lebar saluran + 2 x dinding saluran  
= 0,2 m + 2 x 0,15 m  
= 0,5 m

Tinggi total = tinggi saluran + fb + tebal dinding kedalaman  
= 0,2 m + 0,15 m + 0,15 m  
= 0,5 m

Volume = P x L x H x jumlah saluran  
= 1 m x 0,5 m x 0,5 m x 4  
= 1 m<sup>3</sup>

Volume beton = volume - (panjang x lebar x tinggi) x jumlah  
= 1 m<sup>3</sup> - (1 m x 0,2 m x 0,2 m) x 4  
= 0,84 m<sup>3</sup>

Sementara, penyediaan unit Ion Exchanger, nanofiltrasi, dan chlorine gas disinfection dilakukan dengan membeli produk sesuai spesifikasi yang dibutuhkan dengan jumlah tiap unit 1 set.

### **5.1.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)**

Setelah diketahui volume beton dari perhitungan BOQ, maka selanjutnya dilakukan perhitungan RAB. Perhitungan RAB meliputi pekerjaan beton, pipa dan aksesoris, serta perlengkapan tambahan lainnya yang dibutuhkan untuk operasional unit seperti *impeller* dan pompa. Perhitungan RAB dapat dilihat pada **Tabel 5.1** sampai **Tabel 5.6**. Total biaya RAB adalah biaya investasi dari perencanaan ini (**Tabel 5.7**). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh biaya investasi adalah Rp464.289.037.

**Tabel 5.1. Biaya Pembangunan Intake**

<b>Intake</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	<b>Perpipaan dan Aksesoris</b>					
	Pipa PVC AW (140 mm)		lonjor	14.00	Rp513,500	Rp7,189,000
	Elbow 90 <sup>o</sup> 5"		buah	4.00	Rp106,200	Rp424,800
	Tee 6"		buah	1.00	Rp235,200	Rp235,200
	Reducer 6" x 3"		buah	1.00	Rp89,900	Rp89,900
	Reducer 6" x 5"		buah	4.00	Rp102,800	Rp411,200
2	<b>Pompa</b>					
	Pompa submersible Ebara 80DSA53.7		buah	2	Rp27,200,000	Rp54,400,000
<b>TOTAL</b>						<b>Rp72,481,500</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.2. Biaya Pembangunan Unit Holding Tank**

<b>Holding Tank</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	<b>Pekerjaan beton K-225</b>		m <sup>3</sup>	64.46		
	Upah					
	Mandor	0.015	orang.hari	0.966918	Rp180,000	Rp174,045
	Pekerja	0.1	orang.hari	6.446122	Rp165,000	Rp1,063,610
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC 50 kg	0.1	zak	6.446122	Rp68,300	Rp440,270
	Pasir cor	0.005	m <sup>3</sup>	0.322306	Rp265,300	Rp85,508
	Batu pecah mesin 2/3 cm	0.009	m <sup>3</sup>	0.580151	Rp243,300	Rp141,151
	Biaya air	215	liter	13859.16	Rp6	Rp83,155
2	<b>Perlengkapan</b>					
	Pintu air		buah	2	Rp3,000,000	Rp6,000,000
<b>TOTAL</b>						<b>Rp7,987,739</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.3. Biaya Pembangunan Unit Rapid Sand Filter Dual Media**

<b>Rapid Sand Filter</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	<b>Pekerjaan beton K-225</b>		m <sup>3</sup>	94.78		
	Upah					
	Mandor	0.015	orang.hari	1.421701	Rp180,000	Rp255,906
	Pekerja	0.1	orang.hari	9.478004	Rp165,000	Rp1,563,871
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC 50 kg	0.1	zak	9.478004	Rp68,300	Rp647,348
	Pasir cor	0.005	m <sup>3</sup>	0.4739	Rp265,300	Rp125,726
	Batu pecah mesin 2/3 cm	0.009	m <sup>3</sup>	0.85302	Rp243,300	Rp207,540
	Biaya air	215	liter	20377.71	Rp6	Rp122,266
2	<b>Perpipaan dan aksesoris</b>					
	Pipa PVC AW (114 mm)		lonjor	4.00	Rp324,100	Rp1,296,400
	Pipa PVC AW (216 mm)		lonjor	1.00	Rp1,208,600	Rp1,208,600
	Pipa PVC AW (60 mm)		lonjor	4.00	Rp95,200	Rp380,800
	Gate valve 4"		buah	2.00	Rp1,827,600	Rp3,655,200
3	<b>Media Filter</b>					
	Pasir		kg	8602.21	Rp2,000	Rp17,204,429
	Antrasit		kg	1077.60	Rp10,000	Rp10,776,050
	Kerikil		kg	5.55	Rp200,000	Rp1,109,017
4	<b>Perlengkapan</b>					
	Pintu air		buah	3	Rp3,000,000	Rp9,000,000
<b>TOTAL</b>						<b>Rp47,553,151</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.4. Biaya Pembangunan Unit Ion Exchanger**

<b>Ion Exchanger</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	Tangki Exchanger		set	1	Rp113,944,000	Rp113,944,000
2	Regeneran HCl		kg	1.7	Rp1,068,225	Rp1,859,877
3	Regeneran NaOH		kg	3.9	Rp18,500	Rp72,309
<b>TOTAL</b>						<b>Rp115,876,185</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.5. Biaya Pembangunan Unit Nanofiltrasi**

<b>Nanofiltrasi</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	Unit nanofiltrasi	-	set	1.00	Rp142,430,000	Rp142,430,000
<b>TOTAL</b>						<b>Rp142,430,000</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.6. Biaya Pembangunan Unit Disinfeksi**

<b>Disinfeksi</b>						
<b>No</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Koefisien</b>	<b>Satuan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	Unit disinfeksi	-	set	1.00	Rp15,786,595	Rp15,786,595
<b>TOTAL</b>						<b>Rp15,786,595</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.7. Biaya Pembangunan Unit Reservoir**

Reservoir						
No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Harga Total
1	<b>Pekerjaan penggalan</b>		m <sup>3</sup>	470.094		
	Upah					
	Mandor	0.025204	orang.hari	11.84829	Rp171,000	Rp2,026,058
	Pekerja	0.757221	orang.hari	355.9649	Rp145,000	Rp51,614,913
2	<b>Pekerjaan beton K-225</b>		m <sup>3</sup>	170.09		
	Upah					
	Mandor	0.015	orang.hari	2.55141	Rp180,000	Rp459,254
	Pekerja	0.1	orang.hari	17.0094	Rp165,000	Rp2,806,551
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC 50 kg	0.1	zak	17.0094	Rp68,300	Rp1,161,742
	Pasir cor	0.005	m <sup>3</sup>	0.85047	Rp265,300	Rp225,630
	Batu pecah mesin 2/3 cm	0.009	m <sup>3</sup>	1.530846	Rp243,300	Rp372,455
	Biaya air	215	liter	36570.21	Rp6	Rp219,421
3	<b>Biaya pengurangan pasir</b>		m <sup>3</sup>	15.33		
	Upah					
	Mandor	0.010082	orang.hari	0.154572	Rp171,000	Rp26,432
	Pekerja	0.302888	orang.hari	4.643883	Rp145,000	Rp673,363
	<b>Bahan</b>					
	Pasir urug	1.2	m <sup>3</sup>	18.3984	Rp140,667	Rp2,588,048
<b>TOTAL</b>						Rp62,173,866

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.8. Rekapitan Biaya Pembangunan Sistem Pengolahan**

<b>Unit</b>	<b>Biaya</b>
Intake	Rp72,481,500
Holding tank	Rp7,987,739
Rapid sand filter	Rp47,553,151
Ion Exchanger	Rp115,876,185
Nanofiltrasi	Rp142,430,000
Disinfeksi	Rp15,786,595
Reservoir	Rp62,173,866
Total	Rp464,289,037

Sumber: Hasil Perhitungan

## 5.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari biaya penyediaan bahan kimia, resin, dan media filter serta pembayaran listrik dan gaji tenaga kerja. Total biaya operasional dan pemeliharaan selama 1 tahun adalah Rp436.387.676. Berikut perhitungannya:

### Bahan Kimia

Bahan kimia yang dibutuhkan adalah asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), dan SDS (sodium dodesilsulfat). Regenerasi zat kimia dilakukan setiap 4 jam/cycle atau 0,16 hari/cycle dengan zat regenerasi HCl dan NaOH. Sementara, CIP dilakukan setiap 3 bulan sekali dengan menggunakan bahan kimia NaOH dan SDS, serta juga dibutuhkan HCl untuk menurunkan pH. Berikut adalah perhitungan biaya kebutuhan bahan kimia dari perencanaan ini:

1. Regenerasi HCl dan HCl pada proses CIP  
Kebutuhan per cycle = 1,74 kg  
Kebutuhan per tahun =  $1,74 \text{ kg} \times 0,16 \text{ hari/cycle} \times 365 \text{ hari}$   
= 105,92 kg  
Harga per kg = Rp1.068.225  
Harga total per tahun =  $\text{Rp}1.068.225 \times 105,92 \text{ kg}$   
= Rp113.142.508
2. Regenerasi NaOH  
Kebutuhan per cycle = 3,91 kg  
Kebutuhan per tahun =  $3,91 \text{ kg} \times 0,16 \text{ hari/cycle} \times 365 \text{ hari}$   
= 237,77 kg  
Harga per kg = Rp18.500  
Harga total per tahun =  $\text{Rp}18.500 \times 237,77 \text{ kg}$   
= Rp4.398.771
3. Klor bubuk  
Kebutuhan = 3,45 kg  
Kebutuhan per tahun = 1259,25 kg  
Harga per kg = Rp36.000  
Harga total per tahun =  $1259,25 \text{ kg} \times \text{Rp}36.000$   
= Rp45.333.000
4. Zat kimia CIP (NaOH)  
Kebutuhan per cycle = 0,38 kg

Kebutuhan per tahun =  $0,38 \text{ kg} \times (12 \text{ bulan} : 3 \text{ bulan})$   
= 2,52 kg  
Harga per kg = Rp18.500  
Harga total per tahun =  $\text{Rp}18.500 \times 2,52 \text{ kg}$   
= Rp46.620

5. Zat kimia CIP (SDS)

Kebutuhan per cycle = 0,11 kg  
Kebutuhan per tahun =  $0,11 \text{ kg} \times (12 \text{ bulan} : 3 \text{ bulan})$   
= 1,44 kg  
Harga per kg = Rp65.000  
Harga total per tahun =  $\text{Rp}65.000 \times 1,44 \text{ kg}$   
= Rp93.200

Total biaya penyediaan bahan kimia  
=  $\text{Rp}113.142.508 + \text{Rp}4.398.771 + \text{Rp}45.333.000 + \text{Rp}46.620 + \text{Rp}93.200$   
= Rp163.014.499

**Resin**

Resin diganti tiap 5 tahun sekali.

1. Kation ( $\text{Na}^+$ )

Kebutuhan = 679 liter  
Harga per liter = Rp35.608  
Harga total per tahun =  $679 \text{ liter} \times \text{Rp}35.608 : 5$   
= Rp4.835.499

2. Anion ( $\text{Cl}^-$ )

Kebutuhan = 1041 liter  
Harga per liter = Rp35.608  
Harga total per tahun =  $1041 \text{ liter} \times \text{Rp}35.608 : 5$   
= Rp7.413.482

Total biaya penyediaan resin per tahun  
=  $\text{Rp}4.835.499 + \text{Rp}7.413.482$   
= Rp12.248.980

**Media Filter**

Media filter diganti tiap 5 tahun sekali.

1. Pasir

Kebutuhan = 8480 kg  
Harga per kg = Rp2.000

$$\begin{aligned}\text{Harga total per tahun} &= 8480 \text{ kg} \times \text{Rp}2.000 : 5 \\ &= \text{Rp}3.392.000\end{aligned}$$

2. Antrasit

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan} &= 1062,30 \text{ kg} \\ \text{Harga per kg} &= \text{Rp}10.000 \\ \text{Harga total per tahun} &= 1062,30 \text{ kg} \times \text{Rp}10.000 : 5 \\ &= \text{Rp}2.124.590\end{aligned}$$

3. Kerikil

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan} &= 5,63 \text{ kg} \\ \text{Harga per kg} &= \text{Rp}200.000 \\ \text{Harga total per tahun} &= 5,63 \text{ kg} \times \text{Rp}200.000 : 5 \\ &= \text{Rp}.225.000\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total biaya penyediaan media filter per tahun} &= \text{Rp}3.392.000 + \text{Rp}2.124.590 + \text{Rp}225.000 \\ &= \text{Rp}5.741.590\end{aligned}$$

**Listrik**

1. Ion Exchanger

$$\begin{aligned}\text{Pengoperasian} &= 24 \text{ jam/hari} \\ \text{Daya} &= 1,5 \text{ kWh} \\ \text{Harga per kWh} &= \text{Rp}.1.115 \\ \text{Jumlah hari kerja per tahun} &= 365 \text{ hari} \\ \text{Harga per tahun} &= 1,5 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 365 \text{ hari} \times \text{Rp}.1.115 \\ &= \text{Rp}14.651.100\end{aligned}$$

2. Nanofiltrasi

$$\begin{aligned}\text{Pengoperasian} &= 24 \text{ jam/hari} \\ \text{Daya} &= 1,5 \text{ kWh} \\ \text{Harga per kWh} &= \text{Rp}.1.115 \\ \text{Jumlah hari kerja per tahun} &= 365 \text{ hari} \\ \text{Harga per tahun} &= 1,5 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 365 \text{ hari} \times \text{Rp}.1.115 \\ &= \text{Rp}14.651.100\end{aligned}$$

3. Ozone Disinfection

$$\begin{aligned}\text{Pengoperasian} &= 24 \text{ jam/hari} \\ \text{Daya} &= 1,5 \text{ kWh} \\ \text{Harga per kWh} &= \text{Rp}.1.115 \\ \text{Jumlah hari kerja per tahun} &= 365 \text{ hari}\end{aligned}$$

Harga per tahun  
 = 1,5 kWh x 24 jam/hari x 365 hari x Rp.1.115  
 = Rp14.651.100  
 Total biaya listrik per tahun  
 = Rp14.651.100 + Rp14.651.100 + Rp14.651.100  
 = Rp43.953.300

### Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang dibutuhkan adalah tenaga kerja ahli dan operator. Tenaga kerja ahli berjumlah 1 orang. Sementara, operator 3 orang dengan masing-masing 1 orang per shift. Gaji tenaga kerja mengikuti UMR Kota Surabaya Tahun 2020. Berikut adalah perhitungan biaya tenaga kerja:

Jumlah shift = 3 shift/hari  
 Kebutuhan pekerja = 4  
 Gaji per bulan (UMR) = Rp4.200.479,19  
 Gaji per tahun = 12 x Rp4.200.479,19  
 = Rp50.405.750,28  
 Gaji total per tahun = 4 x Rp50.405.750,28  
 = Rp201.623.001,12

Rekapan total dari biaya operasional dan pemeliharaan selama satu tahun terdapat pada **Tabel 5.** berikut.

**Tabel 5.9. Biaya Operasional dan Pemeliharaan 1 Tahun**

No	Jenis Biaya	Biaya OM
1	Bahan kimia	Rp163,014,499
2	Resin	Rp22,055,286
3	Media filter	Rp5,741,590
4	Listrik	Rp43,953,300
5	Tenaga kerja	Rp201,623,001
<b>TOTAL</b>		<b>Rp436,387,676</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Sistem perencanaan yang terpilih dalam pengolahan efluen IPAL PT SIER menjadi air minum untuk kegiatan industri terdiri dari *Rapid Sand Filter Dual Media*, *ion exchanger*, nanofiltrasi, dan *chlorine gas disinfection* dengan kapasitas pengolahan 2.700 m<sup>3</sup>/hari.
2. Biaya investasi yang diperoleh adalah Rp464.289.037. Dan biaya operasional pemeliharaan yang diperlukan dalam 1 tahun adalah Rp436.387.676.

#### **6.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari hasil Tugas Akhir ini untuk perencanaan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pemenuhan kualitas efluen juga memperhatikan baku mutu Parameter Tambahan Standar Kualitas Air Minum Nomor 492 Tahun 2010 agar diperoleh hasil olahan yang siap minum.

## DAFTAR PUSTAKA

- AEA, N *et al.* 2017. **Adsorption studies on the removal of COD and BOD from treated sewage using activated carbon prepared from date palm waste.** Environmental Science and Pollution Research. 24 (28): 22284-22293.
- Alberty, R.A., dan F. Daniel. 1987. **Physical Chemistry, 5<sup>th</sup> edition.** New York: John Wiley and Sons Inc.
- Amalia, D. A., Susanto, H., Istirokhatun, T. 2016. **Pengolahan Limbah Lindi Menggunakan Membran Nanofiltrasi NF99.** Jurnal Teknik Lingkungan. 5 (2): 1-13.
- Andina, Katrin. 2017. **Pengolahan Air Limbah Berminyak Dengan Teknologi Membran.** 1-10.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2018. **Kota Surabaya dalam Angka 2018.** Surabaya: Badan Pusat Statistik.
- Barakat, M. A., dan Ismat-Shah, S. 2013. **Utilization of anion exchange resin Spectra/Gelfor separation of arsenic from water.** Arabian Journal of Chemistry. (6): 307-311.
- Benfield, L. D., dan J. M. Morgan. 1999. **Chemical Precipitation, dalam: Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies, 5<sup>th</sup> edition.** Diedit oleh Letterman, R. D. New York: McGraw-Hill.
- Degremont. 1991. **Water Treatment Handbook.** Paris: Degremont Company.
- Denisova, V., Mezule, L., Juhna, T. 2014. **The Effect of Chlorination on Escherichia Coli Viability in Drinking Water.** Material Science and Applied Chemistry. 30: 45-50.
- Desmiarti, Reni dkk. 2017. **Kombinasi Proses Filtrasi dan Ion Exchange Secara Kontinu pada Pembuatan Aquadm (DeminerIALIZED Water).** Chemica. 4 (1): 27-32.
- Faizal, Achmad. 2016. **Keanekaragaman Biota Penempel (Biofouling) Pada Substrat Kayu dan Fiber Yang Digunakan Oleh Kapal Di Perairan Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta.** Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan: Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Firmansyah. 2015. **Perbandingan Efektivitas Saringan Pasir Lambat dengan Saringan Pasir Cepat (Gravity-Fet Filtering System) dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Kekeruhan dan Warna Pada Air Sumur Gali Tahun 2015**

- (Study Pada Sumur Gali di Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Kubu Raya).** Skripsi. Fakultas Ilmu Kesehatan: Universitas Muhammadiyah Pontianak. Pontianak.
- Gray, N. F. 2014. **Ozone Disinfection.** *Microbiology of Waterborne Diseases.* 599–615.
- Gregory R., dan James E. 2010. **Sedimentation & Flotation, Chapter 9 in Water Quality & Treatment, 6<sup>th</sup> edition.** New York: AWWA & McGrawHill.
- Gultom, T. B. 2016. **Kajian Sifat Fisik, Kimia dan Mikrobiologi Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Tanjungkarang Pusat Kota Bandar Lampung.** Tesis. Program Pasca Sarjana Magister Ilmu Lingkungan: Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hudori., dan Rafiandy, Awwal. 2016. **Efektifitas Pengolahan Greywater dengan Menggunakan *Rapid Sand Filter* (RSF) dalam Menurunkan Kekeruhan, TSS, BOD, dan COD.** Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan: Universitas Islam Indonesia. Sleman.
- Jumadil. 2017. **Aplikasi Teknik Saringan Pasir Untuk Daur Ulang Air Rendaman Lada.** Tesis: Universitas Hasanuddin. Makassar.
- JW, H., E, G., SJ, J. 2013. **Granular activated carbon for removal of organic matter and turbidity from secondary wastewater.** 67 (4): 846-853.
- Khulbe, K. C., dan Matsuura, T. 2018. **Removal of heavy metals and pollutants by membrane adsorption techniques.** *Applied Water Science.* 8 (19): 1-30.
- Kusumawardani, D., dan Iqbal, R. 2013. **Evaluasi Performa Pengadukan Hidrolis Sebagai Koagulator Dan Flokulator Berdasarkan Hasil Jar Test.** Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan: Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Lakshminarayanaiah N. 1984. **Equations in Membrane Biophysics.** New York: Academic Press.
- Masduqi, A., dan Abdu F. A. 2016. **Operasi dan Proses Pengolahan Air.** Surabaya: ITSPress.
- Mazille, Feilicien., dan Dorothee Spuhler. 2019. **Ozonation.** <URL:<https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/ozonation>>

- Metcalf., dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4<sup>th</sup> edition.** New York: McGraw-Hill.
- Mizwar, A., dan Diena, N. N. F. 2012. **Penyisihan Warna Pada Limbah Cair Industri Sasirangan dengan Adsorpsi Karbon Aktif.** INFO TEKNIK. 13 (1): 11-16.
- Moldoveanu, S., dan David, V. 2015. **Mechanical Processing in Sample Preparation.** Modern Sample Preparation for Chromatography. 89 – 104.
- Mortula, Maruf., dan Shabani, Sina. 2012. **Removal of TDS and BOD from Synthetic Industrial Wastewater via Adsorption.** IPCBEE. 41: 166-170.
- Mulder, M. 1996. **Basic Principles of Membrane Technology, 2<sup>nd</sup> edition.** Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Nila Sari Mahardani, Ferdyan Hijrah Kusuma. 2010. **Pengolahan Air Baku Menjadi Air Minum Dengan Teknologi Membran Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi.** Karya Ilmiah. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan: Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Oscik, J. 1982. **Adsorption.** New York: John Willey & Sons Inc.
- O'Connor, J. T., dan O'Connor, T. L. 2015. **Removal of Microorganisms by Rapid Sand Filtration:** 1-19.
- Pemerintah Provinsi Jawa Timur. 2013. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan.** Surabaya: Sekretariat Provinsi.
- Pemerintah Indonesia. 2001. **Peraturan Pemerintah No. 81.** Jakarta: Pemerintah Pusat.
- Pemerintah Indonesia. 2010. **Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/PER/IV/210.** Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Pongpanglilu, D. A., dan Mariyah, M. 2015. **Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT SIER (Surabaya Industrial Estate Rungkut).** Laporan Kerja Praktik. Fakultas Teknik: Universitas Widya Mandala. Surabaya.
- PT SIER. 2017. **Laporan Tahunan PT SIER 2017.** Surabaya: PT SIER.
- PT SIER. 2019. **Penanganan Limbah.** <URL: <https://www.sier.id/Product/WasteManagement>>
- PT SIER. 2020. **Hasil Analisis Kualitas Efluen.** Surabaya: PT SIER.

- Rahmat, S. N dkk. 2017. **Oil and Grease (O&G) Removal From Commercial Kitchen Waste Water Using Carbonised Grass As A Key Media**. MATEC Web of Conferences. 87: 1-5.
- Research Gate. 2019. **How ion exchange method helps in reducing BOD and COD in wastewater?**. <URL: [https://www.researchgate.net/post/How\\_ion\\_exchange\\_method\\_helps\\_in\\_reducing\\_BOD\\_and\\_COD\\_in\\_wastewater](https://www.researchgate.net/post/How_ion_exchange_method_helps_in_reducing_BOD_and_COD_in_wastewater)>
- Reynolds, T. D., dan Richards, P. A. 1996. **Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, 2<sup>nd</sup> edition**. Boston: PWS Publishing Company.
- Savitri, Dita. Interview. 2019. **Latar Belakang Program Recycle Efluen IPAL PT SIER**. Surabaya.
- Shammas, N. K., dan Wang, L. K. 2010. **Fair, Geyer, and Okun's, Water and Wastewater Engineering: Water Supply and Wastewater Removal, 3rd Edition**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- SNI 6774: 2008. **Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air**. Jakarta : BSN.
- Sontheimer, H., J. C. Cririttenden., dan R. S Summers. 1998. **Activated Carbon for Water Treatment, 2<sup>nd</sup> edition**. In English. DVGW-Forschungstelle. Engler-Bunte-Institute. Universitat Karlshure. Germany.
- Ujile, Awajjogak Anthony. 2014. **Chemical Engineering Unit Operations, Synthesis and Basic Design Calculations**. Dedit oleh Prof J. A. Kehinde. Lagos: BOMN PRINTS.
- United States EPA. 2019. **Water Reuse and Recycling: Community and Environmental Benefits**. <URL: <https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/>>
- United States Geological Survey. 2019. **Industrial Water Use**. <URL: [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/industrial-water-use?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/industrial-water-use?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)>
- United State Golf Association. 2014. **What is Recycled Water?**. <URL: <https://www.usga.org/content/usga/home-page/course-care/water-resource-center/our-experts-explain--water/what-is-recycled-water-.html>>
- Widayanti, Nanda. 2013. **Karakterisasi Membran Selulosa Asetat Dengan Variasi Komposisi Pelarut Aseton dan**

- Asam Format.** Skripsi. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember. Jember.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. **Kualitas Air dan Air Limbah.** <URL: <http://standardisasi.menlhk.go.id/index.php/daftar-standar-nasional/sni/teknologi-pengujian/kualitas-air-dan-air-limbah/>>
- Visscher, J. T. 1999. **Slow Sand Filtration: Design, Operation, and Maintenance.** American Water Works Association. 82 (6): 67-71.
- Wardhani, Eka., Dirgawati, Mila., Alvina, Ima Fauzia. 2014. **Kombinasi Proses Presipitasi dan Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit.** Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan: Institut Teknologi Nasional. Bandung.

## **LAMPIRAN 1**

### **PENGAMBILAN SAMPEL**

- Pengambilan Sampel
  - Lokasi pengambilan sampel adalah di IPAL PT SIER.
  - Titik pengambilan sampel adalah di bak efluen IPAL PT SIER
  - Pengambilan sampel dilakukan 3 kali dengan hari yang sama yaitu hari Rabu tiap minggunya. Dilaksanakan pada pukul 09.30 WIB - 10.00 WIB.
  - Parameter yang diuji adalah kekeruhan, TDS, warna, arsen, selenium, besi, fluorida, nitrit, *E. coli*, dan total coli.
  - Langkah-langkah pengambilan sampel:
    - a. Menyiapkan wadah sampel. Wadah sampel yang digunakan adalah jerigen 5 L dan botol steril. Sampel dengan wadah jerigen adalah sampel untuk uji parameter fisik dan kimia. Sementara, botol steril digunakan sebagai wadah sampel parameter mikrobiologi.
    - b. Mengambil sampel air di bagian tengah aliran bak efluen yang menuju ke badan air. Pengambilan sampel dengan wadah jerigen dilakukan seperti biasa. Sementara, pengambilan sampel dengan wadah botol steril harus dilakukan dengan adanya proses sterilisasi botol.
    - c. Botol steril dipanaskan mulut botolnya dengan kapas yang telah dibakar. Sebelumnya kapas telah direndam dengan alcohol. Kemudian, lewatkan kapas di mulut botol, lalu tuang sampel. Kemudian, lewatkan lagi mulut botol di dekat kapas terbakar, dan langsung tutup botol steril.



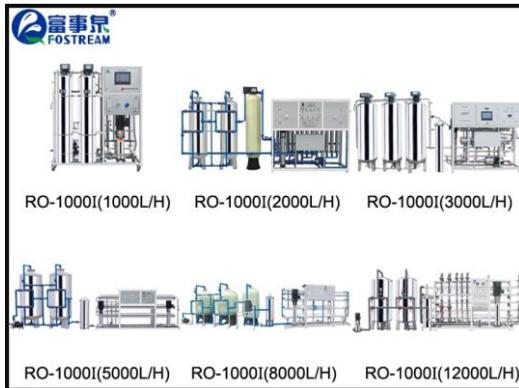
**Pengambilan Sampel di Titik Pengambilan Sampel Bak Efluen IPAL PT SIER**



**Proses Sterilisasi Penuangan Sampel**

## LAMPIRAN 2 UNIT REVERSE OSMOSIS

Nama Produk : RO-10001  
Kapasitas : 12000 L/jam  
Harga : \$8,000.00 (1 set)  
          \$2,000.00 (<=2 sets) -> Beli 6 set  
Dimensi : 1980 x 900 x 1940 mm  
Pabrik : Jiangmen First Drinking Water Equipment Co.,  
          Ltd.  
Gambar Produk :



**LAMPIRAN 3**  
**SERTIFIKAT HASIL PENGUJIAN**



# LABORATORIUM PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA

Jl. Penjernihan No. 1, Surabaya;  
Jl. Mastrip 56A, Karangpilang, Surabaya  
Jl. Prof. Dr. Moestopo No. 2, Surabaya 60131  
telp. (031) 5039373 - 5039392, 5039676 Fax. 5030100  
Website : www.pdam-sby.go.id



## Laporan Pengujian

Nomor : 264 / LAB-PK / IV / 2020

### Pengujian Kualitas Air Effluent IPAL PT. SIER

Nama Pelanggan : Dita Amara Yeranda  
Alamat Pelanggan : Dusun Krajan, Randupitu, Gending, Probolinggo  
Kode Contoh Uji : D/ 2020 / Ext / 00112  
Metode Pengambilan Contoh Uji : Grab (\*\*\*)  
Tanggal Pengambilan Sample/Jam : 08 April 2020  
Tempat Analisa : Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya  
Tanggal Analisa : 08 April 2020 - 13 April 2020

No	Parameter	Satuan	Standart Maksimal **)	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b><u>I. UJI FISIKA</u></b>						
1	Turbidity	Skala NTU	5	3,92	IK-7.4.1-1	*)
2	Total Dissolve Solid (TDS)	mg/L	500	<b>1064</b>	SNI 06: 6989.27-2005	*)
3	Warna	Skala TCU	15	9	SNI 6989.80:2011	
<b><u>II. UJI KIMIA</u></b>						
1	Besi (Fe)	mg/L Fe	0,3	< 0.0668	APHA 3500-Fe-B-2012 (MDL < 0,005)	*)
2	Arsen (As)	mg/L As	0,01	< 0,005	Test kit Aquaquant (LD < 0,005)	
3	Flourida (F)	mg/L F	1,5	1,32	APHA 4500-F-D-2012	*)
4	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L NO <sub>2</sub>	3	< 0.0298	APHA 4500-NO2-B-2012 (MDL < 0,0298)	*)
5	Selenium (Se)	mg/L Se	0,01	< 0.007803	APHA 3120 B-2012 (MQL < 0,007803)	
<b><u>III. UJI MIKROBIOLOGI</u></b>						
1	Total Coli	JPT/100 ml	0	<b>920000</b>	APHA 9221-B-2012	*)
2	E-Coli	JPT/100 ml	0	<b>140000</b>	APHA 9221-E-2012	*)

Kesimpulan : -

Keterangan :

\*) Parameter Ruang Lingkup SNI ISO/IEC 17025:2017

\*\*) Standart Maksimal berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

\*\*\*) Disampling oleh pelanggan

Hasil analisa hanya berlaku untuk Contoh Uji di atas

Surabaya, 13 April 2020  
**Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi  
PDAM Surya Sembada Kota Surabaya**  
  
**Achmad Agus Salim, ST**  
Manajer Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi





# LABORATORIUM PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA

Jl. Penjernihan No. 1, Surabaya;  
Jl. Mastrip 56A, Karangpilang, Surabaya  
Jl. Prof. Dr. Moestopo No. 2, Surabaya 60131  
telp. (031) 5039373 - 5039392, 5039676 Fax. 5030100  
Website : www.pdam-sby.go.id



## Laporan Pengujian

Nomor : 268 / LAB-PK / IV / 2020

### Pengujian Kualitas Air Effluent IPAL PT. SIER

Nama Pelanggan : Dita Amara Yeranda  
Alamat Pelanggan : Dusun Krajan, Randupitu, Gending, Probolinggo  
Kode Contoh Uji : D/ 2020 / Ext / 00147  
Metode Pengambilan Contoh Uji : Grab (\*\*\*)  
Tanggal Pengambilan Sample/Jam : 15 April 2020  
Tempat Analisa : Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya  
Tanggal Analisa : 15 April 2020 - 21 April 2020

No	Parameter	Satuan	Standart Maksimal (**)	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b>I. UJI FISIKA</b>						
1	Turbidity	Skala NTU	5	4,30	IK-7.4.1-1	*)
2	Total Disolve Solid (TDS)	mg/L	500	<b>610</b>	SNI 06: 6989.27-2005	*)
3	Temperature	°C	suhu udara $\pm$ 3°C	27	SNI 06-6989.23-2005	*)
4	Warna	Skala TCU	15	4	SNI 6989.80:2011	
<b>II. UJI KIMIA</b>						
1	Besi (Fe)	mg/L Fe	0,3	0,013	APHA 3500-Fe-B-2012 (MDL < 0,005)	*)
2	Arsen (As)	mg/L As	0,01	< 0,005	Test kit Aquaquant (LD < 0,005)	
3	Flourida (F)	mg/L F	1,5	<b>1,69</b>	APHA 4500-F-D-2012	*)
4	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L NO <sub>2</sub>	3	0,0787	APHA 4500-NO <sub>2</sub> -B-2012	*)
5	Selenium (Se)	mg/L Se	0,01	< 0.007803	APHA 3120 B-2012 (MQL < 0,007803)	
<b>III. UJI MIKROBIOLOGI</b>						
1	Total Coli	JPT/100 ml	0	<b>350000</b>	APHA 9221-B-2012	*)
2	E-Coli	JPT/100 ml	0	<b>23000</b>	APHA 9221-E-2012	*)

Kesimpulan : -

Keterangan :

\*) Parameter Ruang Lingkup SNI ISO/IEC 17025:2017

\*\*) Standart Maksimal berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

\*\*) Disampling oleh pelanggan

Hasil analisa hanya berlaku untuk Contoh Uji di atas



Surabaya, 21 April 2020  
Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi  
PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

**Achmad Agus Salim, ST**  
Manajer Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi



# LABORATORIUM PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA

Jl. Penjernihan No. 1, Surabaya;  
Jl. Mastrip 56A, Karangpilang, Surabaya  
Jl. Prof. Dr. Moestopo No. 2, Surabaya 60131  
telp. (031) 5039373 - 5039392, 5039676 Fax. 5030100  
Website : www.pdam-sby.go.id



## Laporan Pengujian

Nomor : 279 / LAB-PK / IV / 2020

### Pengujian Kualitas Air Effluent IPAL PT. SIER

Nama Pelanggan : Dita Amara Yeranda  
Alamat Pelanggan : Dusun Krajan, Randupitu, Gending, Probolinggo  
Kode Contoh Uji : D/ 2020 / Ext / 00157  
Metode Pengambilan Contoh Uji : Grab \*\*\*)  
Tanggal Pengambilan Sample/Jam : 22 April 2020  
Tempat Analisa : Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya  
Tanggal Analisa : 22 April 2020 - 27 April 2020

No	Parameter	Satuan	Standart Maksimal (**)	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
<b>I. UJI FISIKA</b>						
1	Turbidity	Skala NTU	5	2,50	IK-7.4.1-1	*)
2	Total Dissolve Solid (TDS)	mg/L	500	<b>616</b>	SNI 06: 6989.27-2005	*)
3	Temperature	°C	suhu udara $\pm$ 3°C	28	SNI 06-6989.23-2005	*)
4	Warna	Skala TCU	15	9	SNI 6989.80:2011	
<b>II. UJI KIMIA</b>						
1	Besi (Fe)	mg/L Fe	0,3	<b>0,759</b>	APHA 3500-Fe-B-2012 (MDL < 0,005)	*)
2	Arsen (As)	mg/L As	0,01	< 0,005	Test kit Aquaquant (LD < 0,005)	
3	Flourida (F)	mg/L F	1,5	<b>1,92</b>	APHA 4500-F-D-2012	*)
4	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L NO <sub>2</sub>	3	0,011	APHA 4500-NO2-B-2012	*)
5	Selenium (Se)	mg/L Se	0,01	< 0.007803	APHA 3120 B-2012 (MQL < 0,007803)	
<b>III. UJI MIKROBIOLOGI</b>						
1	Total Coli	JPT/100 ml	0	<b>540000</b>	APHA 9221-B-2012	*)
2	E-Coli	JPT/100 ml	0	<b>79000</b>	APHA 9221-E-2012	*)

Kesimpulan :-

Keterangan :

\*) Parameter Ruang Lingkup SNI ISO/IEC 17025:2017

\*\*) Standart Maksimal berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

\*\*\*) Disampling oleh pelanggan

Hasil analisa hanya berlaku untuk Contoh Uji di atas

Surabaya, 27 April 2020

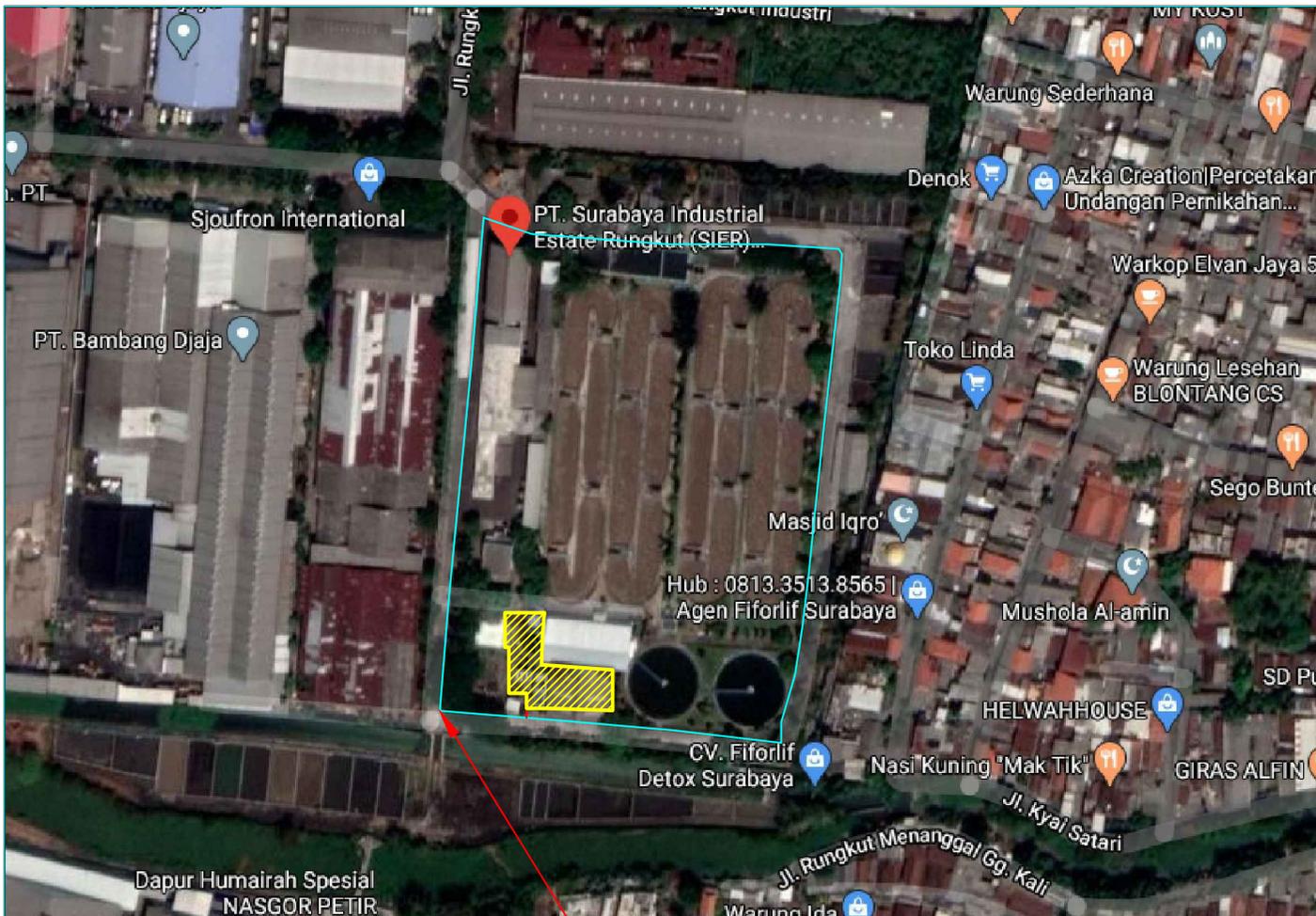
Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi  
PDAM Surya Sembada Kota Surabaya



**Achmad Agus Salim, ST**

Manajer Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi

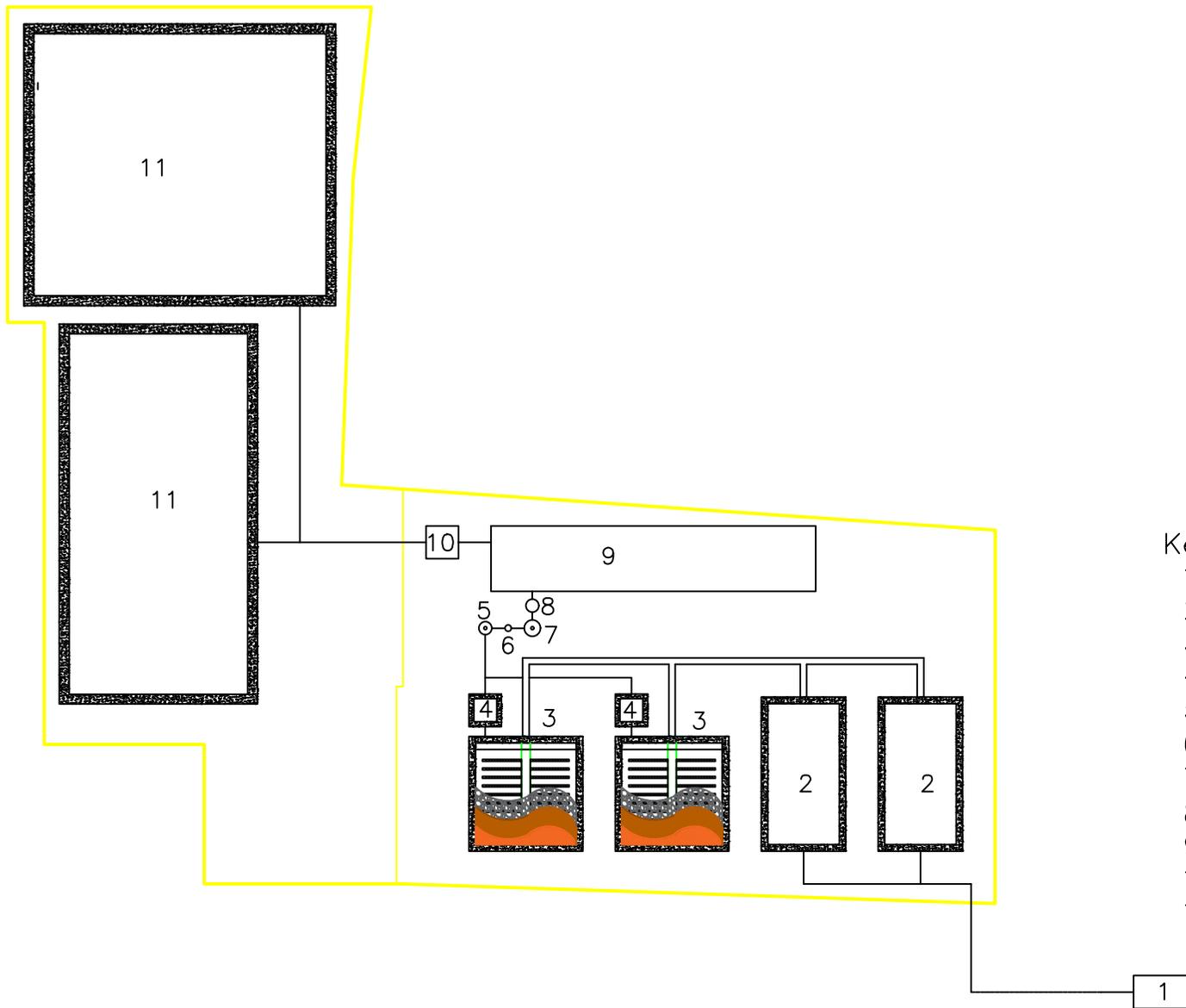
**LAMPIRAN 4**  
**GAMBAR PERENCANAAN**



a. Lokasi IPAL PT SIER  
(13680,48 m<sup>2</sup>)

b. Detail Lahan Perencanaan  
(476,85 m<sup>2</sup>)

<p>Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020</p>	Judul Tugas Akhir	Disusun Oleh:	Judul Gambar:		Legenda
	Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri	Dita Amara Yeranda 0321164000017	a. Lokasi IPAL PT SIER b. Detail Lahan Perencanaan		
		Dosen Pembimbing	Nomor	Skala	
		Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001	01	a. 1:2000 b. 1:500	



Keterangan:

1. Intake
2. Holding tank
3. Rapid sand filter
4. Bak penampung efluen filter
5. Ion exchanger (kation)
6. CO<sub>2</sub> stripper
7. Ion exchanger (anion)
8. Bak penampung
9. Nanofiltrasi
10. Gas chlor disinfection
11. Reservoir



Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

Judul Tugas Akhir

Perencanaan  
Pengolahan Daur Ulang  
Efluen IPAL PT SIER  
Menjadi Air Minum  
Untuk Kegiatan Industri

Disusun Oleh:

Dita Amara Yeranda  
0321164000017

Dosen Pembimbing

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

Judul Gambar:

Layout Perencanaan

Nomor

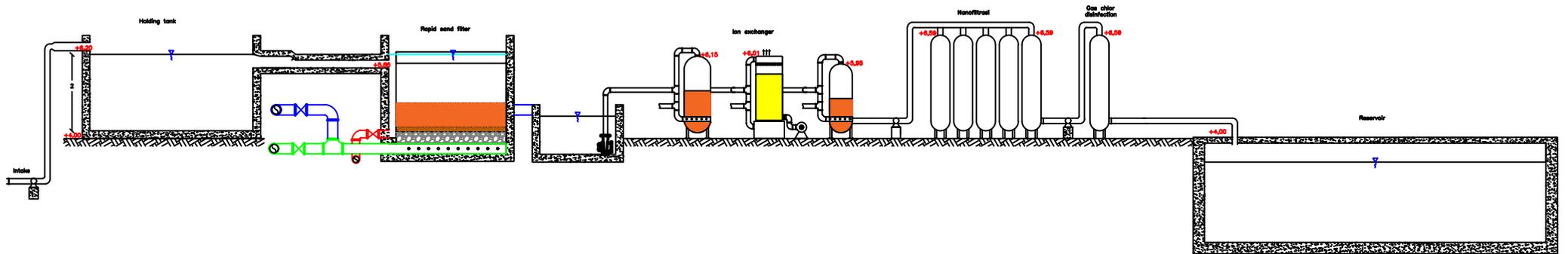
02

Skala

1:200

Legenda

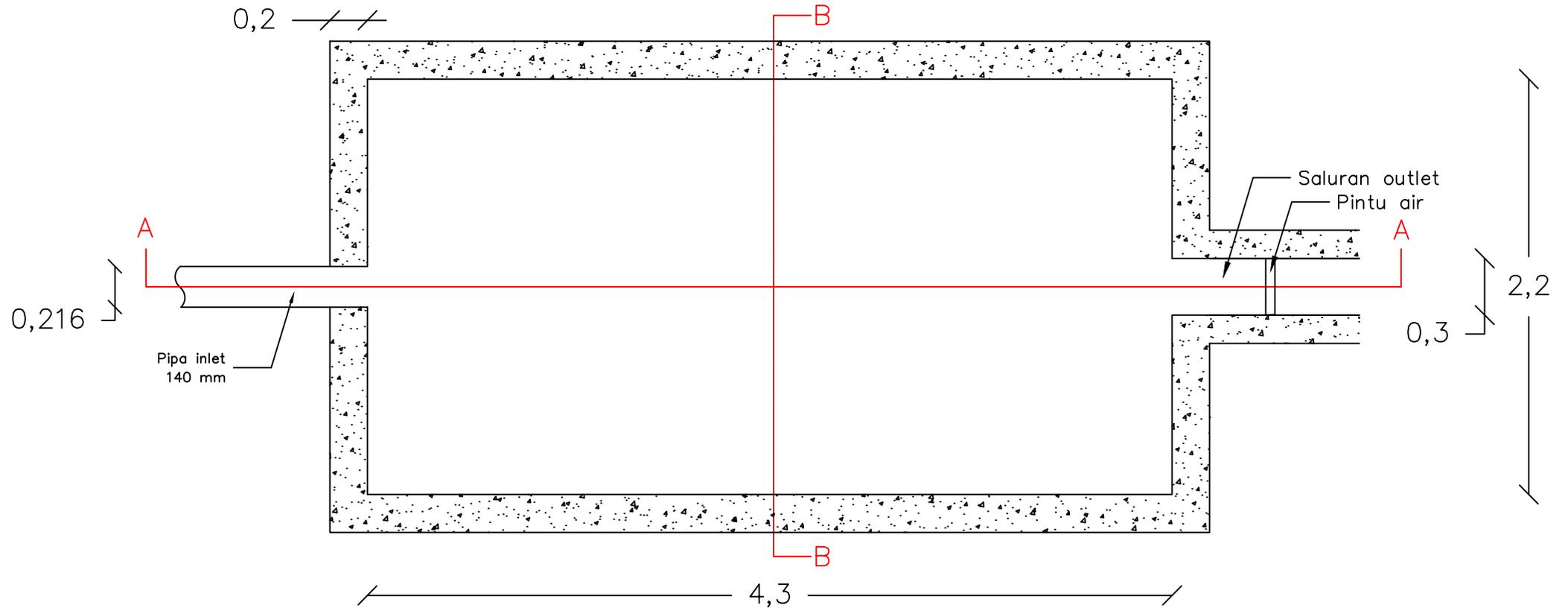
## Profil Hidrolis



Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

	Judul Tugas Akhir	Disusun Oleh:	Judul Gambar:		Legenda
	Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri	Dita Amara Yeranda 0321164000017	Profil Hidrolis		
		Dosen Pembimbing	Nomor	Skala	
		Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001	03	1:150	

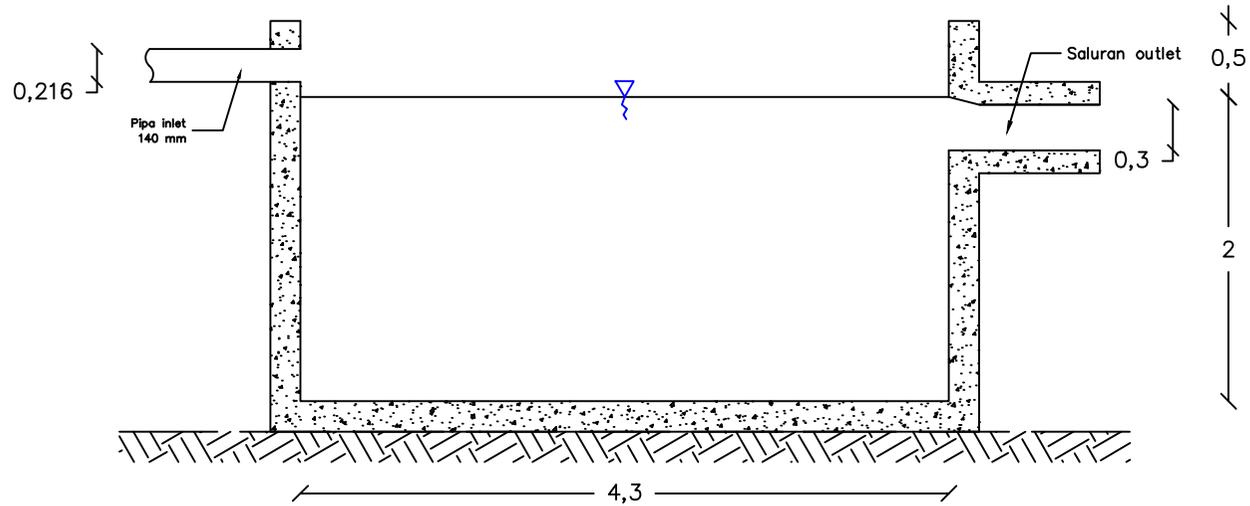
## Denah Holding Tank



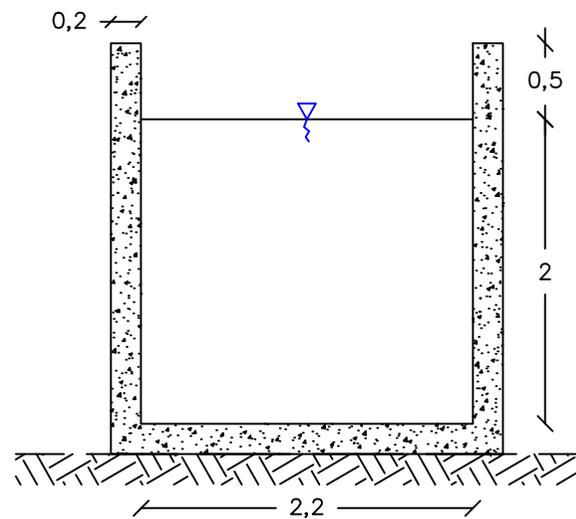
Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

<b>Judul Tugas Akhir</b>	Disusun Oleh:		Judul Gambar:		<b>Legenda</b>
	Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri		Denah Holding Tank		
	Dita Amara Yeranda 0321164000017		Nomor	Skala	
	Dosen Pembimbing		04	1:30	
Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001					

a. Potongan A-A



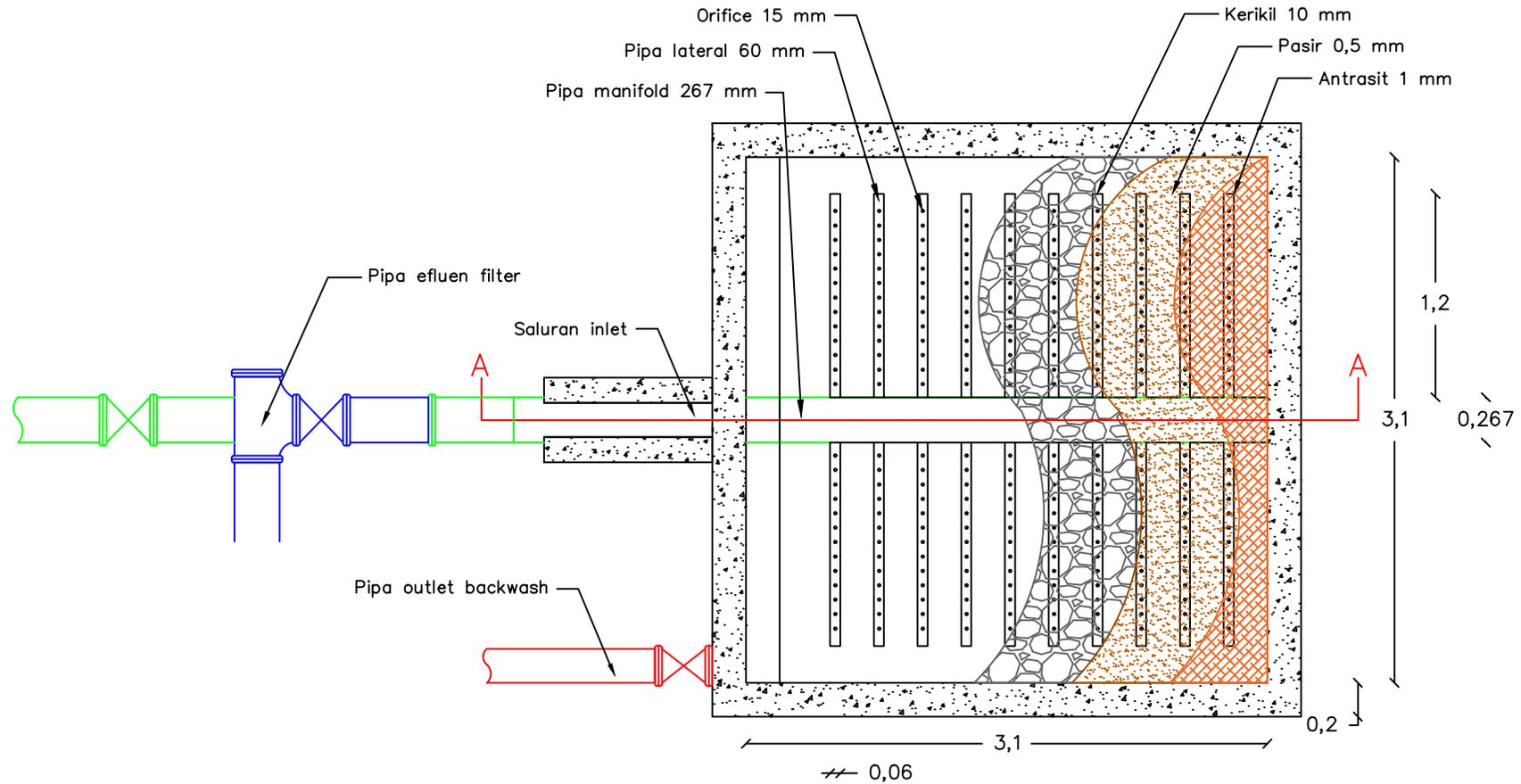
b. Potongan B-B



Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

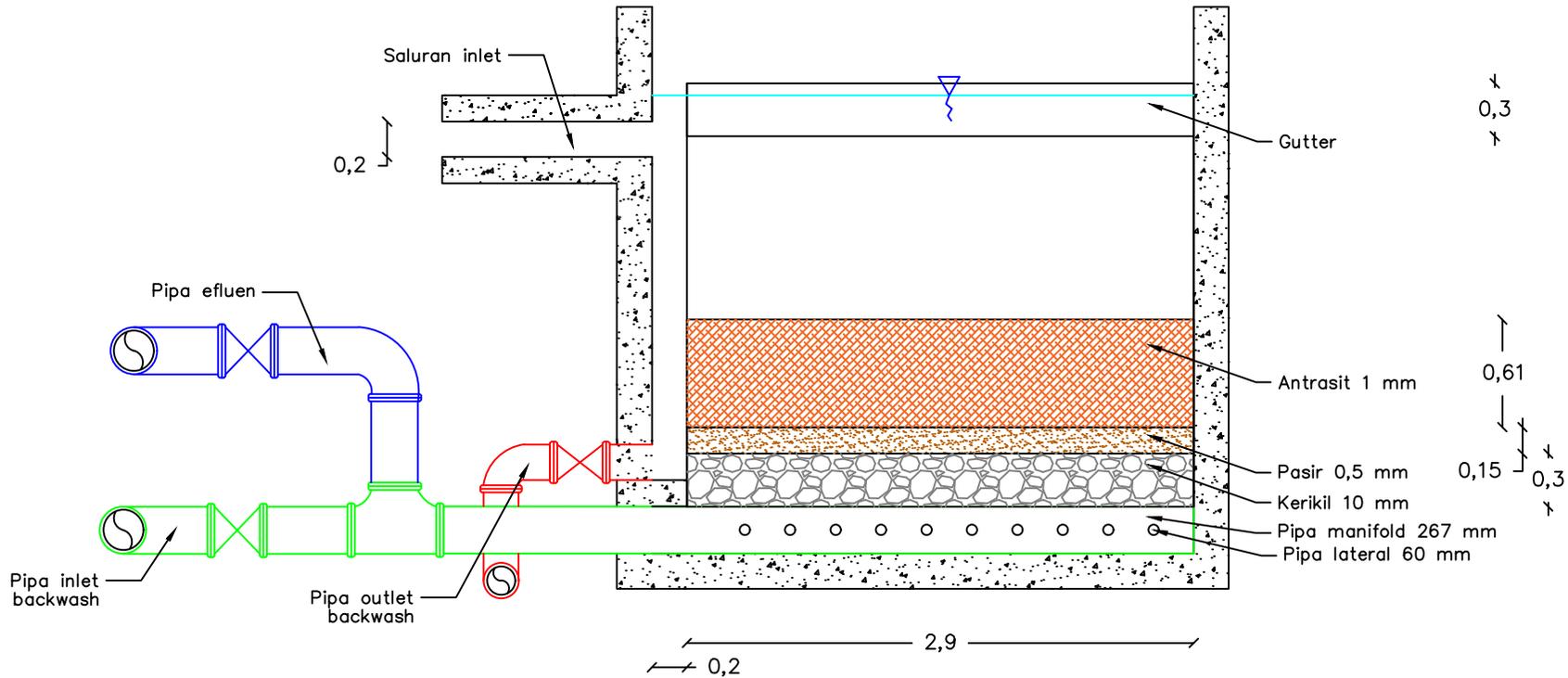
<p>Judul Tugas Akhir</p>	<p>Disusun Oleh:</p>		<p>Judul Gambar:</p>		<p>Legenda</p>
	<p>Dita Amara Yeranda 0321164000017</p>		<p>a. Potongan A-A b. Potongan B-B</p>		
	<p>Dosen Pembimbing</p>		<p>Nomor</p>	<p>Skala</p>	
	<p>Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001</p>		<p>05</p>	<p>a. 1:50 b. 1:50</p>	

## Denah RSF Dual Media



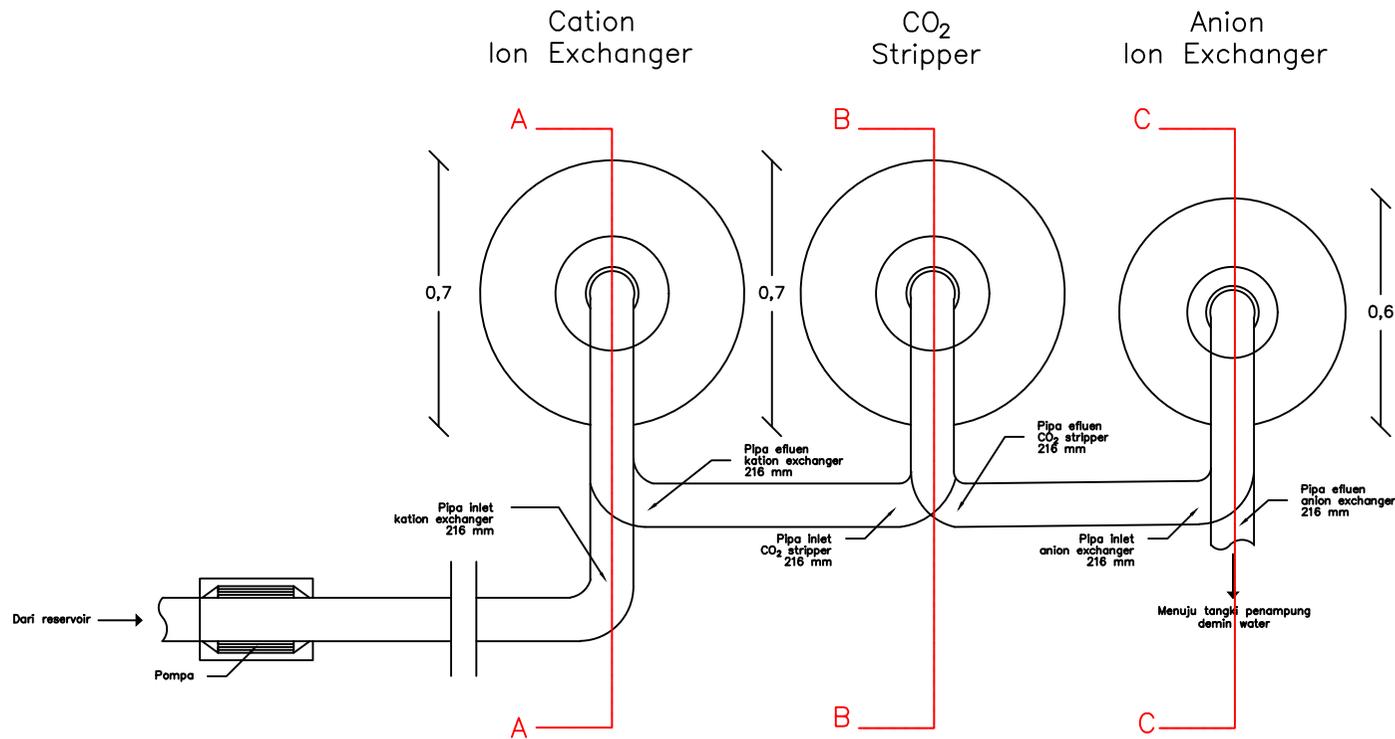
<p>Judul Tugas Akhir</p>	<p>Disusun Oleh:</p>		<p>Judul Gambar:</p>		<p>Legenda</p>
	<p>Dita Amara Yeranda 0321164000017</p>		<p>Denah RSF Dual Media</p>		
	<p>Dosen Pembimbing</p>		<p>Nomor</p>	<p>Skala</p>	
	<p>Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001</p>		<p>06</p>	<p>1:40</p>	

# Potongan A-A



Judul Tugas Akhir	Disusun Oleh:	Judul Gambar:		Legenda
Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri	Dita Amara Yeranda 0321164000017	Potongan A-A Rapid Sand Filter		
	Dosen Pembimbing	Nomor	Skala	
	Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001	07	1:40	

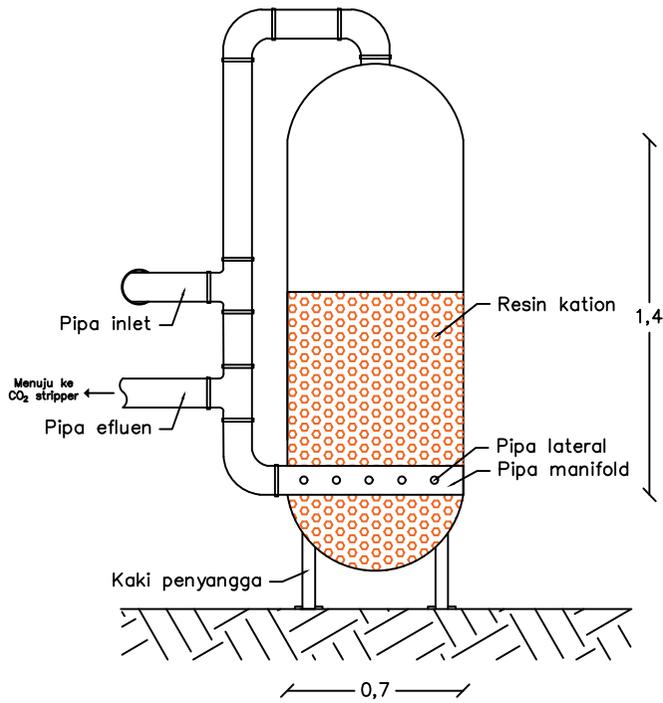
# Denah Ion Exchanger



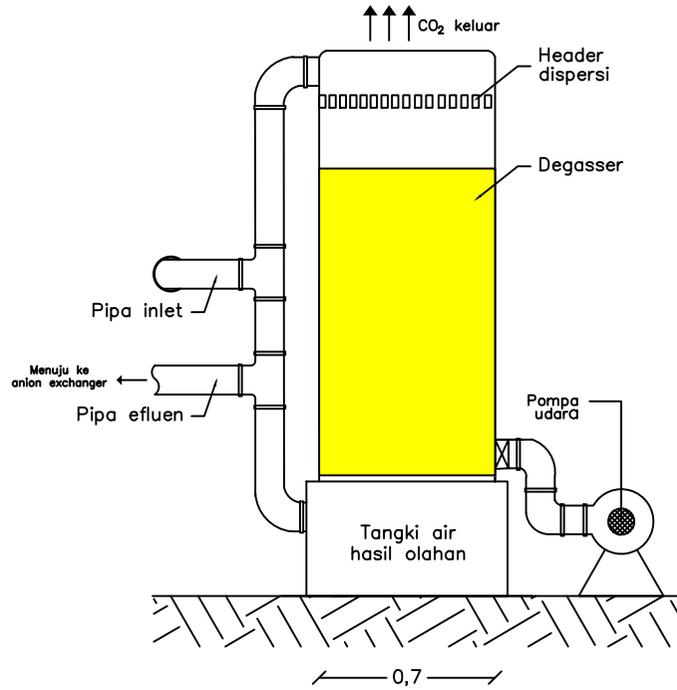
Departemen Teknik Lingkungan  
 Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
 Surabaya  
 2020

	Judul Tugas Akhir	Disusun Oleh:	Judul Gambar:		Legenda
	Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri	Dita Amara Yeranda 03211640000017	Denah Ion Exchanger		
		Dosen Pembimbing	Nomor	Skala	
		Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001	08	1:20	

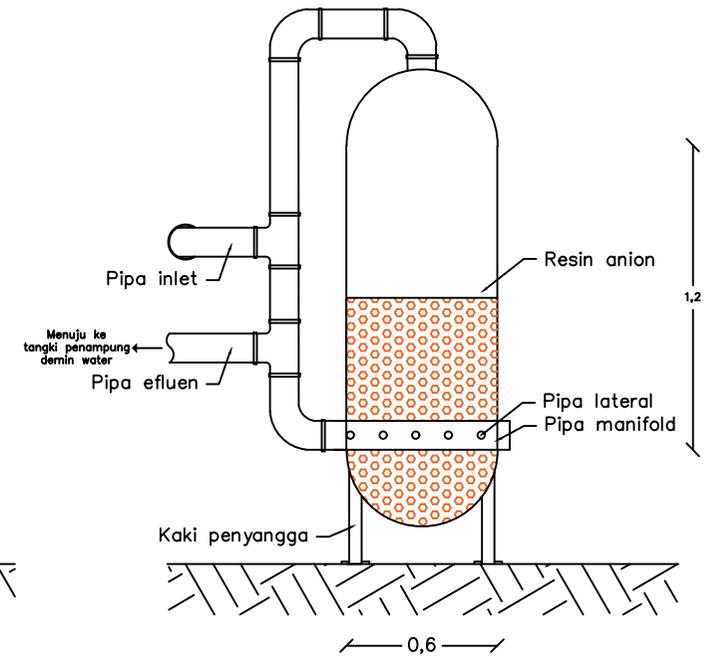
a. Potongan A-A



a. Potongan B-B



a. Potongan C-C



Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

Judul Tugas Akhir

Perencanaan  
Pengolahan Daur Ulang  
Efluen IPAL PT SIER  
Menjadi Air Minum  
Untuk Kegiatan Industri

Disusun Oleh:

Dita Amara Yeranda  
0321164000017

Dosen Pembimbing

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

Judul Gambar:

a. Potongan A-A  
b. Potongan B-B  
c. Potongan C-C

Nomor

09

Skala

a. 1:30  
b. 1:30  
c. 1:30

Legenda

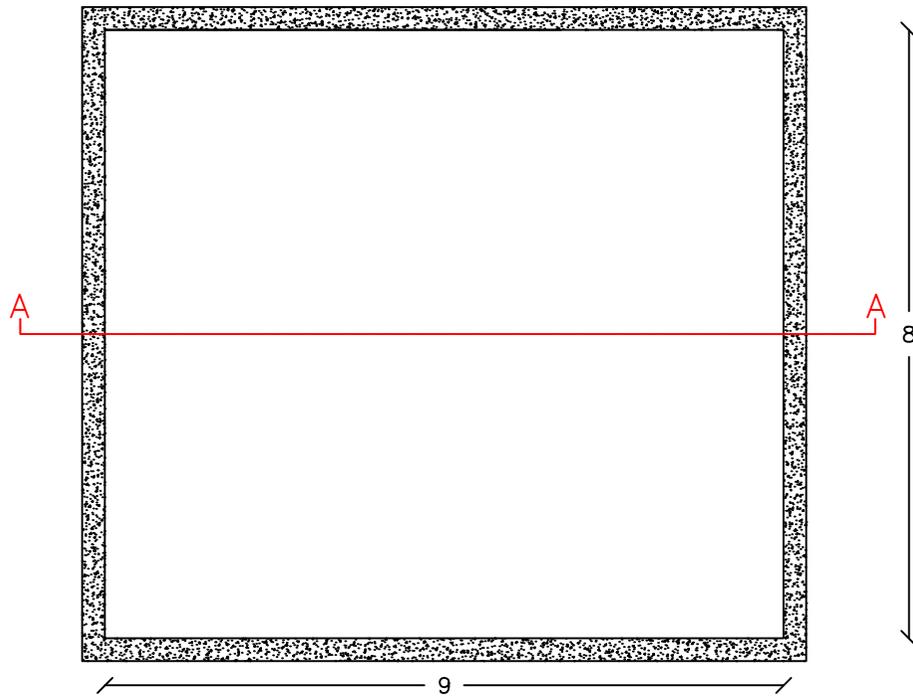
Nama produk : Industrial Nanofiltrration Membrane System  
 Dimensi : 10 x 2 x 2,5 m  
 Pabrik : Shandong Zhaojin Motian CO., Ltd.



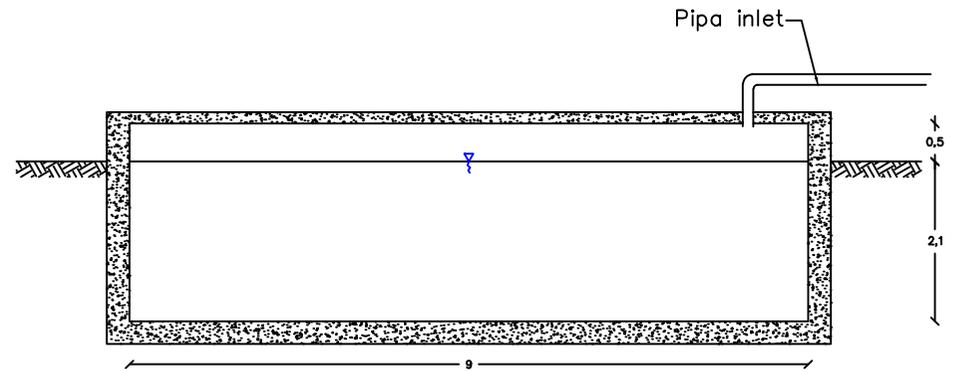
Departemen Teknik Lingkungan  
 Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
 Surabaya  
 2020

Judul Tugas Akhir  Perencanaan Pengolahan Daur Ulang Efluen IPAL PT SIER Menjadi Air Minum Untuk Kegiatan Industri	Disusun Oleh:  Dita Amara Yeranda 0321164000017	Judul Gambar:  Unit Pengolahan Nanofiltrasi		Legenda
	Dosen Pembimbing  Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc. NIP. 19590811 198701 1 001	Nomor  10	Skala  -	

a. Denah Reservoir



b. Potongan A-A



Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

Judul Tugas Akhir

Perencanaan  
Pengolahan Daur Ulang  
Efluen IPAL PT SIER  
Menjadi Air Minum  
Untuk Kegiatan Industri

Disusun Oleh:

Dita Amara Yeranda  
0321164000017

Dosen Pembimbing

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

Judul Gambar:

a. Denah Reservoir  
b. Potongan A-A

Nomor

11

Skala

a. 1:100  
b. 1:100

Legenda

## BIOGRAFI PENULIS



Dita Amara Yeranda, lahir di Probolinggo tanggal 29 Oktober 1997 dan merupakan anak bungsu dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK PG Gending pada tahun 2002 – 2004, SDN Gending 1 pada tahun 2004 – 2010, SMPN 1 Kota Probolinggo pada tahun 2010 – 2013, dan SMAN 1 Probolinggo pada tahun 2013 – 2016. Penulis menempuh pendidikan S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya angkatan 2016 dan terdaftar dengan NRP 0321164000017.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten laboratorium mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan pada tahun 2018 dan asisten laboratorium mata kuliah Remediasi Lingkungan pada tahun 2019. Penulis juga aktif di kegiatan kemahasiswaan, yaitu sebagai staff divisi ILM (Iklan Layanan Masyarakat) ITS TV tahun 2017 – 2018, sekretaris ITS TV pada tahun 2018-2019, Kepala Divisi HRM ITS TV tahun 2019-2020, beberapa kepanitian event yang diselenggarakan diluar maupun didalam Departemen Teknik Lingkungan, dan pelatihan yang pernah penulis ikuti. Penulis juga menimba pengalaman melalui Kerja Praktik di PT Badak NGL pada tahun 2019 dan magang PMMB (Program Magang Mahasiswa Bersertifikat) di Kantor Pusat Pelindo III di divisi HSSE pada tahun 2020.

Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini serta memberikan kritik dan saran, penulis dapat dihubungi melalui email: [ditayeranda@gmail.com](mailto:ditayeranda@gmail.com).



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

## KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

**Nama** : Dita Amara Yeranda  
**NRP** : 03211640000017  
**Judul** : Perencanaan Pengolahan  
Daur Ulang Efluen IPAL PT  
SIER Menjadi Air Minum  
Untuk Kegiatan Industri

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	26-02-20	Persiapan sampling dan rencana <i>preliminary design</i>	
2	24-03-20	Perencanaan alternatif pengolahan	
3	07-04-20	Penentuan parameter yang diuji di laboratorium	
4	14-04-20	Penentuan lokasi lahan perencanaan	
5	22-04-20	Penentuan alternatif pengolahan yang dipilih, perencanaan holding tank, jumlah unit pengolahan	

6	28-04-20	Perencanaan holding tank, unit koagulasi, dan unit flokulasi	
7	06-05-20	Perencanaan Rapid Sand Filter	
8	13-05-20	Perencanaan ion exchanger dan gambar teknik bak flokulasi	
9	16-05-20	Perencanaan ion exchanger	
10	21-05-20	Perencanaan ion exchanger dan nanofiltrasi	
11	06-06-20	Persiapan seminar progress	
12	10-06-20	Asistensi revisi progres	
13	27-07-20	Asistensi revisi progres	

Surabaya, 7 Agustus 2020  
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

## Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

### Lisan Air

---

#### Lab Teknologi Pengolahan Air

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxxx)

**Dita Amara Yeranda (321164000017)**

Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

**Saran:**

ikuti saran perbaikan dari bapak – bapak penguji

LULUS

Dosen Penguji 1: Adhi Yuniarto, ST., MT., PhD.

**Saran:**

Lihat lebih lanjut (<https://drive.google.com/open?id=13ZitJ1g4r2gae3jJ4se9qeH6IPFh7w1W>)

LULUS

Dosen Penguji 2: Alfian Purnomo, ST, MT

**Saran:**

Lihat lebih lanjut ([https://drive.google.com/open?id=1s-6dQo5nsCAn1sh9yZ5fXKR\\_rZVAz5ZZ](https://drive.google.com/open?id=1s-6dQo5nsCAn1sh9yZ5fXKR_rZVAz5ZZ))

LULUS