



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG AIR LIMBAH  
DOMESTIK DI PUSAT PERTOKOAN (STUDI KASUS:  
DEPOK TOWN SQUARE)**

**SKRIPSI**

**MITRIA WIDIANINGTIAS**

**1106005130**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DESIGN OF WATER RECYCLE TREATMENT PLANT FOR  
DOMESTIC WASTEWATER AT SHOPPING CENTRE (CASE  
STUDY: DEPOK TOWN SQUARE)**

**FINAL REPORT**

**MITRIA WIDIANINGTIAS**

**1106005130**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG AIR LIMBAH  
DOMESTIK DI PUSAT PERTOKOAN (STUDI KASUS:  
DEPOK TOWN SQUARE)**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MITRIA WIDIANINGTIAS**

**1106005130**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DESIGN OF WATER RECYCLE TREATMENT PLANT FOR  
DOMESTIC WASTEWATER AT SHOPPING CENTRE (CASE  
STUDY: DEPOK TOWN SQUARE)**

**FINAL REPORT**

Proposed as one of the requirement to obtain a Bachelor's degree

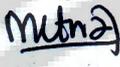
**MITRIA WIDIANINGTIAS**

**1106005130**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2015**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan benar.**

**Nama** : Mitria Widianingtias  
**NPM** : 1106005130  
**Tanda tangan** :   
**Tanggal** : 22 Juni 2015

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The final report is the result of my own work,  
and all sources which are quoted or referred  
I have stated correctly.

Name : Mitria Widianingtias

Student Number : 1106005130

Signature : 

Date : 22<sup>nd</sup> of June 2015

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Mitria Widianingtyas  
NPM : 1106005130  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Perancangan Instalasi Daur Ulang Air Limbah  
Domestik di Pusat Pertokoan (Studi Kasus:  
Depok Town Square)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Ir. Firdaus Ali, M.Sc., PhD

Penguji 1 : Ir. Gabriel S. B. Andari K. M.Eng., Ph.D

Penguji 2 : Dr. Cindy Rianti Priadi ST. M.Sc

(.....)  
(.....)  
(.....)

Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 22 Juni 2015

## STATEMENT OF LEGITIMATION

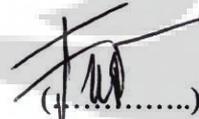
This final report is submitted by :

Name : Mitria Widianingtyas  
Student Number : 1106005130  
Major : Environmental Engineering  
Title : Design of Water Recycle Treatment Plant For Domestic Wastewater at Shopping Centre (Case Studi: Depok Town Square)

**Has been successfully defended in front of the Examiners and was accepted as part of the necessary requirements to obtain Engineer Bachelor Degree in Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia.**

### COUNCIL EXAMINERS

Counselor 1 : Ir. Firdaus Ali, M.Sc., PhD

()

Examiner 1 : Ir. Gabriel S. B. Andari K. M.Eng., Ph.D

()

Examiner 2 : Dr. Cindy Rianti Priadi ST. M.Sc

()

Decided at : Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,  
Universitas Indonesia, Depok

Date : 22<sup>nd</sup> of June 2015

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena berkat segala karunia, kasih sayang, dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada sejumlah pihak yang telah membantu dan mendukung penuh pengerjaan skripsi ini:

1. Kedua orang tua saya, Mashudi dan Endang Suryani serta keluarga besar saya yang telah memberikan bantuan dukungan materil dan moral.
2. Ir. Gabriel S. B. Andari K. M.Eng., Ph.D, selaku dosen penguji yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan kritik dan saran dalam penyusunan seminar dan skripsi.
3. Dr. Cindy Rianti Priadi, ST, M. Sc., selaku dosen penguji yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan kritik dan saran dalam penyusunan seminar dan skripsi.
4. Ir. Firdaus Ali, M.Sc., PhD, selaku dosen pembimbing yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan seminar dan skripsi.
5. Ratih Dwi Anggareni dan Putera Hendri Riyanto sesama saudara laskar yang telah memberikan semangat dan dukungan moral dalam penyusunan skripsi ini.
6. Elzavira Felaza, Alfi Syafira, Diza Rahmania Zawatki, Indah Alfira Chairunnisa, Dewi Septanty Widyaningrum, Rima Nadhira, Wahyu Kusuma Hidayati, Abdul Aziz Naufal, Martha Destri Arsari, Avia Rizki Noordiany, Andini, Budiasti Wulansari, Constantia Huinny, Tuti Ferina, Lady Chair Raza, Gilang Panatama Aziz, Afrizal Citra P, Lucia Laras Utari, Muhammad Irpan Sejati Tassakka, dan Saskia Anindya Putri yang telah memberikan semangat dan dukungan moral dalam penyusunan skripsi ini.
7. Mbak Licka dari Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Universitas Indonesia yang telah memberikan banyak bantuan selama di laboratorium terkait dengan penyusunan skripsi ini.

8. Pak John selaku manajer Engineering Depok Town Square yang telah memberikan bantuan dalam memperoleh data terkait dengan penyusunan skripsi ini.
9. Pak Lauren selaku manajer HRD Depok Town Square yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian di Detos dan memberikan banyak bantuan dalam memperoleh data terkait dengan penyusunan skripsi ini.
10. Pak Ongko selaku manajer *housekeeping* yang telah memberikan banyak bantuan dalam memperoleh data terkait dengan penyusunan skripsi ini.
11. Pak Buyung selaku pekerja operasional IPAL Depok Town Square yang telah memberikan banyak bantuan dalam pengukuran debit dan pengambilan sampel air limbah.
12. Seluruh teman-teman Departemen Teknik Sipil 2011 yang telah memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu saya selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan juga bermanfaat untuk dapat diaplikasikan pada kehidupan nyata.

Depok, 2 Juni 2015

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mitria Widianingtias  
NPM : 1106005130  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free-Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perancangan Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik di Pusat Pertokoan (Studi Kasus: Depok Town Square)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 22 Juni 2015

Yang menyatakan,



(Mitria Widianingtias)

**STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT  
PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES**

---

As a civitas academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned :

Name : Mitria Widianingtias  
Student Number : 1106005130  
Major : Environmental Engineering  
Department : Civil Engineering  
Faculty : Engineering  
Type of Work : Final Report

for the sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia *Non-exclusive Royalty Free Right* for my scientific work entitled :

**Design of Water Recycle Treatment Plant For Domestic Wastewater at Shopping  
Centre (Case Studi: Depok Town Square)**

together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty Free Right, Universitas Indonesia has rights to store, convert, manage in the form of database, keep and publish my final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Sign at : Depok  
Date : 22<sup>nd</sup> of June 2015

The Declarer,



(Mitria Widianingtias)

## ABSTRAK

Nama : Mitria Widianingtyas  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Perancangan Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik di Pusat Pertokoan (Studi Kasus: Depok Town Square)

Salah satu strategi untuk mewujudkan kebijakan pengelolaan sumber daya air yang diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Barat Nomor 14 Tahun 2013 yaitu dengan meningkatkan penghematan air serta pengendalian penggunaan air tanah dengan cara mendorong penggunaan teknologi daur ulang air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui merencanakan bentuk pemanfaatan dan pengolahan daur ulang air limbah yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square. Sumber air bersih yang digunakan di Depok Town Square adalah air tanah dalam (artesis) yang memasok  $\pm 30\%$  kebutuhan air yaitu rata-rata sekitar  $3.038 \text{ m}^3/\text{bulan}$  dan air PDAM yang memasok  $\pm 70\%$  kebutuhan air yaitu rata-rata sekitar  $6.992,75 \text{ m}^3/\text{bulan}$ . Sumber air limbah yang didaur ulang berasal dari effluen IPAL Depok Town Square dengan kualitas effluen untuk parameter ammonia sebesar  $21,60 \text{ mg/l}$ , parameter BOD sebesar  $43,78 \text{ mg/l}$ , parameter COD sebesar  $164,48 \text{ mg/l}$ , TSS sebesar  $49,0 \text{ mg/l}$ , TDS sebesar  $1.050 \text{ mg/l}$ , besi sebesar  $0,22 \text{ mg/l}$ , mangan  $0,8 \text{ mg/l}$ , kekeruhan sebesar  $10,6 \text{ NTU}$ , kesadahan sebesar  $46 \text{ mg/l}$ , dan fecal coliform sebesar  $> 16.000 \text{ jml}/100 \text{ ml}$ . Berdasarkan analisa tingkat kebutuhan air dan potensi daur ulang, bentuk pemanfaatan air daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square adalah untuk *flushing toilet*, siram tanaman, *cleaning*, dan *cooling tower* sehingga bentuk pengolahan daur ulang yang sesuai adalah unit ultrafiltrasi diikuti dengan unit desinfeksi klorin dan bak penampung.

**Kata Kunci** : Air Bersih; Air Limbah; effluen IPAL; Daur Ulang.

## ABSTRACT

Name : Mitria Widianingtyas  
Mayor : Environmental Engineering  
Title : Design of Water Recycle Treatment Plant For Domestic Wastewater at Shopping Centre (Case Study: Depok Town Square)

One of the strategies to achieve water resource management policies set out in the West Java Governor Regulation No. 14/2013 is to increase water savings as well as control the use of ground water by encouraging the use of recycled wastewater. This study aims to determine planning the utilization and processing of recycled waste water suitable to be applied in Depok Town Square. Clean water sources used in Depok Town Square is ground water (artesian) which supplies  $\pm 30\%$  of the water needs with an average of about  $3.038 \text{ m}^3/\text{month}$  and PDAM that supply  $70\%$  of water needs with an average of about  $6.992,75 \text{ m}^3/\text{month}$ . Source of recycled wastewater is the effluent of Depok Town Square's WWTP with quality for ammonia  $21,60 \text{ mg/l}$ , BOD  $43,78 \text{ mg/l}$ , COD  $164,48 \text{ mg/l}$ , TSS  $49,0 \text{ mg/l}$ , TDS  $1.050 \text{ mg/l}$ , iron  $0,22 \text{ mg/l}$ , manganese  $0,8 \text{ mg/l}$ , turbidity  $10,6 \text{ NTU}$ , hardness  $46 \text{ mg/l}$ , and fecal coliform  $>16.000 \text{ MPN}/100 \text{ ml}$ . Based on the analysis of the level of need and potential for water recycling, recycled water utilization suitable to be applied in Depok Town Square is for toilet flushing, garden watering, cleaning, and cooling towers. Therefore suitable recycling processing is ultrafiltration followed by disinfection and reservoir tank.

**Keywords:** Clean Water; Wastewater; WWTP Effluent; Recycling.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
STATEMENT OF LEGITIMATION.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT.....	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Umum.....	6
2.2 Definisi Air Limbah.....	6
2.3 Karakteristik Air Limbah.....	6
2.3.1 Karakteristik Fisika.....	7
2.3.2 Karakteristik Kimia.....	8
2.3.3 Karakteristik Biologi.....	10
2.4 Air Limbah Domestik.....	11
2.4.1 Karakteristik dan Komposisi Air Limbah Domestik.....	12
2.5 Regulasi Mengenai Pengolahan Air Limbah Domestik.....	15
2.6 Daur Ulang Air Limbah.....	18

2.6.1	Bentuk Pemanfaatan Daur Ulang Air Limbah .....	20
2.6.2	Kendala Pemanfaatan Daur Ulang .....	28
2.7	Pengolahan Daur Ulang Air Limbah .....	28
2.7.1	Pra-pengolahan ( <i>Preliminary Treatment</i> ) .....	29
2.7.2	Pengolahan Primer ( <i>Primary Treatment</i> ).....	30
2.7.3	Pengolahan Sekunder ( <i>Secondary Treatment</i> ) .....	31
2.7.4	Pengolahan Tersier ( <i>Advanced Treatment</i> ).....	31
2.7.5	Proses Filtrasi Membran .....	33
2.7.6	Desinfeksi.....	43
2.8	Tinjauan Penelitian Terdahulu dan Hipotesa .....	47
2.8.1	Tinjauan Penelitian Terdahulu .....	47
2.8.2	Hipotesa.....	59
3.	METODE PENELITIAN .....	60
3.1	Pendekatan Penelitian.....	60
3.2	Variabel Penelitian .....	60
3.3	Kerangka Penelitian .....	61
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian .....	63
3.5	Pengumpulan Data .....	64
3.5.1	Data Primer .....	64
3.5.2	Data Sekunder .....	69
3.6	Identifikasi Sumber Air Daur Ulang .....	69
3.7	Pengolahan dan Analisa Data.....	70
3.7.1	Analisa Pemanfaatan Daur Ulang .....	70
3.7.2	Analisa Pengolahan Daur Ulang .....	72
3.7.3	Desain Unit Pengolahan Daur Ulang .....	75
3.7.4	Analisa Pembiayaan dan Kelayakan Ekonomi .....	75
3.8	Rekomendasi Aplikasi dan Desain Instalasi Daur Ulang.....	76
4.	GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI .....	77
4.1	Gambaran Umum Depok Town Square .....	77
4.1.1	Tenaga Kerja .....	80
4.1.2	Jumlah Pengunjung .....	80
4.2	Penyediaan Air Bersih.....	81

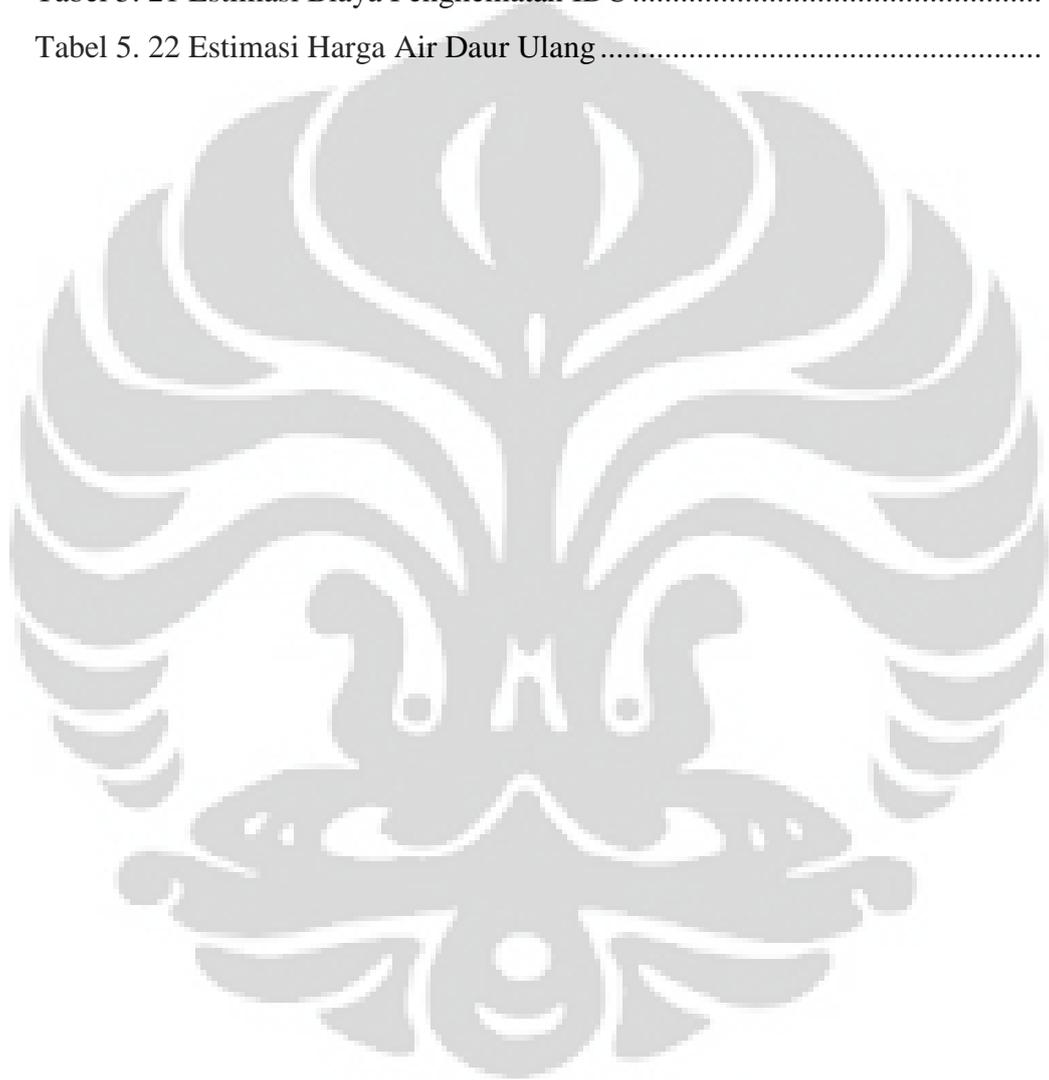
4.2.1	Pengolahan Air Bersih .....	83
4.3	Pengelolaan Air Limbah Domestik .....	85
4.3.1	Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik .....	85
4.3.2	Karakteristik Effluen Air Limbah Domestik.....	90
5.	PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA .....	91
5.1	Identifikasi Sumber Air Limbah.....	91
5.2	Analisa Pemanfaatan Daur Ulang .....	92
5.2.1	Analisa Tingkat Kebutuhan Air .....	92
5.2.2	Analisa Potensi Daur Ulang .....	97
5.3	Analisa Pengolahan Daur Ulang .....	100
5.3.1	Analisa Kualitas Effluen IPAL .....	100
5.3.2	Analisa Target Baku Mutu .....	102
5.3.3	Analisa Pemilihan Unit Daur Ulang .....	108
5.4	Desain Unit Pengolahan .....	115
5.4.1	Desain Ultrafiltrasi .....	115
5.4.2	Desain Desinfeksi.....	118
5.4.3	Desain Bak Penampung .....	122
5.5	Analisa Pembiayaan dan Kelayakan Ekonomi.....	123
5.6	Rekomendasi Aplikasi dan Desain Instalasi Daur Ulang.....	127
6.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	128
6.1	Kesimpulan.....	128
6.2	Saran.....	128
	DAFTAR PUSTAKA .....	130
	LAMPIRAN.....	139

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik .....	12
Tabel 2. 2 Jumlah Pemakaian Air Bersih dan Debit Air Limbah yang Dihasilkan Berdasarkan Jenis Peruntukan Bangunan .....	13
Tabel 2. 3 Komposisi Feses dan Urin Manusia.....	14
Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 .....	16
Tabel 2. 5 Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 .....	16
Tabel 2. 6 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas .....	18
Tabel 2. 7 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Irigasi Pertanian .....	21
Tabel 2. 8 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Irigasi Lansekap.....	22
Tabel 2. 9 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Industri .....	23
Tabel 2. 10 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk <i>Groundwater Recharge</i> .....	25
Tabel 2. 11 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Penggunaan Lingkungan/Rekreasi .....	26
Tabel 2. 12 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Keperluan Umum atau <i>Non Potable</i> .....	27
Tabel 2. 13 Unit Operasi dan Proses yang Digunakan untuk Menghilangkan Konstituen dalam Air Limbah Pada Aplikasi Daur Ulang.....	32
Tabel 2. 14 Karakteristik Sistem Membran Mikrofiltrasi .....	36
Tabel 2. 15 Efisiensi Penyisihan Unit Mikrofiltrasi .....	36
Tabel 2. 16 Kelebihan dan Kekurangan Unit Ultrafiltrasi .....	38
Tabel 2. 17 Kelebihan dan Kekurangan Unit Ultrafiltrasi (Lanjutan) .....	39
Tabel 2. 18 Efisiensi <i>Removal</i> Unit Ultrafiltrasi .....	39
Tabel 2. 19 Efisiensi <i>Removal</i> Unit Ultrafiltrasi (Lanjutan) .....	40
Tabel 2. 20 Karakteristik Sistem Membran Ultrafiltrasi <sup>a</sup> .....	40
Tabel 2. 21 Efisiensi <i>Removal</i> Unit Nanofiltrasi .....	41
Tabel 2. 22 Performa <i>Reverse Osmosis</i> .....	42
Tabel 2. 23 Kelebihan dan Kekurangan <i>Reverse Osmosis</i> .....	42

Tabel 2. 24 Kelebihan dan Kekurangan Desinfeksi Klorin, Ozon, dan Radiasi UV .....	45
Tabel 2. 25 Tinjauan Penelitian yang Relevan.....	49
Tabel 3. 1 Metode dan Standar Pengujian Parameter .....	67
Tabel 3. 2 Data Sekunder Penelitian .....	69
Tabel 3. 3 Standar Baku Mutu Effluen Air Daur Ulang US EPA 2012.....	73
Tabel 3. 4 Kriteria Mutu Air Berdasarkan PP 82 Tahun 2001.....	73
Tabel 3. 5 Persyaratan Umum Air Umpan <i>Cooling Tower</i> .....	74
Tabel 3. 6 Unit Operasi dan Proses yang Digunakan dalam Aplikasi Daur Ulang .....	75
Tabel 4. 1 Daftar <i>Tenant</i> di Depok Town Square .....	78
Tabel 4. 2 Data Luasan Depok Town Square .....	79
Tabel 4. 3 Jumlah Karyawan Tiap Divisi.....	80
Tabel 4. 4 Jumlah Pemakaian Air di Tahun 2014.....	81
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kualitas Effluen IPAL.....	90
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah .....	91
Tabel 5. 2 Jumlah Pemakaian Air di Tahun 2014.....	93
Tabel 5. 3 Rincian Pemakaian Air Bersih di Toilet .....	95
Tabel 5. 4 Pemakaian Air untuk <i>Cooling Tower</i> Tahun 2014 .....	96
Tabel 5. 5 Rincian Kebutuhan Air .....	97
Tabel 5. 6 Debit Effluen Rata-rata IPAL .....	97
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian <i>Fecal Coliform</i> .....	102
Tabel 5. 8 Standar Baku Mutu Effluen Air Daur Ulang US EPA 2012.....	103
Tabel 5. 9 Kriteria Mutu Air Berdasarkan PP 82 Tahun 2001.....	103
Tabel 5. 10 Target Mutu Effluen dan Efisiensi Penyisihan Instalasi Daur Ulang .....	106
Tabel 5. 11 Hasil Uji Laboratorium .....	107
Tabel 5. 12 Persyaratan Air Umpan untuk <i>Cooling Tower</i> .....	107
Tabel 5. 13 Target Mutu Effluen dan Efisiensi Instalasi Daur Ulang.....	108
Tabel 5. 14 Unit Operasi dan Proses Aplikasi Daur Ulang.....	109
Tabel 5. 15 Target Effluen dan Efisiensi Penyisihan Minimal IDU .....	110

Tabel 5. 16 Senyawa Kimia yang Umum Digunakan untuk Pencucian Membran .....	113
Tabel 5. 17 Kinerja Unit Ultrafiltrasi .....	117
Tabel 5. 18 Kinerja Unit Desinfeksi .....	121
Tabel 5. 19 Estimasi Biaya Investasi Awal ( <i>Capital Cost</i> ) IDU.....	124
Tabel 5. 20 Estimasi Biaya Operasional dan Perawatan IDU.....	125
Tabel 5. 21 Estimasi Biaya Penghematan IDU .....	126
Tabel 5. 22 Estimasi Harga Air Daur Ulang .....	126



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposisi Air Limbah Domestik .....	15
Gambar 2. 2 Sketsa Definisi untuk Proses Membran .....	33
Gambar 2. 3 Jenis membran: (a) <i>single tubular</i> , (b) <i>bundle tubular</i> , (c) <i>hollow fiber</i> , (d) <i>spiral wound</i> .....	34
Gambar 2. 4 Jenis Kontruksi Membran: (a) membran simetris mikropori, (b) membrane simetris tidak berpori, (c) membran asimetris, (d) <i>thin film composite (TFC)</i> .....	35
Gambar 2. 5 Klasifikasi Filtrasi Membran.....	35
Gambar 2. 6 Diagram Aliran Proses Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi dengan (a) effluent pengendapan sekunder dan (b) effluent pengendapan primer .....	38
Gambar 2. 7 Desinfeksi Klorin .....	44
Gambar 2. 8 Desinfeksi dengan Ozon.....	44
Gambar 2. 9 Tangki Desinfeksi UV.....	45
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian .....	62
Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel Effluen IPAL .....	64
Gambar 3. 3 (a) <i>sump pit</i> , (b) <i>sump pit grease trap</i> , dan (c) outlet IPAL.....	65
Gambar 3. 4 Neraca Air Depok Town Square .....	71
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Depok Town Square .....	77
Gambar 4. 2 Rata-rata Pengunjung Depok Town Square Tahun 2014.....	81
Gambar 4. 3 Rincian Pemakaian Air Depok Town Square .....	82
Gambar 4. 4 Persentase Pemakaian Air di Depok Town Square.....	82
Gambar 4. 5 <i>Sand Filter</i> dan <i>Carbon Filter</i> .....	83
Gambar 4. 6 Tangki Air Atas ( <i>Roof Tank</i> ).....	84
Gambar 4. 7 Pompa Distribusi ( <i>Booster Pump</i> ) .....	84
Gambar 4. 8 <i>Plant Layout</i> IPAL .....	85
Gambar 4. 9 <i>Bar Screen</i> .....	86
Gambar 4. 10 Bak <i>Communitor</i> .....	87
Gambar 4. 11 Bak Ekualisasi .....	88
Gambar 4. 12 Bak Aerasi .....	88
Gambar 4. 13 Bak Sedimentasi.....	89

Gambar 5. 1 Neraca Air Depok Town Square .....	94
Gambar 5. 2 Lokasi IDU Rencana .....	96
Gambar 5. 3 Neraca Air Rencana .....	99
Gambar 5. 4 Grafik Kualitas Effluen IPAL .....	100
Gambar 5. 5 Hasil Uji Kualitas Effluen IPAL .....	101
Gambar 5. 6. Skema Pengolahan Daur Ulang.....	109
Gambar 5. 7 Aliran Proses Ultrafiltrasi.....	115
Gambar 5. 8 Skema Instalasi Daur Ulang Air Limbah .....	123



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan akan ketersediaan air bersih pun meningkat. Menurut Alimah (2014), setiap peningkatan atau penambahan 1% dari jumlah penduduk akan meningkatkan 0,430% jumlah konsumsi air bersih. Sumber air bersih yang umum digunakan yaitu air permukaan (sungai dan danau), air bawah tanah, dan air laut. Di Indonesia sendiri, mayoritas penduduk dan kegiatan usaha menggunakan air tanah dan air PDAM (air tanah dan air permukaan). Sementara itu kondisi air tanah di Indonesia sudah cukup memprihatinkan. Hal ini juga semakin diperparah dengan adanya eksploitasi besar-besaran terhadap air tanah. Menurut Kepala Badan Geologi, R. Sukhyar, kondisi Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta yang mencakup 3 provinsi (DKI Jakarta, Banten, dan Jawa Barat) saat ini kondisinya sangat kritis akibat eksploitasi air tanah yang berlebihan hingga mencapai 40% yang seharusnya hanya diperbolehkan maksimal 20% agar tidak terjadi intrusi air laut ke daratan. Berdasarkan data Badan Geologi, DESDM, Neraca Air Tanah Jakarta saat ini memiliki potensi air tanah (dalam) 52 juta m<sup>3</sup>/tahun sedangkan pengambilan air tanah (dalam) 21 juta m<sup>3</sup>/tahun.

Disisi lain kondisi pelayanan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) juga belum maksimal. Tingkat pelayanan PDAM untuk setiap kota di Jawa Barat masih rendah. Dimana hanya terdapat dua kota yang memiliki tingkat pelayanan yang cukup tinggi yaitu Kota Bandung yang sudah mencapai 60% cakupan pelayanannya dan Kota Bogor. Untuk kota lain seperti Kota Depok memiliki tingkat pelayanan PDAM yang rendah, padahal tingkat konsumsi air bersih di Kota Depok cukup tinggi (Alimah, 2014). Kebutuhan air bersih di Kota Depok baru terlayani oleh PDAM sebesar 17 persen, sedangkan 83 persen lainnya masih menggunakan air tanah (Kompas, 2011).

Potensi dan ketersediaan air di Indonesia saat ini diperkirakan sebesar 15.000 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Jumlah tersebut jauh lebih tinggi dari rata-rata pasokan

dunia yang hanya 8.000 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Pada tahun 1930, Pulau Jawa masih mampu untuk memasok 4.700 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Akan tetapi saat ini total potensinya diperkirakan tinggal sepertiganya (1.500 m<sup>3</sup>/kapita/tahun) (Said, 2006). Pada tahun 2020 total potensinya diperkirakan tinggal 1.200 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Dari potensi alami ini, yang layak dikelola secara ekonomi hanya 35%, sehingga potensi nyata yang diperoleh tinggal 400 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Angka tersebut jauh dibawah angka minimum PBB yaitu sebesar 1.000 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Padahal dari jumlah 35% tersebut, sebesar 6% diperlukan untuk penyelamatan saluran dan sungai-sungai sebagai *maintenance low* (Herlambang, 2009). Joko Pitono (2003) juga mengkaji bahwa pada musim kemarau tahun 1993, 75% Pulau Jawa sudah mengalami kekeringan akibat defisit air dan pada tahun 2000 defisit air meningkat menjadi 56%. Menurut International Water Institute dalam Arie Herlambang (2009), pada tahun 2025 pulau Jawa dan beberapa pulau lainnya akan mengalami krisis air.

Konservasi air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air adalah upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik pada waktu sekarang maupun generasi yang akan datang. Oleh karena itu, untuk mencapai atau memenuhi ketersediaan sumber daya air baik dari aspek kuantitas maupun kualitas diperlukan upaya-upaya pelestarian air. Pemerintah Provinsi Jawa Barat telah mengeluarkan kebijakan pengelolaan sumber daya air yaitu Peraturan Gubernur Jawa Barat Nomor 14 Tahun 2013. Salah satu strategi untuk mewujudkan kebijakan tersebut adalah dengan meningkatkan penghematan air serta pengendalian penggunaan air tanah dengan cara mendorong penggunaan teknologi daur ulang air limbah.

Teknologi daur ulang air limbah paling banyak digunakan untuk irigasi pertanian dan lansekap. Penggunaan terbesar kedua adalah daur ulang air limbah untuk kegiatan industri seperti untuk air pendingin. Penggunaan daur ulang air limbah yang ketiga adalah untuk injeksi atau *recharge* air tanah. Penggunaan daur ulang air limbah terbesar keempat adalah untuk kegiatan lain-lain seperti danau rekreasi, akuakultur, dan penyiraman toilet (*flushing*) (Said, 2006).

Berdasarkan kebijakan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Barat, pihak pengelola Depok Town Square merencanakan adanya pembangunan

instalasi daur ulang air limbah sebagai upaya penghematan sumber daya air. Penggunaan kembali air tersebut diharapkan dapat mengurangi kebutuhan air dari sumber utama yaitu PDAM dan air tanah serta mengurangi jumlah pembuangan air limbah ramah lingkungan ke badan sungai.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sumber dan kebutuhan air bersih di Depok Town Square?
2. Bagaimana kualitas air limbah yang dijadikan sumber air daur ulang di Depok Town Square?
3. Bagaimana bentuk pemanfaatan daur ulang yang sesuai diterapkan di Depok Town Square?
4. Bagaimana bentuk pengolahan daur ulang yang sesuai dengan bentuk pemanfaatannya?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan perumusan masalah diatas, adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sumber dan kebutuhan air bersih di Depok Town Square.
2. Mengetahui kualitas air limbah yang digunakan sebagai sumber air daur ulang di Depok Town Square.
3. Merencanakan bentuk pemanfaatan daur ulang di Depok Town Square.
4. Merencanakan bentuk pengolahan daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan diatas, diharapkan dalam penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan saran atau rekomendasi kepada Depok Town Square mengenai rencana bentuk pemanfaatan dan pengolahan daur ulang air limbah dan dapat menerapkan saran atau rekomendasi tersebut.
2. Memberikan sumbangsih pemikiran untuk kemajuan ilmu pendidikan mengenai daur ulang air limbah domestik.

### **1.5 Batasan Penelitian**

1. Penelitian ini dilakukan di Depok Town Square.
2. Penelitian hanya dilakukan untuk merencanakan rancangan instalasi daur ulang air limbah domestik (tidak melakukan *pilot plant*).
3. Parameter air limbah yang ditinjau adalah BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, pH, dan ammonia.
4. Alternatif teknologi daur ulang adalah mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara garis besar, berikut merupakan sistematika penulisan dalam penelitian ini:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang studi literatur yang berhubungan dengan penelitian. Studi literatur tersebut meliputi uraian umum, definisi air limbah, karakteristik air limbah, regulasi mengenai pengolahan air limbah domestik, daur ulang air limbah, pengolahan daur ulang air limbah, pengolahan daur ulang air limbah dengan filtrasi membran, tinjauan penelitian terdahulu serta hipotesa.

#### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi mengenai metodologi yang akan dilakukan dalam penelitian, mulai dari kerangka penelitian hingga tahapan-tahapan penelitian.

#### **BAB 4 GAMBARAN OBJEK PENELITIAN**

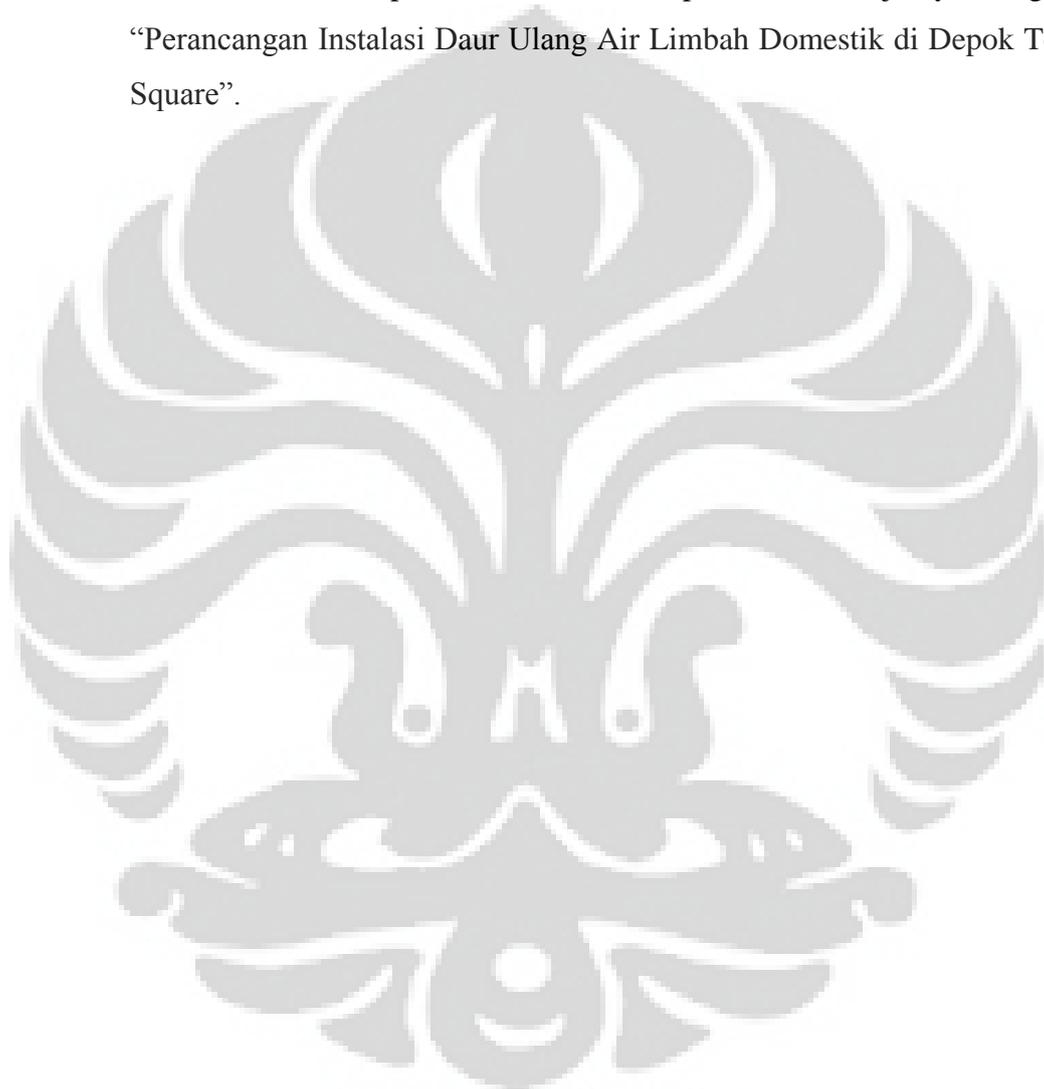
Bab ini memberikan penjelasan mengenai gambaran umum dari Depok Town Square.

## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan dari data-data yang telah terkumpul. Pembahasan tersebut meliputi analisa potensi daur ulang, pemilihan dan perancangan unit daur ulang, dan perencanaan biaya dalam instalasi daur ulang.

## BAB 6 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya mengenai “Perancangan Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik di Depok Town Square”.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Definisi merancang menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah mengatur segala sesuatu atau merencanakan sesuatu.

Menurut Al-Bahra Bin Ladjamudin (2005), perancangan adalah suatu kegiatan yang memiliki tujuan untuk mendesain sistem baru yang dapat menyelesaikan masalah-masalah yang diperoleh dari pemilihan alternatif sistem yang terbaik.

Dari definisi diatas maka dapat disimpulkan bahwa perancangan merupakan kemampuan untuk membuat gambaran, rencana, atau sketsa guna memecahkan masalah.

#### **2.2 Definisi Air Limbah**

Air Limbah adalah buangan yang berbentuk cairan yang berasal dari kegiatan dan/atau usaha baik rumah tangga, industri, atau kegiatan lain yang memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup dan lingkungan jika tidak diolah.

Air limbah adalah kombinasi antara cairan dan air yang membawa sisa dari permukaan, bangunan komersil, perkantoran, dan industri-industri yang mengalir bersama-sama dengan air hujan atau air permukaan yang mungkin ada (Metcalf dan Eddy, 2003).

#### **2.3 Karakteristik Air Limbah**

Berdasarkan senyawa yang ditemukan di dalam limbah cair, sifat limbah cair tersebut dapat dikategorikan berdasarkan karakteristik fisika, kimia, dan biologi. Dalam hal ini pengamatan mengenai karakteristik limbah cair penting untuk menetapkan jenis parameter pencemar yang terdapat di dalamnya.

### 2.3.1 Karakteristik Fisika

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Karakteristik fisika yang terpenting adalah warna, bau, padatan, dan temperatur.

a. Warna

Warna pada limbah cair menunjukkan kualitas limbah tersebut. Warna dapat disebabkan oleh ekstrak nabati dan padatan tersuspensi. Warna yang disebabkan oleh padatan tersuspensi disebut sebagai *apparent color*, sedangkan warna yang disebabkan oleh ekstrak nabati disebut dengan *true color* (Sawyer et al., 2003). Air limbah awalnya berwarna abu-abu kecoklatan. Air limbah menjadi lebih septik seiring dengan lamanya air limbah berada pada sistem pengumpul dan mengalami pembusukan oleh bakteri pada kondisi anaerob. Karena hal tersebut, warna air limbah normal berubah menjadi abu-abu kemudian ke abu-abu gelap lalu hitam (Drinan dan Spellman, 2012).

b. Padatan (*Solid*)

Padatan merupakan material yang tersuspensi atau terlarut di dalam air atau air limbah. Total padatan (*total solid*) merupakan residu yang dihasilkan setelah proses penguapan atau pengeringan pada suhu 103°C-105°C. Total padatan terdiri dari total padatan tersuspensi (TSS) dan total padatan terlarut (TDS). Total padatan tersuspensi merupakan porsi padatan keseluruhan yang ditahan oleh filter dan diukur setelah pengeringan atau penguapan pada suhu 105°C sedangkan total padatan terlarut merupakan padatan yang dapat melewati filter berukuran pori 2 µm (atau lebih kecil) (Sawyer et al., 2003). Kehadiran padatan di dalam air ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan warna dan kekeruhan.

c. Bau

Bau merupakan parameter yang subjektif. Pengukuran bau tergantung pada sensitivitas indera penciuman seseorang (Siregar, 2005). Bau pada limbah cair domestik disebabkan oleh gas yang berasal dari dekomposisi bahan organik atau bahan lain yang terdapat dalam air limbah (Metcalf dan Eddy 2003). Karakteristik bau paling khas dari air limbah septik adalah bau telur

busuk yang berasal dari produksi hidrogen sulfida (Drinan dan Spellman, 2012).

d. Temperatur

Pada umumnya, limbah cair memiliki temperatur atau suhu yang lebih tinggi dibandingkan air biasa. Hal ini dikarenakan adanya penambahan air hangat dari rumah tangga (Snape et al., 1995). Temperatur juga memainkan peran penting dalam pengolahan air limbah. Sistem pengolahan air limbah secara biologi umumnya lebih efisien pada temperatur yang lebih tinggi. Temperatur mempengaruhi seberapa cepat dan efektif zat kimia terlarut dan juga waktu reaksi kimia (Drinan dan Spellman, 2012).

### 2.3.2 Karakteristik Kimia

Pada umumnya karakteristik kimia air limbah meliputi senyawa organik dan senyawa anorganik. Senyawa organik adalah senyawa karbon yang dikombinasi dengan satu atau lebih elemen-elemen lain (O, N, P, H). Sedangkan senyawa anorganik terdiri atas semua kombinasi elemen yang bukan tersusun dari karbon organik. Karbon anorganik dalam air limbah biasanya terdiri atas pasir dan mineral-mineral baik dalam bentuk tersuspensi maupun terlarut (Siregar, 2005).

#### 2.3.2.1 Kandungan Organik

Kandungan organik secara umum terdiri dari kombinasi senyawa karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen. Kandungan organik pada limbah cair biasanya terdiri dari protein (40-60%), karbohidrat (25-60%), serta minyak dan lemak (8-12%) (Metcalf dan Eddy, 2003). Kandungan organik pada limbah cair dapat ditentukan dengan menggunakan parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

*Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan atau mengindikasikan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan atau mendekomposisikan bahan organik dalam kondisi aerob (Umaly dan Cuvin 1988 dalam Metcalf dan Eddy, 2003). Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang

terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Menurut Mays (1996), BOD adalah suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dapat disimpulkan bahwa BOD adalah gambaran jumlah bahan organik yang mudah terurai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

b. *Chemical Oxygen Demand*

*Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik. Menurut Boyd (1990), COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan seluruh bahan organik yang terdapat dalam air. Bahan organik yang ada diuraikan secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990 dalam Metcalf dan Eddy 2003), sehingga segala macam bahan organik baik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai akan teroksidasi.

### 2.3.2.2 Kandungan Anorganik

Konsentrasi konstituen anorganik akan meningkat akibat penguapan alami yang dapat menghilangkan sebagian air permukaan dan meninggalkan substansi anorganik di dalam air. Komponen anorganik penting diketahui untuk mengendalikan kualitas air. Berikut ini adalah komponen-komponen kimia anorganik:

a. *Dissolved Oxygen* (DO)

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) merupakan konsentrasi yang menunjukkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air. Nilai DO juga merupakan parameter penting dalam analisis kualitas air. Semakin tinggi nilai DO di dalam air mengindikasikan bahwa kualitas air tersebut bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah maka kualitas air tersebut dapat dindikasikan tercemar. Kelarutan oksigen dalam air dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah suhu, salinitas (kadar garam), pergerakan air di

permukaan, luas daerah permukaan perairan yang terbuka, tekanan atmosfer, dan persentase oksigen di sekelilingnya (Welch, 1980).

b. pH

pH merupakan ukuran konsentrasi ion hidrogen dalam air yang menunjukkan apakah air bersifat asam atau basa. Kisaran pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis biasanya 6-9. Air limbah dengan konsentrasi ion hidrogen yang ekstrim akan sulit untuk diolah secara biologi dan jika konsentrasi pH tidak berubah sebelum dibuang ke badan air, maka dapat menyebabkan perubahan konsentrasi pH badan air tersebut. (Metcalf dan Eddy, 2003). Nilai pH yang tinggi disebabkan oleh dekomposisi bahan organik (Patil et al., 2012).

c. Nitrogen

Nitrogen adalah sebuah unsur pembangun yang penting dalam sintesis protein dan data nitrogen akan dibutuhkan untuk mengevaluasi *treatability* air limbah dengan proses biologis (El Boushy et al., 2000). Jenis dan jumlah nitrogen bervariasi. Nitrogen yang terkandung dalam air limbah biasanya terdiri dari nitrogen organik, ammonia, nitrit, dan nitrat (Snape, 1995). Gabungan dari nitrogen organik dan ammonia disebut *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN) (Drinan dan Spellman, 2012).

d. Fosfor

Fosfor berperan penting dalam pertumbuhan alga dan organisme biologis lainnya. Jumlah senyawa fosfor yang terdapat di dalam air limbah harus dikendalikan agar tidak terjadi eutrofikasi pada badan air (Metcalf dan Eddy, 2003).

### 2.3.3 Karakteristik Biologi

Karakteristik biologis terdiri dari mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah seperti bakteri, virus, jamur, ganggang, protozoa, *rotifer* (hewan bertulang belakang), dan *crustacea* (kerang-kerangan) (Siregar, 2005). Pada dasarnya pemeriksaan biologis di dalam air limbah dimaksudkan untuk mengindikasikan apakah terdapat bakteri-bakteri patogen di dalam air limbah tersebut. Total *coliforms* dan *fecal coliform* digunakan sebagai indikator kehadiran bakteri patogen

(Djajadiningrat, 1992 dalam Yahya 2012). Menurut Sugiharto (1987), keterangan biologis diperlukan untuk mengukur kualitas air serta menafsir tingkat kekotoran air limbah sebelum dibuang ke badan air.

#### 2.4 Air Limbah Domestik

Menurut Peraturan Walikota Depok Nomor 17 Tahun 2012 tentang Pengolahan Air Limbah Domestik, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan perumahan/pemukiman, rumah makan (*restaurant*), perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama.

Air limbah domestik adalah seluruh buangan dalam bentuk cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan. Air limbah domestik meliputi buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian, limbah perkantoran, dan limbah dari daerah komersial serta limbah industri (Said, 2006).

Berdasarkan sumber penghasilnya, air limbah berasal dari berbagai jenis kegiatan seperti perumahan, industri, pertanian, dan perkebunan. Jenis polutan yang dihasilkan juga berbeda. Menurut Mukono (2006), proses pengolahan air limbah bergantung pada hal-hal berikut:

- a. Karakteristik limbah cair. Setiap kegiatan memiliki karakteristik limbah cair yang spesifik dan berbeda antara satu sama lain, walaupun mungkin ada suatu jenis kegiatan/usaha memiliki beberapa parameter pencemar yang sama. Oleh karena itu penting untuk dipertimbangkan bentuk dari zat pencemar seperti materi tersuspensi atau terlarut, kemampuan polutan agar dapat terurai secara biologis, dan toksisitas senyawa organik maupun anorganik.
- b. Kualitas effluen yang diinginkan. Dalam hal ini penting untuk dipertimbangkan pembatasan effluent di masa yang akan datang, seperti batasan toksisitas kehidupan perairan *bioassay* effluen.
- c. Ketersediaan lahan dan biaya. Alternatif pengolahan yang dipilih adalah pengolahan yang memiliki biaya yang paling efektif.

### 2.4.1 Karakteristik dan Komposisi Air Limbah Domestik

Air limbah domestik merupakan salah satu sumber daya air yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan apabila dilakukan proses pengolahan untuk mencapai syarat kualitas yang diperbolehkan. Hal ini dikarenakan air limbah perkotaan atau domestik mengandung unsur polutan yang cukup besar. Polutan atau konsentrasi senyawa pencemar dalam air limbah domestik sangat bervariasi. Faktor waktu dan metode pengambilan contoh dapat mempengaruhi besarnya konsentrasi pencemar tersebut. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik air limbah domestik dari berbagai kontaminan:

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi	
		Kisaran	Tipikal
Padatan Total	mg/l	390-1.230	720
TDS	mg/l	270-860	500
TSS	mg/l	120-400	210
BOD <sub>5</sub> 20°C	mg/l	110-350	190
TOC	mg/l	80-260	140
COD	mg/l	250-800	430
Nitrogen sebagai N	mg/l	20-70	40
Nitrogen Organik	mg/l	8-25	15
Ammonia	mg/l	12-45	25
Nitrit	mg/l	0-trace	0
Nitrat	mg/l	0-trace	0
Fosfor sebagai P	mg/l	4-12	7
Fosfor Organik	mg/l	1-4	2
Klorida	mg/l	30-90	50
Sulfat	mg/l	20-50	30
Minyak dan Lemak	mg/l	50-100	90
VOC	mg/l	100-400	100-400
Total Coliform	Jml/100 ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>
Fecal Coliform	Jml/100 ml	10 <sup>3</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Sedangkan Tabel 2.2 menunjukkan debit pemakaian air bersih dan debit air limbah yang dihasilkan berdasarkan jenis peruntukan bangunan:

Tabel 2. 2 Jumlah Pemakaian Air Bersih dan Debit Air Limbah yang Dihasilkan Berdasarkan Jenis Peruntukan Bangunan

No	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan
1	Rumah Mewah	250	200	Liter/penghuni/hari
2	Rumah Biasa	150	120	Liter/penghuni/hari
3	Apartement	250	200	Liter/penghuni/hari
4	Rumah Susun	100	80	Liter/penghuni/hari
5	Asrama	120	96	Liter/penghuni/hari
6	Klinik/Puskesmas	3	2,7	Liter/pengunjung/hari
7	Rumah Sakit Mewah	1.000	800	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari
8	Rumah Sakit Menengah	750	600	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari
9	Rumah Sakit Umum	425	340	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari
10	Sekolah Dasar	40	32	Liter/siswa/hari
11	SLTP	50	40	Liter/siswa/hari
12	SLTA	80	64	Liter/siswa/hari
13	Perguruan Tinggi	80	64	Liter/mahasiswa/hari
14	Rumah Toko/Rumah Kantor	100	80	Liter/penghuni dan pegawai/hari
15	Gedung Kantor	50	40	Liter/pegawai/hari
16	Toserba (toko serba ada, mall, departement store)	5	4,5	Liter/m <sup>2</sup> luas lantai/hari
17	Pabrik/Industri	50	40	Liter/pegawai/hari
18	Stasiun/Terminal	3	2,7	Liter/penumpang tiba dan pergi/hari
19	Bandara Udara	3	2,7	Liter/penumpang tiba dan pergi/hari
20	Restoran	15	13,5	Liter/kursi/hari
21	Gedung Pertunjukan	10	9	Liter/kursi/hari
22	Gedung Bioskop	10	9	Liter/kursi/hari

Tabel 2.2 Jumlah Pemakaian Air Bersih dan Debit Air Limbah yang Dihasilkan Berdasarkan Jenis Peruntukan Bangunan (Lanjutan)

No	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan
23	Hotel Melati s/d Bintang 2	150	120	Liter/tempat tidur/hari
24	Hotel Bintang 3 ke atas	250	200	Liter/tempat tidur/hari
25	Gedung Peribadatan	5	4,5	Liter/orang/hari
26	Perpustakaan	25	22,5	Liter/jmlh. Pengunjung/hari
27	Bar	30	24	Liter/jmlh. Pengunjung/hari
28	Perkumpulan Sosial	30	27	Liter/jmlh. Pengunjung/hari

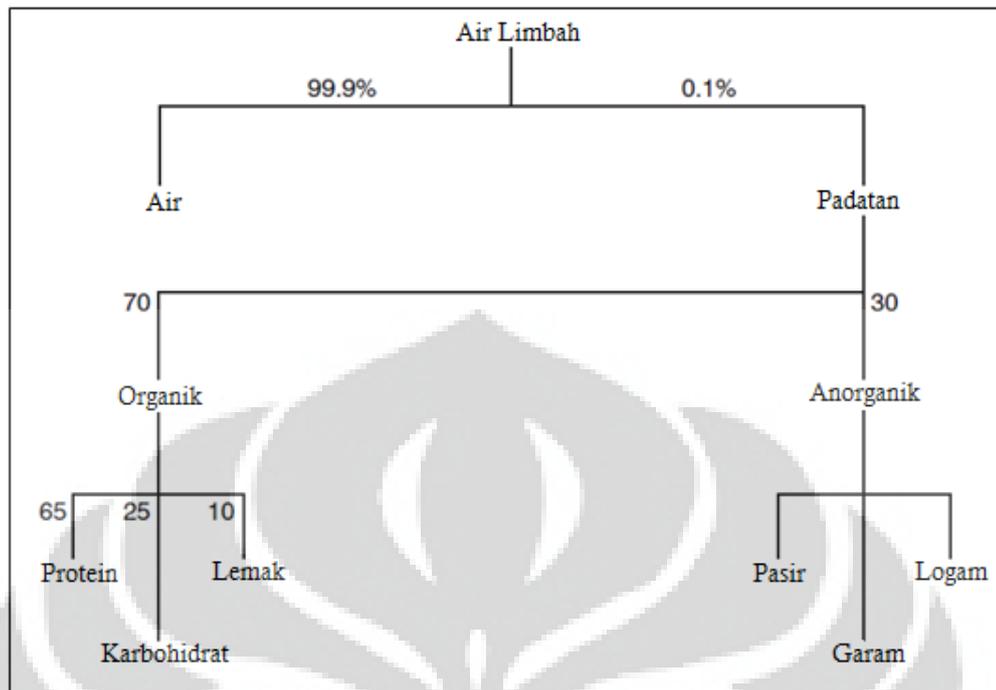
Sumber: Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No 122 Tahun 2005

Menurut Duncan Mara (2004), air limbah domestik terdiri dari limbah yang berasal dari tubuh manusia yaitu feses dan urin yang mengalir bersama air siraman (*flushing*) toilet. Komposisi feses dan urin manusia akan ditunjukkan pada Tabel 2.3 sedangkan komposisi air limbah domestik akan ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Tabel 2. 3 Komposisi Feses dan Urin Manusia

	Feses	Urin
<b>Kuantitas</b>		
Kuantitas (basah) per orang per hari	135-270 gram	1-1,3 kg
Kuantitas (padatan kering) per orang per hari	35-70 gram	50-70 kg
<b>Komposisi Rata-rata (%)</b>		
Kelembaban	66-80	93-96
Zat organik	88-97	65-85
Nitrogen	5-7	15-19
Fosfor	3-5,4	2,5-5
Potasium	1-2,5	3-4,5
Karbon	44-55	11-17
Kalsium	4,5	4,5-6

Sumber: Mara, 2004



Gambar 2. 1 Komposisi Air Limbah Domestik

Sumber: Mara, 2004

## 2.5 Regulasi Mengenai Pengolahan Air Limbah Domestik

Regulasi tentang pengolahan air limbah domestik mendorong adanya upaya melakukan pengolahan terhadap air limbah domestik dengan jenis dan tingkatan pengolahan yang berbeda sesuai dengan karakteristik air limbah tersebut. Pengolahan air limbah tersebut dilakukan sebagai upaya pencegahan pencemaran ke badan air akibat air buangan domestik.

Berikut ini merupakan regulasi yang mengatur pengolahan air limbah domestik di Indonesia, khususnya di Daerah Khusus Ibukota Jakarta:

1. Undang-undang Republik Indonesia No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
3. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

4. Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
5. Peraturan Walikota Depok No. 17 Tahun 2012 tentang Pengolahan Air Limbah Domestik.

Regulasi yang digunakan sebagai standar buangan (*effluent standard*) adalah Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Hal ini dikarenakan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik memiliki parameter dan standar buangan yang tidak terlalu ketat. Selain itu, peraturan tersebut hanya memaparkan empat (4) batasan parameter yakni pH, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 dipilih sebagai standar buangan dikarenakan Kota Depok juga merupakan kota yang padat seperti kota DKI Jakarta. Standar buangan adalah persyaratan buangan air limbah yang akan dibuang ke badan air. Baku mutu air limbah domestik menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 pada Tabel 2.5:

Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Kadar Maksimum</b>
pH	-	6-9
BOD	mg/l	100
TSS	mg/l	100
Minyak dan Lemak	mg/l	10

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003

Tabel 2. 5 Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Individual/Rumah Tangga</b>	<b>Komunal</b>
pH	-	6-9	6-9

Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 (Lanjutan)

Parameter	Satuan	Individual/Rumah Tangga	Komunal
KMnO <sub>4</sub>	mg/l	85	85
TSS	mg/l	50	50
Amoniak	mg/l	10	10
Minyak dan Lemak	mg/l	10	20
Senyawa Biru Metilen	mg/l	2	2
COD	mg/l	100	80
BOD	mg/l	75	50

Sumber: Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005

Regulasi yang digunakan untuk menentukan standar kualitas air sesuai peruntukannya adalah Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 (Tabel 2.6). Klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

- a. 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.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertamanan, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertamanan, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Tabel 2. 6 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
<b>Fisika</b>					
Suhu (dari keadaan alami)	C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5
Residu terlarut	mg/l	1.000	1.000	1.000	1.000
Residu tersuspensi	mg/l	50	50	400	400
<b>Kimia Organik</b>					
pH	mg/l	6-9	6-9	6-9	5-9
BOD	mg/l	2	3	6	12
COD	mg/l	10	25	50	100
DO	mg/l	6	4	3	0
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	(-)	(-)	(-)
Besi	mg/l	0,3	(-)	(-)	(-)
Mangan	mg/l	0,1	(-)	(-)	(-)
<b>Mikrobiologi</b>					
<i>Fecal Coliform</i>	Jml/100 ml	100	1.000	2.000	2.000
<i>Total Coliform</i>	Jml/100 ml	1.000	5.000	10.000	10.000
<b>Kimia Organik</b>					
Minyak dan Lemak	ug/L	1.000	1.000	1.000	(-)
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001

## 2.6 Daur Ulang Air Limbah

Daur ulang (*recycle*) adalah suatu upaya daur ulang limbah untuk memanfaatkan limbah dengan mengolahnya kembali ke proses semula melalui perlakuan fisika, kimia, dan biologi (Purwanto, 2006). Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA), daur ulang air limbah adalah penggunaan kembali air limbah yang sudah terolah untuk tujuan yang lebih bermanfaat seperti *toilet flushing*, pertanian dan irigasi lansekap, proses industri, dan mengisi ulang atau *recharge* air tanah.

Daur ulang air limbah memiliki aplikasi fungsi yang sangat luas. Mulai dari aplikasi yang paling sederhana seperti untuk menyiram tanaman dan irigasi sampai aplikasi paling tinggi yaitu sebagai air minum. Standar kualitas air daur ulang tidak sama untuk tiap aplikasinya. Hal ini berarti teknologi yang digunakan

untuk daur ulang air pun berbeda. Oleh karena itu, daur ulang air limbah sering dikaitkan dengan metode pengelolaan lingkungan dan sumber daya air.

Upaya daur ulang limbah sebagai sumber alternatif air bersih didukung oleh beberapa alasan yang rasional sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Air merupakan sumber daya terbatas.
- b. Pengetahuan tentang daur ulang air yang sudah ada dan tinggal mengembangkannya.
- c. Kualitas air daur ulang sesuai untuk aplikasi *non-potable* atau tidak untuk diminum.
- d. Untuk mencapai tujuan sumber daya air yang berkelanjutan, perlu untuk menggunakan air secara efisien.
- e. Produksi air daur ulang membutuhkan energi yang efisien.
- f. Air daur ulang mendukung upaya perlindungan lingkungan dengan mengurangi jumlah effluen air limbah yang di buang ke badan air.

Faktor-faktor berikut dapat menjadi motivasi atau alasan digunakannya air daur ulang (Suprihatin, 2009):

- a. Tidak tersedianya cukup sumber air yang berkualitas tinggi dengan biaya terjangkau.
- b. Untuk meminimalkan biaya infrastruktur, termasuk biaya pengolahan, dan biaya pembuangan air limbah.
- c. Untuk mereduksi dan mengeliminasi biaya pembuangan air limbah (baik yang sudah ataupun yang belum diolah) ke lingkungan.
- d. Untuk mengelola sumber *in situ*.
- e. Untuk memenuhi tuntutan masyarakat, institusi, dan politis.

Daur ulang air limbah tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan kebutuhan air melainkan dapat memberikan beberapa keuntungan yang potensial sekaligus. Berikut ini merupakan keuntungan yang diperoleh dari penggunaan daur ulang air limbah (Prasetyaningtyas, 2012):

- a. Konservasi pasokan atau suplai air bersih.
- b. Meningkatkan perlindungan lingkungan perairan yang sensitif dengan mengurangi beban pencemar.
- c. Memberikan keuntungan ekonomi dengan mengurangi kebutuhan sumber air dan infrastruktur, terutama di daerah dengan harga air bersih yang tinggi.

- d. Mengurangi penggunaan pupuk, terutama jika air digunakan untuk keperluan irigasi dikarenakan kandungan nutrisi pada air daur ulang.

### **2.6.1 Bentuk Pemanfaatan Daur Ulang Air Limbah**

Penggunaan atau pemanfaatan daur ulang air dapat dikategorikan sebagai berikut.

#### **2.6.1.1 Irigasi Pertanian**

Penggunaan daur ulang untuk keperluan irigasi merupakan opsi daur ulang yang paling banyak diterapkan. Bentuk pemanfaatan dari irigasi pertanian biasanya untuk irigasi tanaman, produksi pertanian, dan irigasi pembibitan komersial (Lazarova dan Bahri, 2004). Kendala potensial yang sering timbul pada penggunaan air daur ulang untuk irigasi adalah menyebabkan polusi air permukaan atau air tanah jika tidak dikelola dengan baik, penerimaan masyarakat terhadap produk hasil pertanian, kendala penerimaan masyarakat dalam hubungannya dengan masalah kesehatan masyarakat, patogen, virus, dan bakteri, serta masalah biaya yang relatif besar.

Pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk irigasi pertanian diantaranya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Bakteri patogen yang masih bertahan hidup.
- b. Kontaminasi langsung dan tidak langsung pada produk atau hasil pertanian.
- c. Konstituen kimia yang mungkin terserap oleh akar tanaman.
- d. Pemrosesan hasil panen sebelum didistribusikan guna menghilangkan kontaminan.
- e. Tingkat pengolahan tergantung pada kualitas air limbah, jenis tanaman, dan metode irigasi.

Tabel 2. 7 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Irigasi Pertanian

Jenis Daur Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Irigasi bukan tanaman pangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rentang pH 6-9</li> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ TSS <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ <i>Fecal coliform</i>/100 ml <math>\leq</math> 200</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ TSS harian</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 90 m dari air minum</li> <li>▪ 30 m dari daerah yang banyak diakses oleh masyarakat</li> </ul>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

### 2.6.1.2 Irigasi Lansekap

Bentuk pemanfaatan air hasil daur ulang untuk irigasi lansekap diantaranya adalah untuk taman, halaman sekolah/perkantoran, lapangan golf, jalan raya, jalan hijau, makam, dan perumahan (Said, 2006). Kendala potensial yang sering timbul pada penggunaan air daur ulang untuk irigasi lansekap yaitu kendala penerimaan masyarakat dalam hubungannya dengan masalah kesehatan masyarakat (patogen, virus, dan bakteri), masalah biaya yang relatif besar, serta jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran air permukaan atau air tanah.

Pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk irigasi lansekap diantaranya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Akumulasi konstituen kimia. Konstituen ini dapat bermigrasi ke dalam air tanah yang digunakan sebagai sumber air minum atau dapat menumpuk secara signifikan pada rumput atau tanah sehingga memungkinkan dapat dicerna secara tidak sengaja oleh anak-anak.
- b. Tingkat akses oleh masyarakat. Irigasi lansekap sering terdapat di daerah perkotaan atau daerah yang sering dikunjungi oleh masyarakat sehingga penting untuk melakukan kontrol atas penggunaan air untuk keperluan irigasi tersebut.

- c. Kontrol penggunaan lokasi perlu dikenakan di lokasi irigasi lansekap terbuka sebagai upaya pencegahan untuk melindungi anak-anak dan orang dewasa yang sering berada di lokasi irigasi.

Tabel 2. 8 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Irigasi Lansekap

Jenis Daur Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Pengairan lansekap, taman, dan keperluan estetika	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ TSS <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ Tidak terdapat <i>Fecal coliform</i>/100 ml</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ TSS harian</li> <li>▪ <i>Coliform</i> harian</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 150 m dari air minum</li> </ul>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

### 2.6.1.3 Daur Ulang untuk Keperluan Industri

Air daur ulang dapat menjadi solusi untuk industri yang membutuhkan air dalam jumlah besar tetapi tidak perlu air berkualitas tinggi. Air daur ulang dapat digunakan sebagai air pendingin, air umpan boiler, dan air proses tergantung pada jenis industri (Suprihatin, 2009). Pada sebagian besar industri, air pendingin menjadi pengguna air terbesar dibandingkan dengan air boiler dan air proses. Hal ini dikarenakan air pendingin memiliki persyaratan yang tidak terlalu tinggi. Kendala potensial atau masalah operasional yang sering timbul pada penggunaan air daur ulang di industri adalah masalah kualitas air daur ulang karena cenderung menyebabkan timbulnya *scale* (kerak), korosif, pertumbuhan mikroorganisme, dan *concern* kesehatan masyarakat khususnya mengenai transmisi patogen yang melewati aerosol di dalam *cooling tower*.

Pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk industri diantaranya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Timbulnya aerosol dari *cooling tower* atau tower pendingin yang membawa mikroorganisme patogen.
- b. Keamanan produk manufaktur. Air daur ulang yang memiliki kualitas rendah tidak dapat digunakan untuk kegiatan manufaktur.

Tabel 2. 9 Panduan EPA Daurl Ulang Air Limbah untuk Industri

Jenis Daurl Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Menara Pendingin Resirkulasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> <li>▪ Koagulasi dan filtrasi jika dibutuhkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tergantung rasio resirkulasi</li> <li>▪ Rentang pH 6-9</li> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ TSS <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ <i>Fecal coliform</i>/100 ml <math>\leq</math> 200</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ TSS harian</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 90 m dari daerah yang banyak diakses oleh masyarakat</li> </ul>
Tower Pendingin	Sekunder	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rentang pH 6-9</li> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ TSS <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ <i>Fecal coliform</i>/100 ml <math>\leq</math> 200</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ TSS harian</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 90 m dari daerah yang banyak diakses oleh masyarakat</li> <li>▪ Dapat dikurangi jika terdapat desinfeksi dalam jumlah tinggi</li> </ul>

Tabel 2.9 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Industri (Lanjutan)

Jenis Daur Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Penggunaan industri lain	Tergantung penggunaan	Tergantung penggunaan	Tergantung penggunaan	

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

#### 2.6.1.4 Pengisian Kembali Air Tanah

*Recharge* air tanah atau pengisian kembali air tanah berguna untuk pembentukan tabir tekanan untuk mencegah instrusi air laut, mencegah terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*), dan meningkatkan produksi air tanah baik untuk diminum maupun untuk keperluan lainnya (Putranto dan Kusuma, 2009). Penurunan permukaan air tanah dapat diperbaiki dengan menginjeksikan air hasil daur ulang sehingga deplesi air tanah dapat dipulihkan atau dapat mencegah terjadinya intrusi air laut di wilayah pesisir atau pantai.

Pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk pengisian kembali air tanah (*groundwater recharge*) diantaranya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Pengkarakteristikan air tanah yang dapat diminum (*potable*) dan yang tidak dapat diminum (*nonpotable*).
- b. Pengisian air tanah *nonpotable* dengan memastikan bahwa air tidak bermigrasi ke dalam air tanah *potable* sehingga masalah kesehatan dapat dimitigasi.
- c. Pengisian air tanah *potable* dengan memastikan bahwa kualitas air tanah yang akan diinjeksikan telah memenuhi baku mutu untuk air minum.
- d. Desain *soil-aquifer treatment* (SAT) dan hal-hal yang berkaitan dengan injeksi air tanah secara langsung.

Tabel 2. 10 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk *Groundwater Recharge*

Jenis Daur Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Pengisian air tanah ke <i>aquifer non-potable</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sesuai dengan penggunaan air tanah</li> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> <li>▪ Filtrasi</li> </ul>	Sesuai dengan penggunaan air tanah dan kondisi lokasi	Tergantung pada jenis pengolahan yang dilakukan dan penggunaan air tanah	
Pengisian air tanah ke <i>aquifer portable</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder dan desinfeksi</li> <li>▪ Filtrasi dan pengolahan lanjutan</li> </ul>	Sesuai dengan standar air minum	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 150 m dari sumur ekstraksi</li> </ul>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

#### 2.6.1.5 Penggunaan Lingkungan/Rekreasi

Air hasil daur ulang digunakan atau dimanfaatkan untuk pengisian danau atau kolam dan perikanan. Kendala potensial yang ditimbulkan dari penggunaan air daur ulang dalam penggunaan lingkungan atau rekreasi yaitu terhadap masalah kesehatan masyarakat khususnya dalam kaitannya dengan bakteri, virus, patogen, dan eutrofikasi akibat nutrisi nitrogen dan fosfor.

Pertimbangan penggunaan air daur ulang untuk penggunaan lingkungan atau rekreasi diantaranya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Tingkat akses oleh masyarakat yang dapat menyebabkan adanya kontak langsung dengan manusia.
- b. Proses pengolahan yang dapat menentukan kualitas air daur ulang sesuai dengan penggunaannya.

Tabel 2. 11 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Penggunaan Lingkungan/Rekreasi

Jenis Daur Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Keperluan rekreasi, seperti air untuk kolam pemancingan dan danau	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> <li>▪ Filtrasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rentang pH 6-9</li> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 10 mg/l</li> <li>▪ TSS <math>\leq</math> 2 mg/l</li> <li>▪ <i>Fecal coliform</i>/100 ml <math>\leq</math> 200</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ TSS harian</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 150 m dari sumber air minum</li> </ul>
Keperluan lingkungan seperti rawa, habitat hewan, dan sebagainya.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ TSS <math>\leq</math> 30 mg/l</li> <li>▪ <i>Fecal coliform</i>/100 ml <math>\leq</math> 200</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ TSS harian</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

#### 2.6.1.6 Keperluan *Non-Potable* atau Umum

Daur ulang air untuk keperluan umum atau keperluan *nonpotable* berguna untuk mereduksi konsumsi air bersih dari sumber lain dan mereduksi volume buangan air limbah sehingga daur ulang air dapat berkontribusi terhadap konservasi air. Daur ulang air untuk tujuan *nonpotable* dapat dirancang baik dalam rumah tangga/bangunan tunggal atau pada skala besar melalui sistem retikulasi yang dimaksudkan hanya untuk memasok air *nonpotable* (Suprihatin, 2009). Air daur ulang untuk keperluan umum mencakup untuk air pemadam kebakaran, air pendingin udara (*air conditioning*), air bilas toilet (*toilet flushing*), dan lain-lain (Said, 2006). Kendala potensial yang ditimbulkan dalam penggunaan air daur ulang

untuk keperluan umum adalah *concern* masyarakat khususnya dalam kaitannya mengenai transmisi patogen yang melewati aerosol, pengaruh kualitas air yang dihasilkan, pemasangan kerak, dan korosi.

Pertimbangan penggunaan air daur ulang untuk keperluan umum diantaranya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Identifikasi jalur dan perlengkapan yang membawa air daur ulang.
- b. Pengontrolan sambungan yang berpotongan dengan air minum (*cross connection*).
- c. Kualitas air hasil daur ulang.
- d. Desain sistem distribusi dan konstruksi.

Tabel 2. 12 Panduan EPA Daur Ulang Air Limbah untuk Keperluan Umum atau *Non Potable*

Jenis Daur Ulang	Jenis Pengolahan	Kualitas	Pengawasan	Jarak
Air pencuci kendaraan, air bilas toilet, sistem pemadam kebakaran, air pendingin ruangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekunder</li> <li>▪ Desinfeksi</li> <li>▪ Filtrasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rentang pH 6-9</li> <li>▪ BOD <math>\leq</math> 10 mg/l</li> <li>▪ Kekeruhan <math>\leq</math> 2 NTU</li> <li>▪ Tidak terdapat <i>Fecal coliform</i>/100 ml</li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> <math>\leq</math> 1 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH mingguan</li> <li>▪ BOD mingguan</li> <li>▪ Kekeruhan terus-menerus</li> <li>▪ <i>Coliform harian</i></li> <li>▪ Residu Cl<sub>2</sub> terus-menerus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 150 m dari sumber air minum</li> </ul>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

### 2.6.1.7 Suplai Air Bersih

Penggunaan air daur ulang untuk suplai air bersih (*potable reuse*) meliputi penambahan pada reservoir air bersih dan suplai ke dalam perpipaan air bersih. Kendala potensial atau masalah operasional yang ditimbulkan dalam penggunaan air daur ulang untuk suplai air bersih yaitu masalah polutan mikro dan efek

toksistas, transmisi virus dan bakteri patogen, serta estetika dan penerimaan masyarakat.

### 2.6.2 Kendala Pemanfaatan Daur Ulang

Kendala utama dari pemanfaatan daur ulang air limbah adalah kualitas air hasil daur ulang. Masih terdapat perdebatan, terutama mengenai standar kualitas yang harus dipenuhi untuk menetapkan tingkat resiko kesehatan yang dapat diterima. Selain masalah kualitas air daur ulang, pertimbangan sosio-ekonomi yang meliputi persepsi masyarakat dan biaya sistem daur ulang juga menjadi kendala dalam pemanfaatan air daur ulang. Secara umum, masyarakat tidak menolak terhadap konsep daur ulang, tetapi masih sedikit masyarakat yang bersedia menggunakan air daur ulang untuk keperluan *potable* dikarenakan kekhawatiran terhadap resiko kesehatan yang akan timbul setelah mengkonsumsi air daur ulang tersebut. Akan tetapi penggunaan air daur ulang untuk keperluan *nonpotable* secara teknis dan ekonomi sudah dapat diterima oleh masyarakat.

Studi di Kota St. Peterburg, Florida (PBS&J dan McGuire, 2004) bertujuan untuk mengestimasi potensi resiko pada populasi yang terkait penggunaan air daur ulang dan menyimpulkan bahwa:

- a. Tidak ditemukan cukup bukti adanya peningkatan penyakit esterik di daerah urbanisasi yang wilayah perumahannya diirigasi dengan air daur ulang.
- b. Tidak ditemukan cukup bukti adanya resiko yang signifikan terjangkitnya penyakit akibat virus dan mikroba sebagai akibat dari pemakaian air daur ulang untuk penyiraman tanaman.

## 2.7 Pengolahan Daur Ulang Air Limbah

Jenis teknologi pengolahan air limbah yang diperlukan tergantung pada peruntukan air hasil olahan. Jika air hasil olahan dimaksudkan untuk dimanfaatkan kembali, maka hal ini memerlukan persyaratan teknologi pengolahan yang lebih ketat. Pemilihan jenis teknologi yang digunakan perlu memperhatikan faktor-faktor berikut (Metcalf dan Eddy, 2007):

- a. Jenis pengaplikasian air daur ulang
- b. Karakteristik air limbah
- c. Target dan persyaratan air daur ulang

- d. Parameter pencemar
- e. Operasional dan perawatan
- f. Energi yang dibutuhkan
- g. Membutuhkan operator atau dilakukan secara otomatis

Pengolahan air limbah hingga menjadi air daur ulang dapat dibagi menjadi 4 tahapan yaitu tahapan pra-pengolahan (*preliminary treatment*), pengolahan primer (*primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), dan pengolahan tersier (*advanced treatment*).

### 2.7.1 Pra-pengolahan (*Preliminary Treatment*)

Pra-pengolahan merupakan pengolahan limbah secara fisik yang bertujuan untuk menyisihkan benda-benda besar atau padatan kasar yang terdapat dalam air limbah. Pada umumnya pra-pengolahan berupa penyaringan kasar (*bar screen*) dan penyisihan bahan padatan seperti butiran pasir atau tanah (*grit removal*). Saringan kasar merupakan unit proses pertama dalam pengolahan air limbah yang digunakan untuk melindungi pompa, *valve*, pipa, dan peralatan lainnya dari benda-benda kasar dan besar seperti kayu, sampah, tangkai, daun, dan kertas (Drinan dan Spellman, 2012). Saringan kasar hanya dapat menyaring benda-benda yang relatif berukuran besar, sedangkan untuk benda-benda yang berukuran relatif lebih kecil seperti butiran pasir dan tanah ditahan oleh *grit removal*.

*Grit removal* dirancang untuk menghilangkan kerikil halus, pasir, abu, dan material berat padat lainnya yang memiliki velositas atau *specific gravity* lebih besar dari padatan organik di dalam air limbah. *Grit removal* biasanya diletakkan setelah *bar screen* dan sebelum sedimentasi primer. Selain itu *grit removal* juga berfungsi untuk melindungi peralatan mekanik dari abrasi, mengurangi pembentukan endapan berat pada saluran perpipaan, dan mengurangi frekuensi pembersihan *digester* yang disebabkan oleh akumulasi berlebih dari pasir dan kerikil halus (Metcalf dan Eddy, 2003).

Setelah mengalami penyisihan benda kasar dan butiran pasir atau tanah, air limbah yang masih mengandung padatan tersuspensi biasanya disisihkan secara fisik melalui sedimentasi primer.

### 2.7.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pengolahan primer merupakan pengolahan secara fisika atau kimia yang berguna untuk material tersuspensi dalam air limbah. Pada tahap pengolahan ini umumnya diterapkan pengolahan seperti koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi.

Pengadukan merupakan salah satu unit operasi yang penting dalam fase pengolahan air limbah yang mencakup pengadukan satu zat dengan zat lainnya, pencampuran cairan terlarut, flokulasi partikel air limbah, pengadukan cairan tersuspensi, dan pertukaran panas. Umumnya operasi pengadukan yang digunakan adalah *continuous rapid mixing* atau koagulasi. Prinsip kerja unit koagulasi terdiri dari pencampuran zat kimia ke dalam air limbah (penambahan *alum* atau garam besi untuk flokulasi dan pengendapan atau untuk dispersi klorin dan hipoklorit ke dalam air limbah), pencampuran cairan terlarut, dan penambahan zat kimia ke dalam lumpur atau *bio solid* untuk meningkatkan karakteristik *dewatering* (Metcalf dan Eddy, 2003).

Unit flokulasi berguna untuk menyatukan mikroflokk-mikroflokk yang terbentuk dalam unit koagulasi menjadi flokk yang berukuran lebih besar sehingga dapat lebih mudah terendapkan. Dalam proses ini, pengadukan atau agitasi dilakukan dalam kecepatan yang relatif lebih rendah (*slow mixing*) agar menjaga flokk yang sudah terbentuk sehingga tidak mudah pecah (Metcalf dan Eddy, 2003). Flokk yang terbentuk dalam flokulasi berukuran besar dan memiliki ikatan yang kuat serta berpori (Tripathy dan De, 2006).

Sedimentasi primer berguna untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan padatan tersuspensi dari air limbah secara gravitasi. Sedimentasi primer memiliki empat (4) tipe pengendapan yaitu pengendapan diskrit, pengendapan flokulen, pengendapan zona, dan zona kompresi (Liu, 2014). Tangki sedimentasi yang umum digunakan dalam pengolahan primer yaitu tangki septik, tangki *imhoff*, dan tangki pengendapan biasa (Drinan dan Spellman, 2012). Unit sedimentasi biasanya dirancang dengan waktu tinggal sekitar 2 jam, dengan kedalaman sekitar 2,5-5 m (Metcalf dan Eddy, 2003). Akan tetapi terdapat sebagian polutan air limbah terdapat dalam bentuk tersuspensi atau terlarut tidak terpengaruh oleh sedimentasi primer tersebut, sehingga sebagian besar polutan masih terkandung di dalam effluen pengolahan sedimentasi primer (Suprihatin, 2009).

### 2.7.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan polutan tersuspensi atau terlarut. Hampir semua proses pengolahan sekunder menggunakan proses biologis. Prinsip pengolahan air limbah secara biologis adalah memanfaatkan kemampuan mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa untuk mengkonsumsi polutan organik *biodegradable* sebagai sumber makanannya kemudian polutan organik tersebut dikonversi menjadi karbon dioksida, air, dan energi untuk pertumbuhan maupun reproduksi (Bharadwaj dan Jogdhankar, 2013).

Pada proses pengolahan biologis secara aerob diperlukan oksigen. Oleh karena itu, sistem pengolahan biologis harus mampu memberikan kondisi yang baik bagi aktivitas mikroorganisme, sehingga mikroorganisme tersebut dapat menstabilkan polutan organik *biodegradable* secara optimal. Guna mempertahankan agar mikroorganisme tetap aktif dan produktif, mikroorganisme tersebut harus dipasok dengan oksigen yang cukup, waktu kontak yang cukup dengan polutan organik, temperatur, dan komposisi medium yang sesuai. Perbandingan BOD<sub>5</sub>:N:P = 100:5:1 dianggap optimal untuk proses pengolahan air limbah secara aerob (Capps, Montelli dan Dradford, 1995 dalam Suprihatin, 2009).

Pada umumnya, effluent unit pengolahan sekunder masih mengandung BOD<sub>5</sub> dan padatan tersuspensi sekitar 30 mg/l (Munter, 2003). Pengolahan sekunder juga masih memiliki keterbatasan yaitu tidak dapat menurunkan kandungan nitrogen dan fosfor secara signifikan.

Sistem pengolahan air limbah yang umum digunakan dalam proses pengolahan sekunder air limbah adalah sistem lumpur aktif (*activated sludge*), modifikasi sistem lumpur aktif (*extended aeration*), kontak stabilisasi, kolam aerasi, *trickling filter*, *rotating biological contactor* (RBC), dan kolam oksidasi (Metcalf dan Eddy, 2003)

### 2.7.4 Pengolahan Tersier (*Advanced Treatment*)

Pengolahan tambahan atau pengolahan tersier dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas effluen. Pengolahan tersier umumnya dapat mengurangi lebih dari 99 persen polutan dari air limbah dan dapat menghasilkan effluen dengan kualitas yang baik (Bharadwaj dan Jogdhankar, 2013). Proses pengolahan tersier

yang diterapkan antara lain penghilangan fosfor (secara kimia maupun biologis), penghilangan nitrogen (nitrifikasi dan denitrifikasi), perbaikan effluen dengan koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi untuk menghilangkan bakteri patogen.

Untuk memenuhi persyaratan kesehatan secara konsisten diperlukan serangkaian tahapan proses pengolahan. Unit operasi dan proses yang digunakan untuk menghilangkan konstituen dalam air limbah pada aplikasi daur ulang dapat dilihat pada Tabel 2.14 berikut:

Tabel 2. 13 Unit Operasi dan Proses yang Digunakan untuk Menghilangkan Konstituen dalam Air Limbah Pada Aplikasi Daur Ulang

Unit Operasi atau Proses	Kelas Konstituen										
	Padatan Tersuspensi	Padatan Koloid	Zat Organik	Zat Organik Terlarut	Nitrogen	Fosfor	Konstituen Sisa	Total Padatan Terlarut	Bakteri	Protozoa dan Ookista	Virus
Pengolahan sekunder	X	X		X							
Pengolahan sekunder dengan penyisihan nutrisi				X	X	X					
Filtrasi dalam	X								X	X	
Filtrasi permukaan	X		X						X	X	
Mikrofiltrasi	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasi	X	X	X						X	X	X
Flotasi Udara Terlarut	X	X	X							X	X
Nanofiltrasi			X	X			X	X	X	X	X
<i>Reverse Osmosis</i>				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodialisis		X						X			
Adsorpsi Karbon				X			X				
Pertukaran Ion					X		X	X			
Oksidasi Lanjut			X	X			X		X	X	X
Desinfeksi				X					X	X	X

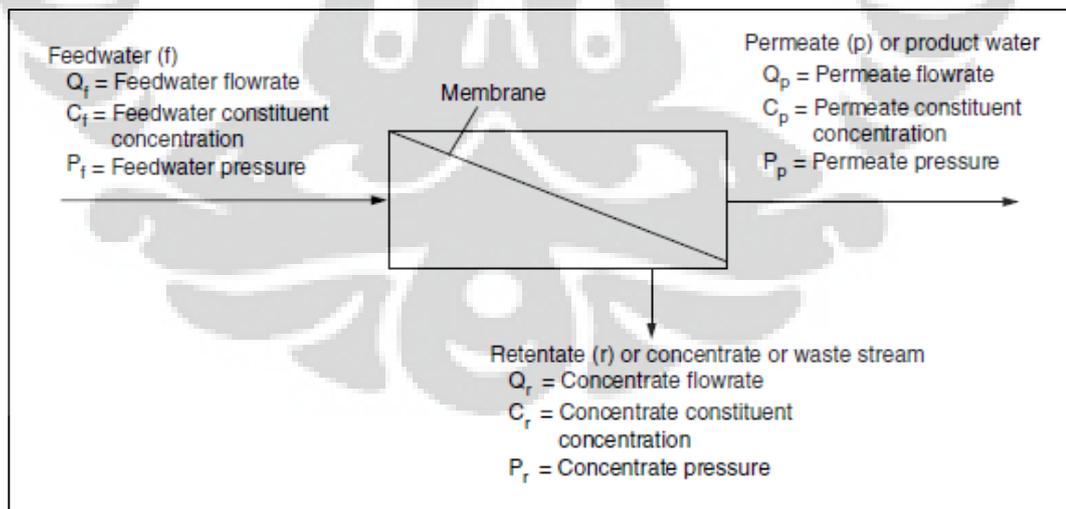
Keterangan: X = Konstituen yang Dihilangkan

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

### 2.7.5 Proses Filtrasi Membran

Proses pengolahan daur ulang air limbah didorong oleh adanya antisipasi perubahan regulasi kualitas air yang semakin ketat, ketersediaan sumber daya air yang menipis, dan penekanan terhadap perlunya penggunaan air kembali (Davis dan Cornwell, 2008). Teknologi penjernihan air yang belakangan ini berkembang pesat adalah teknologi membran. Ada beberapa jenis teknologi membran untuk pengolahan air diantaranya mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, atau hiperfiltrasi (*reverse osmosis*) (Rao et al., 2013). Dengan teknologi ini dapat menghasilkan air yang bebas bakteri dan virus.

Membran merupakan sebuah alat yang biasanya terbuat dari polimer organik yang dapat dilewatkan oleh air dan konstituen tertentu tetapi tidak dapat dilalui oleh zat atau material dengan ukuran fisik dan berat molekul tertentu (Metcalf dan Eddy, 2007). Persyaratan umum yang digunakan dalam teknologi membran meliputi air umpan (*feedwater*), permeat, dan retentat. Air influen yang disuplai ke dalam sistem membran sebagai pengolahan disebut dengan air umpan, aliran yang melewati membran disebut permeat, dan bagian dari air umpan (*feedwater*) yang tidak melewati membran disebut dengan retentat (atau juga disebut konsentrat atau air limbah) (Metcalf dan Eddy, 2007).



Gambar 2. 2 Sketsa Definisi untuk Proses Membran

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Dalam prakteknya penggunaan membran untuk pemisahan harus ditempatkan dalam suatu alat yang sesuai sehingga membentuk konfigurasi tertentu. Konfigurasi tersebut disebut dengan modul. Modul membran terdiri dari beberapa jenis diantaranya:

a. *Single tubular* dan *bundle tubular*

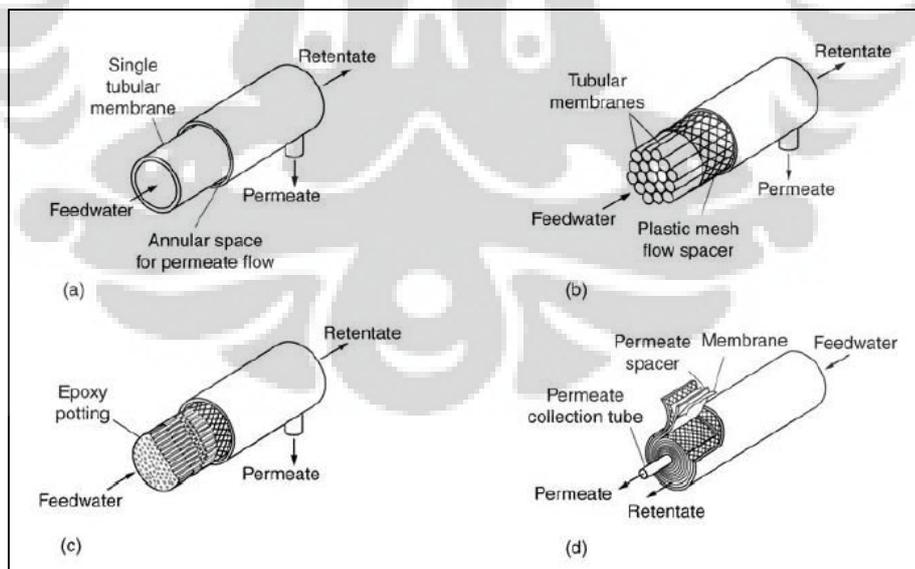
Modul ini digunakan untuk air dengan konsentrasi padatan tersuspensi yang tinggi dikarenakan berpotensi terjadinya penyumbatan. Modul tubular sangat mudah dibersihkan. Umumnya modul tubular memiliki diameter 5-25 mm (Nasir, 2013).

b. *Hollow fiber*

Modul membran terdiri dari ratusan hingga ribuan serat atau fiber yang membentuk satu kesatuan. Serat atau fiber umumnya memiliki diameter sekitar 100  $\mu\text{m}$  sampai 200  $\mu\text{m}$  (Baker et al., 1991 dalam Nasir, 2013).

c. *Spiral wound*

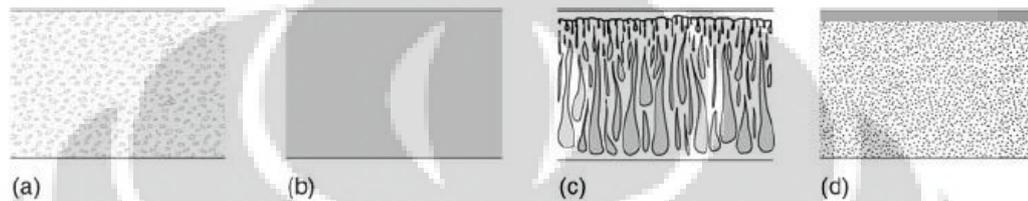
Dalam modul *spiral wound*, sebuah pemisah permeal ditempatkan diantara dua lapisan membran datar. Lapisan membran datar kemudian digulung menjadi modul melingkar yang rapat. Luas membran dalam jenis modul ini berkisar antara 0,2-1,0  $\text{m}^2$ . Modul jenis ini biasanya digunakan untuk aplikasi nanofiltrasi (Baker, 2012)



Gambar 2. 3 Jenis membran: (a) *single tubular*, (b) *bundle tubular*, (c) *hollow fiber*, (d) *spiral wound*

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

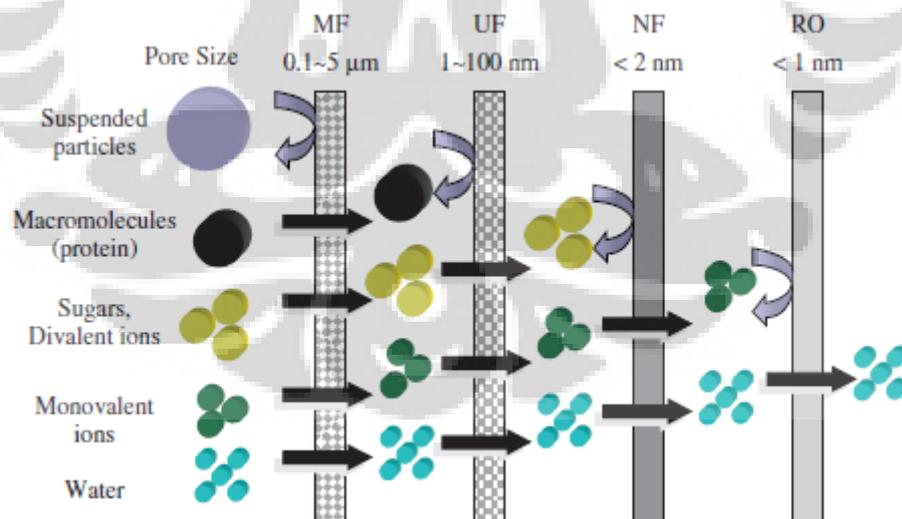
Berdasarkan konstruksinya, membran dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu simetris, asimetris, dan *thin film composite* (TFC). Membran simetris memiliki ukuran yang bervariasi dari mikropori sampai nonpori (*dense*). Membran simetris memiliki ukuran layer yang sangat tipis biasanya kurang dari  $1\ \mu\text{m}$  dan tebal lapisan pori diatas  $100\ \mu\text{m}$ . TFC terbuat dari ikatan selulosa asetat tipis, poliamida, dan layer aktif lainnya (biasanya tebal  $0,15\text{-}0,25\ \mu\text{m}$ ) pada substrat berpori yang tebal yang menyediakan stabilitas (Metcalf dan Eddy, 2007).



Gambar 2. 4 Jenis Kontruksi Membran: (a) membran simetris mikropori, (b) membrane simetris tidak berpori, (c) membran asimetris, (d) *thin film composite* (TFC)

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Berikut ini merupakan klasifikasi filtrasi membran berdasarkan ukuran pori membrannya:



Gambar 2. 5 Klasifikasi Filtrasi Membran

Sumber: Sean X. Liu, 2014

### 2.7.5.1 Mikrofiltrasi (MF)

Mikrofiltrasi (MF) merupakan membran mikrosporous yang mempunyai ukuran pori efektif berkisar antara 0,1-5  $\mu\text{m}$  (Liu, 2014). Tahanan hidrodinamik untuk membran ini cukup rendah sehingga diperlukan tekanan operasi yang rendah pula untuk mendapatkan fluks yang tinggi. Membran mikrofiltrasi dapat menyaring atau menghilangkan partikel dengan ukuran diameter lebih dari 100 nm. Mikrofiltrasi juga dapat digunakan untuk menghilangkan kekeruhan, alga, bakteri, cysta giardia, oocysta cryptosporidium, dan material padatan. Mikrofiltrasi sering juga digunakan untuk menghilangkan padatan tersuspensi atau koloid di dalam air limbah (Said, 2009).

Karakteristik sistem membran mikrofiltrasi dan kemampuan penyisihan (*removal*) dari unit mikrofiltrasi (MF) ditunjukkan pada tabel 2.14 dan 2.15 berikut:

Tabel 2. 14 Karakteristik Sistem Membran Mikrofiltrasi

Parameter	Mikrofiltrasi
Ukuran partikel produk	0.08-2
Senyawa yang ditahan	Partikel tersuspensi yang sangat kecil, koloid, bakteri
Laju flux $\text{L/m}^2.\text{d}$	400-1600
Tekanan operasi, bbar	0.07-1
Konfigurasi	<i>hollow fiber, spiral wound, plate dan frame, tubular</i>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Tabel 2. 15 Efisiensi Penyisihan Unit Mikrofiltrasi

Parameter	Satuan	Efisiensi Penyisihan	Referensi
TOC	%	45-65	Metcalf dan Eddy, 2007
BOD	%	75-90	
COD	%	70-85	
TSS	%	95-98	
TDS	%	0-2	
$\text{PO}_4^{3-}$	%	0-2	
$\text{NO}_3^-$ -N	%	0-2	

Tabel 2. 15 Efisiensi Penyisihan Unit Mikrofiltrasi (Lanjutan)

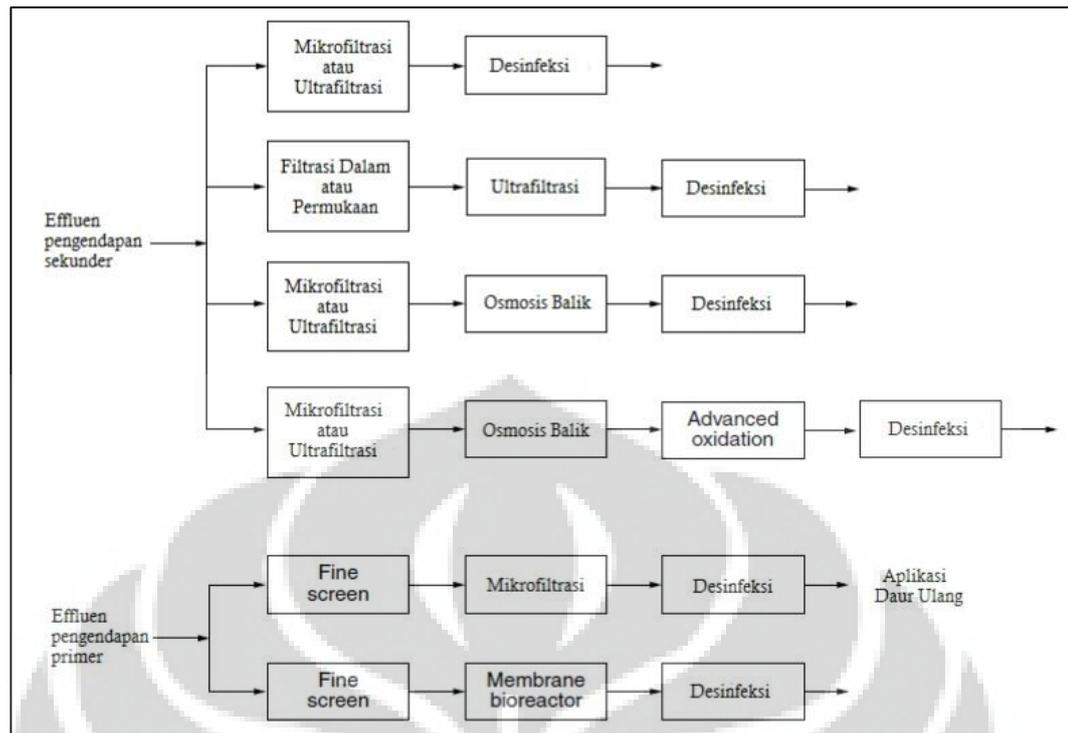
Parameter	Satuan	Efisiensi Penyisihan	Referensi
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	%	0-1	Metcalf dan Eddy, 2007
Cl <sup>-</sup>	%	0-1	
Total coliform	log	2-5	
Fecal coliform	log	2-5	
Protozoa	log	2-5	
Viruses	log	0-2	
NH <sub>3</sub> -N	%	24	Brown et al., 2000
Fe	%	100	Schneider, 2001
Mn	%	22	
Kekeruhan	%	100	Babaei et al., 2015

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

#### 2.7.5.2 Ultrafiltrasi (UF)

Ultrafiltrasi (UF) merupakan salah satu jenis teknologi filtrasi membran yang umum digunakan dalam pengolahan air dan air limbah (Liu, 2014). Ultrafiltrasi dikategorikan sebagai proses membran bertekanan (*pressure-driven*) yang memiliki tekanan sekitar 10 atm (Bhandari dan Ranade, 2014). Ultrafiltrasi bertujuan untuk menyisihkan atau menghilangkan partikulat, patogen, zat organik, nutrisi, dan senyawa terlarut dengan berat molekul yang tinggi seperti koloid, protein, dan karbohidrat (ukuran pori 1-100 nm) (Munter, 2003).

Setelah proses desinfeksi, air hasil proses membran ultrafiltrasi (UF) dapat digunakan untuk berbagai jenis aplikasi daur ulang (Metcalf dan Eddy, 2007). Diagram Aliran Proses Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi dengan effluent pengendapan sekunder dan effluent pengendapan primer dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Diagram Aliran Proses Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi dengan (a) effluent pengendapan sekunder dan (b) effluent pengendapan primer

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Tabel 2.16 menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari unit dan ultrafiltrasi:

Tabel 2. 16 Kelebihan dan Kekurangan Unit Ultrafiltrasi

Kelebihan	Kekurangan
Dapat mengurangi jumlah pengolahan secara kimia	Menggunakan listrik yang lebih tinggi; sistem tekanan tinggi dapat menggunakan energi secara intensif
Kebutuhan ruang yang lebih kecil yaitu 50-80 persen dari pengolahan konvensional	Membutuhkan pra-pengolahan untuk mencegah <i>fouling</i> ; fasilitas pra-pengolahan dapat meningkatkan kebutuhan ruang dan biaya
Mengurangi kebutuhan pekerja, dapat dijalankan secara otomatis	Membutuhkan penanganan residu dan pembuangan konsentrat

Tabel 2. 17 Kelebihan dan Kekurangan Unit Ultrafiltrasi (Lanjutan)

Kelebihan	Kekurangan
Desain membran baru memungkinkan penggunaan tekanan yang lebih rendah; biaya yang lebih kompetitif dibandingkan dengan proses pengolahan air limbah konvensional	Membutuhkan penggantian membran setiap 5 tahun sekali
Menyisihkan protozoa, ookista, dan <i>helminths ova</i> ; dapat juga menghilangkan bakteri dan virus dalam jumlah terbatas	Pembentukan skala menjadi masalah yang serius. Potensi pembentukan skala sulit untuk diprediksi tanpa dilakukan uji lapangan
	<i>Flux rate</i> (jumlah aliran air yang melewati membran) menurun seiring waktu; tingkat <i>recovery</i> dipertimbangkan kurang dari 100 persen
	Kurangnya metode yang murah dan dapat diandalkan untuk memantau kinerja unit

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Tabel 2.18 berikut menyajikan kemampuan penyisihan (*removal*) dari unit ultrafiltrasi (UF):

Tabel 2. 18 Efisiensi *Removal* Unit Ultrafiltrasi

Parameter	Satuan	Efisiensi Penyisihan	Referensi
TOC	%	50-75	Metcalf dan Eddy, 2007
BOD	%	80-90	
TSS	%	96-99,9	
TDS	%	40	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	%	0-2	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	%	0-2	
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	%	0-1	
Cl <sup>-</sup>	%	0-1	
Total coliform	log	3-6	

Tabel 2. 19 Efisiensi *Removal* Unit Ultrafiltrasi (Lanjutan)

Parameter	Satuan	Efisiensi Penyisihan	Referensi
Fecal coliform	log	3-6	Metcalf dan Eddy, 2007
Protozoa	log	>6	
Viruses	log	2-7	
COD	%	90-97	Jadhao dan Dawande, 2012
NH <sub>3</sub> -N	%	98	
TDS	%	40	Kumar et al., 2009
Fe	%	96	Lynk et al. 2001
Mn	%	91	Sorgini dan Ashe, 2001
Turbiditas	%	100	Babaei et al., 2015

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Tabel 2. 20 Karakteristik Sistem Membran Ultrafiltrasi<sup>a</sup>

Parameter	Ultrafiltrasi
Ukuran partikel produk	0,005-0,2
Senyawa yang ditahan	Organik >1000 MW, virus, bakteri, koloid
Laju flux L/m <sup>2</sup> .d	400-800
Tekanan operasi, <sup>b</sup> bar	0,7-7
Konfigurasi	<i>hollow fiber, spiral wound, plate dan frame, tubular</i>

<sup>a</sup>Adaptasi dari Crites and Tchobanoglous (1998) dan Paranjape et al. (2003)<sup>b</sup>kPa x 10<sup>-2</sup> = bar, (1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>) kPa x 0.145 = lb/in<sup>2</sup>

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

### 2.7.5.3 Nanofiltrasi (NF)

Nanofiltrasi merupakan salah satu jenis filtrasi membran yang digunakan untuk menghilangkan zat organik, garam, dan mikroorganisme (Metcalf dan Eddy, 2007). Biasanya, membran nanofiltrasi memiliki kemampuan untuk menyisihkan garam sampai 80% dan menyisihkan zat organik terlarut yang memiliki berat molekul 200-1.000 Da (Baker, 2012). Selain itu, nanofiltrasi juga mampu menghilangkan atau menyisihkan gula, bakteri, protein, partikel, lemak, dan konstituen lain yang memiliki berat molekul lebih besar dari 1kDa (Liu, 2014).

Nanofiltrasi memiliki tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan *reverse osmosis* yaitu sebesar 100 psi (Rao, 2013). Berikut ini merupakan efisiensi penyisihan konstituen dari unit nanofiltrasi:

Tabel 2. 21 Efisiensi *Removal* Unit Nanofiltrasi

Konstituen	Satuan	Laju Penghilangan
TDS	%	40-60
TOC	%	90-98
Warna	%	90-96
Kesadahan	%	80-85
Natrium Klorida	%	10-50
Natrium Sulfat	%	80-95
Kalsium Sulfat	%	10-50
Magnesium Sulfat	%	80-95
Nitrat	%	10-30
Fluoride	%	10-50
Arsen (+5)	%	<40
Atrazin	%	85-90
Protein	log	3-5
Bakteri	log	3-6
Protozoa	log	>6
Virus	log	3-5

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

#### 2.7.5.4 Reverse Osmosis

*Reverse osmosis* digunakan untuk menyisihkan zat terlarut di bawah tekanan 1.200-1.800 kPa untuk air dengan TDS yang rendah (100-2.500 mg/l), tekanan 5.500-8.500 kPa untuk air laut, dan pada laju *flux* bervariasi dari 12-200 L/m<sup>2</sup>.h. Pemisahan menggunakan membran RO umumnya efektif pada berat molekul zat terlarut dibawah 300 dan ukuran zat terlarut 0,0001-0,001 µm (Celenza, 2000 dalam Metcalf dan Eddy, 2007). Selain itu, RO juga digunakan untuk menghilangkan kontaminan yang menyebabkan masalah bau, rasa, dan warna. Teknologi ini mampu menghilangkan rasa yang disebabkan oleh klorida atau sulfat serta dapat digunakan untuk mengolah arsen, asbestos, *atrazine*, *fluoride*, timbal, merkuri, nitrat, dan radium (Drinan dan Spellman, 2012).

Dalam aplikasi daur ulang, RO digunakan untuk menghilangkan konstituen terlarut yang tersisa di dalam air limbah setelah pengolahan tersier atau lanjut dengan filtrasi dalam atau MF atau UF. Sistem membran *reverse osmosis* biasanya digunakan untuk produksi air minum dari air laut atau desalinasi air laut (Munter, 2003). Berikut ini merupakan kinerja atau performa pada pengolahan *reverse osmosis*:

Tabel 2. 22 Performa *Reverse Osmosis*

Konstituen	Satuan	Laju Penghilangan
TDS	%	90-98
TOC	%	90-98
Warna	%	90-96
Kesadahan	%	90-98
Natrium Klorida	%	90-99
Natrium Sulfat	%	90-99
Kalsium Sulfat	%	90-99
Magnesium Sulfat	%	95-99
Nitrat	%	84-96
Fluoride	%	90-98
Arsen (+5)	%	85-95
Atrazin	%	90-96
Protein	log	4-7
Bakteri	log	4-7
Protozoa	log	>7
Virus	log	4-7

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Tabel 2.23 berikut menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari unit dan *reverse osmosis*:

Tabel 2. 23 Kelebihan dan Kekurangan *Reverse Osmosis*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> <li>Membran RO memberikan penghalang untuk mikroorganisme dan kontaminan organik antropogenik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mebutuhkan tekanan yang tinggi untuk mencapai penghilangan garam</li> </ul>

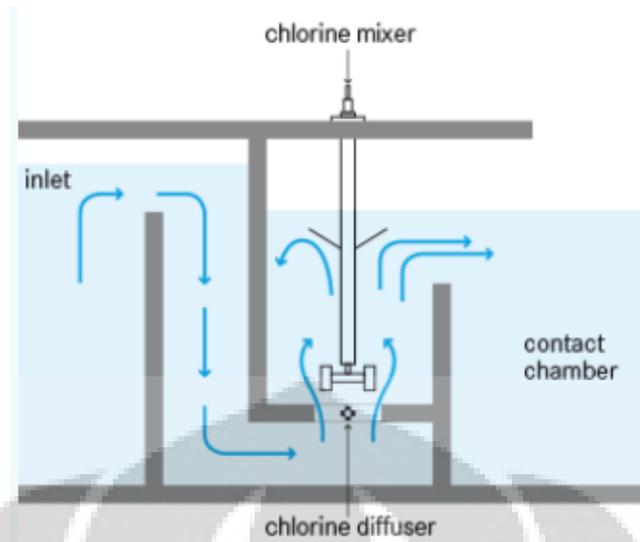
Tabel 2.23 Kelebihan dan Kekurangan *Reverse Osmosis* (Lanjutan)

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lebih menunjukkan pengalaman untuk demineralisasi air limbah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membutuhkan proses pra-pengolahan untuk meminimalisir penyumbatan</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membran RO dapat menghilangkan TDS lebih dari 90 persen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membutuhkan penambahan zat kimia untuk kontrol penyumbatan RO</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Campuran sumber air akan mengurangi ukuran sistem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perawatan yang lebih rutin</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fleksibilitas untuk menyediakan air dengan kualitas tinggi</li> </ul>	

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

### 2.7.6 Desinfeksi

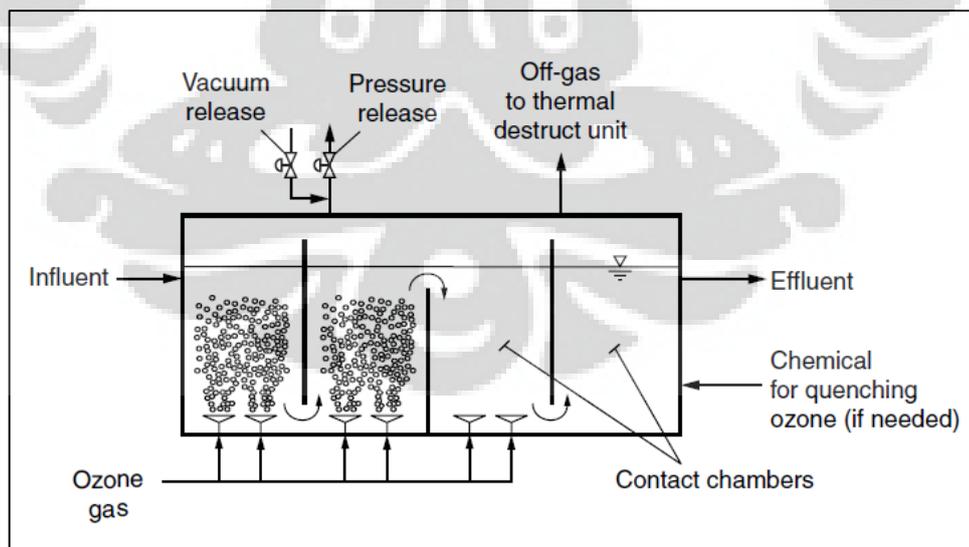
Desinfeksi adalah proses yang mampu membunuh atau mengeliminasi bakteri patogen. Biaya yang rendah, ketersediaan yang tinggi, dan pengoperasian yang mudah membuat klorin dipilih sebagai desinfektan yang paling umum digunakan dalam pengolahan limbah cair. Senyawa klorin yang digunakan untuk pengolahan limbah cair diantaranya adalah klorin ( $\text{Cl}_2$ ), natrium hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ), kalsium hipoklorit ( $\text{CaClO}_2$ ) dan klorin dioksida ( $\text{ClO}_2$ ). Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi proses desinfeksi yaitu konsentrasi desinfektan, waktu kontak, temperatur, dan pH (LeChevallier et al., 2004). Desinfeksi dengan klorin (Gambar 2.7) dapat menyisihkan *fecal coliform* hingga 99,99% (Al-Hashimi et al., 2013).



Gambar 2. 7 Desinfeksi Klorin

Sumber: Tilley et al., 2014

Selain klorin, bahan kimia yang digunakan dalam proses desinfeksi adalah ozon. Ozon adalah oksidan yang sangat kuat dan dihasilkan dari oksigen dalam proses energi-intensif. Ozon dapat mendegradasi polutan organik dan anorganik. Mirip dengan klorin, pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan merupakan salah satu masalah dari penggunaan ozon sebagai desinfektan.



Gambar 2. 8 Desinfeksi dengan Ozon

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Selain menggunakan bahan kimia, desinfeksi dalam aplikasi daur ulang dapat dilakukan dengan penyinaran atau irradiasi. Jenis utama dari irradiasi adalah elektromagnetik, akustik, dan partikel. Sebagai contoh, pembusukan mikroorganisme dalam kolam oksidasi disebabkan oleh sinar ultraviolet (komponen cahaya matahari) dari spektrum elektromagnetik. Lampu khusus telah dikembangkan untuk memancarkan sinar UV telah berhasil digunakan untuk desinfeksi reklamasi air. Desinfeksi dengan sinar UV dilakukan dengan memaparkan mikroorganisme dalam cairan sinar UV (Metcalf dan Eddy, 2007).



Gambar 2. 9 Tangki Desinfeksi UV

Sumber: NEOTEC UV Inc, 2012

Kelebihan dan kekurangan dari klorin, ozon, dan radiasi UV untuk desinfeksi air daur ulang dapat dilihat pada Tabel 2.24 berikut

Tabel 2. 24 Kelebihan dan Kekurangan Desinfeksi Klorin, Ozon, dan Radiasi UV

Klorin		Ozon		Radiasi UV	
Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan
Teknologi lebih sederhana	Waktu kontak yang relatif lama dibandingkan dengan desinfektan lainnya	Desinfektan yang efektif	Monitoring residu ozon memerlukan waktu operator yang lebih lama daripada klorin	Desinfektan yang efektif	Tidak ada efek residu

Tabel 2. 24 Kelebihan dan Kekurangan Desinfeksi Klorin, Ozon, dan Radiasi UV  
(Lanjutan)

Klorin		Ozon		Radiasi UV	
Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan
Desinfektan yang efektif	Klorin terikat yang kurang efektif membunuh virus, spora, dan kista. Pada dosis rendah digunakan untuk <i>fecal coliform</i>	Lebih efektif daripada klorin dalam membunuh virus, spora, kista, dan ookista	Tidak ada dampak residu	Lebih efektif daripada klorin dalam membunuh virus, spora, kista, dan ookista	Energi yang intensif
Residu klorin dapat dipantau	Tidak efektif untuk desinfeksi cryptosporidium	Sifat biosidal tidak dipengaruhi oleh pH	Membentuk produk sampingan yang berbahaya	Tidak membutuhkan senyawa kimia yang berbahaya	Biaya investasi yang sangat mahal
Residu klorin terikat dapat disediakan dengan penambahan amonia	Melepaskan VOC ( <i>volatile organic carbon</i> )	Waktu kontak yang lebih singkat dibandingkan dengan klorin	Membutuhkan pengolahan off gas	Tidak terdapat residu beracun	Lampu membutuhkan pencucian asam untuk menghilangkan kerak
Tersedianya sistem kimia untuk pelengkap seperti kontrol bau	Meningkatkan kualitas TDS dari effluen sekunder	Mengoksidasi sulfida	Sangat korosif dan beracun	Tidak terbentuk produk sampingan yang berbahaya	Membutuhkan pergantian lampu secara berkala
Mengoksidasi sulfida	Meningkatkan kandungan klorin dalam effluen sekunder	Membutuhkan ruang yang lebih kecil	Relatif mahal	Tidak meningkatkan kualitas TDS pada effluen sekunder	Pembuangan bekas lampu dapat menjadi masalah karena terdapat merkuri
Biaya investasi yang relatif murah	Menimbulkan asam	Kontribusi terhadap oksigen terlarut	Energi yang intensif	Efektif dalam menghancurkan konstituen organik yang resisten seperti NDMA	Tidak terdapat sistem kimia sebagai pelengkap seperti untuk kontrol bau, pemberian dosis RAS

Tabel 2. 24 Kelebihan dan Kekurangan Desinfeksi Klorin, Ozon, dan Radiasi UV  
(Lanjutan)

Klorin		Ozon		Radiasi UV	
Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan
Tersedianya kalsium dan natrium hipoklorit yang dipertimbangkan lebih aman daripada gas klorin		Pada dosis yang tinggi, ozon dapat mengurangi konsentrasi konstituen organik sisa	Operasional dan perawatan yang tinggi	Membutuhkan ruang yang lebih kecil dibandingkan desinfeksi klorin	
				Pada dosis yang tinggi, radiasi UV dapat mengurangi konsentrasi konstituen organik sisa seperti NDMA	

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

## 2.8 Tinjauan Penelitian Terdahulu dan Hipotesa

### 2.8.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan studi pustaka yang penulis lakukan dan terbatas pada pengolahan tersier atau lanjutan air limbah domestik, pengolahan tersier, dan filtrasi membran, dapat diketahui bahwa air limbah domestik merupakan salah satu sumber daya air yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Beberapa kendala yang dihadapi di dalam menggunakan kembali air limbah yakni karena air limbah perkotaan kualitasnya tidak memenuhi syarat kualitas air untuk berbagai keperluan dikarenakan mengandung unsur polutan yang cukup besar sehingga sebelum digunakan kembali maka perlu dilakukan pengolahan sampai mencapai tingkat yang diperbolehkan. Daur ulang air limbah khususnya air limbah domestik menjadi salah satu alternatif teknologi yang digunakan sebagai salah satu sumber air baku untuk penyediaan air.

Alternatif teknologi yang digunakan dalam perancangan instalasi daur ulang air limbah domestik di Depok Town Square adalah filtrasi membran. Hal ini

dikarenakan efisiensi penyisihan parameter pencemar atau unsur polutan yang cukup tinggi dan menghasilkan kualitas effluen yang memenuhi persyaratan daur ulang. Pada tinjauan penelitian sebelumnya juga telah dikemukakan bahwa penggunaan air daur ulang mampu mengurangi kebutuhan air PDAM sekitar 24-28%. Berikut ini merupakan penelitian-penelitian terdahulu mengenai daur ulang air limbah:



Tabel 2. 25 Tinjauan Penelitian yang Relevan

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
1	Desain Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik Di Kantor Pusat Pertamina Jalan Medan Merdeka Timur No. 1A	Arif Prima, 2012	Tujuan penelitian adalah merencanakan pemanfaatan dan bentuk pengolahan daur ulang limbah yang sesuai kebutuhan dalam rangka mendesain Instalasi Daur Ulang air limbah yang efektif dan efisien di Kantor Pusat Pertamina.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berdasarkan analisis aspek kebutuhan dan aspek teknis, bentuk pemanfaatan daur ulang direkomendasikan untuk penggunaan <i>cooling tower</i> Gedung Utama. Sedangkan bentuk pengolahan Instalasi Daur Ulang yang direkomendasikan adalah kombinasi <i>pretreatment</i> filter karbon aktif, <i>maintreatment</i> ultrafiltrasi (UF), dan desinfeksi ultraviolet (UV).</li> <li>2. Instalasi Daur Ulang Kantor Pusat Pertamina dapat menghasilkan air daur ulang dengan kapasitas produksi 109 hingga 127 m<sup>3</sup>/hari atau 60 hingga 70 persen dari potensi air limbah yang dapat didaur ulang sebesar 182 m<sup>3</sup>/hari yang bersumber dari Gedung Utama, Gedung annex, Gedung Perwira, dan kantin Kantor Pusat Pertamina. Air daur ulang ini dapat mengurangi konsumsi PDAM sebesar 24 hingga 28 persen.</li> <li>3. Dengan biaya investasi awal diestimasi sebesar Rp. 630.204.000 dan biaya operasional dan perawatan diestimasi sebesar Rp. 8.511.524 setiap bulannya, Instalasi Daur Ulang Kantor Pusat Pertamina dianggap layak secara ekonomi dengan harga produksi air daur ulang Rp. 9.126 per m<sup>3</sup> (jangka waktu operasi 2 tahun) atau harga produksi air daur ulang sebesar Rp. 4.990 per m<sup>3</sup> (jangka waktu operasi 5 tahun) dibandingkan harga air PDAM sebesar Rp. 12.550 per m<sup>3</sup>. Penghematan yang diperoleh Kantor Pusat Pertamina sebesar Rp. 41.113.800 sampai Rp. 47.966.100 setiap bulannya dengan <i>payback period</i> diperkirakan selama 16 sampai 19 bulan.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
2	Daur Ulang Effluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Pusat Produksi Minyak dan Gas Bumi CNOOC SES Ltd. Di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu.	Rizki Ibtida Prasetyaningtyas, 2012	Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji kualitas effluent instalasi pengolahan air limbah eksisting di CNOOC SES Ltd, Pulau Pabelokan, menawarkan solusi daur ulang air limbah di CNOOC SES Ltd, Pulau Pabelokan, Menentukan desain pengolahan lanjutan effluent instalasi pengolahan air limbah untuk memenuhi kebutuhan daur ulang.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dari hasil pemeriksaan laboratorium terhadap kualitas effluent <i>Sewarage Treatment Plant</i> (STP) Pulau Pabelokan selama 3 bulan yaitu November 2011, Desember 2011, Januari 2012 terhadap beberapa parameter diperoleh konsentrasi rata-rata BOD<sub>5</sub> 20 mg/L, TDS 242,71 mg/l, pH 6,84, TSS 12,28 mg/l, COD 42,53 mg/l, ammonia 6,87 mg/l, dan <i>fecal coliform</i> lebih dari 1.600 MPN/100 ml. Kualitas tersebut telah memenuhi baku mutu effluent pengolahan air limbah menurut Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 122 tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.</li> <li>2. Berdasarkan perhitungan neraca air, debit air yang dibutuhkan untuk masing-masing penggunaan tersebut adalah 59,31 m<sup>3</sup>/hari untuk penggelontoran toilet, 144 m<sup>3</sup>/hari untuk penyiraman taman, dan 34,33 m<sup>3</sup>/hari untuk <i>cooling tower</i>. Untuk memenuhi kebutuhan air tersebut air limbah harus diolah hingga mencapai kualitas target yaitu air kelas 2 berdasarkan PP 82 Tahun 2001.</li> <li>3. Pemilihan unit pengolahan daur ulang didasarkan pada metode pembobotan dengan parameter kelayakan yang terdiri dari aspek teknis atau teknologi dan biaya pengolahan. Instalasi pengolahan daur ulang yang direkomendasikan adalah unit bak ekualisasi, <i>pretreatment</i> menggunakan filter <i>activated carbon</i>, ultrafiltrasi, dan ultraviolet sebagai unit desinfeksi. Penurunan total untuk parameter BOD, COD, ammonia, TDS, TSS, dan <i>fecal coliform</i> dari pengolahan tersebut masing-masing diperkirakan sebesar 96,3%, 95%, 57,5%, 3%, 98%, dan 97,5%.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
3	Application of MBR Technology in Municipal Wastewater Treatment	A. Naghizadeh, A. H. Mahvi, A.R. Mesdaghinia, M. Alimohammadi, 2011	Tujuan penelitian ini untuk menyelidiki aplikasi <i>pilot scale</i> MBR yang beroperasi pada HRT yang berbeda selama musim dingin untuk menghilangkan kandungan organik yang berdasarkan pada COD, TSS, dan penyisihan kekeruhan dalam air limbah domestik. Kinerja MBR akan ditentukan dalam <i>sludge retention time</i> (SRT)=20 hari dan pH (6.8-7.1), HRT (4, 6, 8, 10, dan 12 jam).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kualitas effluent yang dihasilkan pada semua HRT sangat memuaskan dan efisiensi penyisihan COD mencapai &gt;96%.</li> <li>2. Penyisihan COD di dalam bioreaktor menurun seiring dengan menurunnya HRT.</li> <li>3. Penyisihan TSS dalam semua kondisi mencapai &gt;99% sehingga konsentrasi TSS effluent dibawah 1,1 mg/l.</li> <li>4. Efisiensi penyisihan kekeruhan mencapai &gt;99,3% sehingga menghasilkan kekeruhan effluent sebesar 0,3 NTU.</li> <li>5. Teknologi MBR menghasilkan kualitas permeal yang baik dan cocok untuk aplikasi <i>water reuse</i>.</li> </ol>
4	Integration of Immersed Membrane Ultrafiltration with Coagulation and Activated Carbon Adsorption for Advanced Treatment of Municipal Wastewater	E. Dialynas, E. Diamadopoulou, 2008.	Menganalisa efisiensi pengolahan dengan menggabungkan unit ultrafiltrasi dengan unit koagulasi dan adsorpsi karbon aktif.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laju penyisihan kekeruhan rata-rata mencapai 90%.</li> <li>2. <i>Fecal coliform</i> dan <i>total coliform</i> mampu mencapai efisiensi penghilangan sebesar 99,94% dan 99,96%.</li> <li>3. Ketika UF dikombinasikan dengan unit koagulasi, hasil yang diperoleh menunjukkan sama dengan tanpa koagulasi (90-98% penghilangan kekeruhan). Hal ini menunjukkan bahwa koagulasi menyisihkan fraksi bahan organik koloid dengan ukuran lebih dari 0,04 <math>\mu\text{m}</math> tanpa menghilangkan bahan organik terlarut sampai batas yang cukup besar.</li> <li>4. Menggabungkan UF dengan PAC menyebabkan penghilangan DOC mencapai 60%.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
5	Advanced Treatment of The Reverse Osmosis Concentrate Produced During Reclamation of Municipal Wastewater	Emmanuel Dialynas, Dionissios Mantzavinos, Evan Diamadopoulos, 2008.	Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penghilangan zat organik (dinyatakan sebagai DOC) dari konsentrat pengolahan <i>reverse osmosis</i> dari effluent MBR.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koagulasi dengan tawas mampu mencapai penyisihan DOC hingga 42% sedangkan koagulasi dengan <math>\text{FeCl}_3</math> memberikan tingkat penyisihan yang lebih tinggi yaitu 52% dengan dosis yang rendah.</li> <li>2. Adsorpsi dengan <i>granular activated carbon</i> menunjukkan penyisihan DOC yang tinggi yaitu 91,3% untuk 5 g/l.</li> <li>3. Oksidasi elektrolitik mampu menghilangkan DOC hingga 36% pada 17,8 A setelah 30 menit pengolahan.</li> </ol>
6	Coagulation-Adsorption-Ultrafiltration for Wastewater Treatment and Reuse	D. Abdessemed, G. Nezzal, R. Ben Aim, 2000.	Menghilangkan zat organik yang masih terdapat dalam effluent sekunder dengan menggabungkan koagulasi-adsorpsi dengan ultrafiltrasi sebagai alternatif reklamasi dan penggunaan kembali air limbah domestik.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasil terbaik dari residu COD untuk koagulasi-adsorpsi yaitu 10,4 mg/l pada pH=5,5 dengan konsentrasi <math>\text{FeCl}_3</math> 40 mg/l dan bubuk karbon aktif sebesar 20 mg/l, dan kekeruhan sesuai dengan persyaratan <i>reuse</i>.</li> <li>2. Proses koagulasi-ultrafiltrasi sangat tidak efisien, mungkin karena membran ultrafiltrasi tidak mempertahankan massa molekul organik rendah kurang dari 50.000 dalton.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
7	Treatment of Domestic Wastewater using Microfiltration for Reuse of Wastewater	Kyu-Hing Ahn, Kyung-Guen Song, 1999.	Untuk menilai penerapan mikrofiltrasi sebagai satu langkah dalam pengolahan air limbah domestik untuk digunakan kembali dan untuk menyediakan data operasional dasar untuk operasi jangka panjang.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dalam reklamasi air limbah domestic, mikrofiltrasi dapat dioperasikan selama 120 hari tanpa prosedur pembersihan. Hal ini menunjukkan bahwa agitasi dalam tangki membran efektif untuk mencegah penyumbatan.</li> <li>2. Pembersih kimia efektif pada <i>recovery</i> resistensi filtrasi, akan tetapi <i>fouling</i> tidak dapat di <i>recovery</i> bahkan dengan pembersih kimia.</li> <li>3. Sekitar 60% massa TOC terlarut tersisihkan dalam sistem yang disebabkan oleh biodegradasi penghilangan bahan organik terlarut, sedangkan padatan tersuspensi dan koloid dihilangkan oleh saringan membran.</li> <li>4. Kualitas effluent yang ditemukan lebih rendah dari 30 mg/l COD, 10 mg/l BOD, 10 mg.l TOC, 1 NTU kekeruhan, dan 2 mg/l SS yang masing-masing memenuhi standar untuk <i>wastewater reuse</i>.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
8	Daur Ulang Air Limbah Domestik Kapasitas 0,9 m <sup>3</sup> /jam Menggunakan Kombinasi Reaktor Biofilter Anaerob Aerob dan Pengolahan Lanjutan	Wahyu Hidayat, 2009.	Tujuan kegiatan ini adalah untuk penghematan pemakaian air bersih melalui proses daur ulang air limbah rumah tangga/domestik dan menyelamatkan lingkungan dari pencemaran air limbah rumah tangga dengan menerapkan proses pengolahan air limbah rumah tangga secara komunal dengan sistem biologis menggunakan reaktor biofilter anaerob-aerob dilanjutkan dengan proses pengolahan lanjutan yang terdiri dari proses oksidasi, penyaringan dengan saringan pasir cepat, saringan mangan zeolite, saringan karbon aktif yang dilanjutkan dengan desinfeksi dengan sterilisator ultraviolet untuk menghasilkan air bersih.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasil pengolahan instalasi daur ulang limbah rumah tangga/domestic dengan kapasitas 0,9 m<sup>3</sup>/jam sudah memenuhi persyaratan untuk cuci kendaraan, siram tanaman, dan <i>flushing</i> toilet.</li> <li>2. Efisiensi proses daur ulang: BOD 99,05%, COD 99,5%, SS 98,44%, Ammonia (NH<sub>4</sub>-N) 92,59%, dterjen (MBAS) 93,27%, dan Fosfat (PO<sub>4</sub>) 59,34%.</li> <li>3. Biaya pengoperasioan sebesar Rp. 10.200 per bulan per rumah tangga dengan total energi listrik sekitar 645 watt.</li> <li>4. Reaktor biofilter anaerob-aerob dan pengolahan lanjutan untuk daur ulang air limbah rumah tangga dapat dibuat dengan skala kecil (individual) ataupun skala besar sesuai dengan kebutuhan.</li> <li>5. Untuk meningkatkan kualitas air bersih menjadi air siap minum diperlukan pengolahan lanjutan tingkat tida yaitu menggunakan ultrafiltrasi dan <i>reverse osmosis</i>.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
9	Low-pressure Membrane Filtration of Secondary Effluent in Water Reuse: Pre-treatment for fouling reduction	Linhua Fan, Thang Nguyen, Felicity A Roddick, John L. Harris, 2008.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi berbagai metode pra pengolahan termasuk pra-filtrasi, koagulasi kimia, pertukaran ion untuk meningkatkan kinerja membrane tekanan rendah dalam pengolahan AS-lagoon. Kinerja membran MF dan UF diperiksa dalam hal peningkatan fluks, peningkatan laju penyisihan EfOM, dan pengurangan <i>fouling</i> . Tujuan kedua adalah untuk menyelidiki komponen EfOM yang merupakan penyebab utama <i>fouling</i> . Ini melibatkan penggunaan berbagai teknik pengukuran meliputi EEM fluoresensi, resin fraksinasi dari bahan organik, dan HPSEC untuk mendeteksi perbedaan antara umpan dan permeat.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengolahan koagulasi untuk effluent AS-lagoon diubah menjadi membrane bertekanan rendah. Performa tawas lebih baik daripada <i>ferric chloride</i> untuk peningkatan flux dan peningkatan dosis koagulan akan meningkatkan laju flux. Kinerja tawas yang lebih baik ini disebabkan oleh struktur berpori lebih terbuka dibandingkan dengan <i>ferric chloride</i>.</li> <li>2. Pengendapan setelah koagulasi hanya memiliki dampak yang kecil untuk kinerja MF dan UF dibandingkan dengan filtrasi langsung. Oleh sebab itu tidak ada keuntungan pada tahap pengendapan yang dalam merancang proses pengolahan untuk effluent sekunder. Bagaimanapun, pra-filtrasi setelah koagulasi dapat meningkatkan flux MF, tetapi memiliki dampak yang kecil untuk UF.</li> <li>3. Koagulasi memberikan peningkatan penyisihan bahan organik oleh MF sekitar 15%, tetapi tidak meningkatkan penyisihan oleh UF. Dosis koagulan tawas 5 mg/l merupakan dosis yang efektif untuk mencegah terjadinya <i>fouling</i> internal.</li> <li>4. Pra-pengolahan dengan resin pertukaran ion dapat menghilangkan bahan organik dari air umpan sekitar 55% dengan dosis resin 10 ml/l, akan tetapi tidak meningkatkan laju flux permeat atau tidak mengurangi penyumbatan membrane UF dan MF.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
10	Aerobic MBRs for Domestic Wastewater Treatment: A Review with Cost Considerations	M. Gander, B. JeVerson, S. Judd, 2000.	Makalah ini akan membahas mengenai beberapa teknik daur ulang yang tersedia untuk pelaku industri dan detail hasil teknik daur ulang tersebut.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. SRT yang lama mengurangi produksi lumpur, menyebabkan pertumbuhan bakteri khusus, dan meningkatkan pemecahan makromolekul.</li> <li>2. Penghilangan bakteri dan virus secara signifikan dicapai dengan membran MF dan UF.</li> <li>3. Biaya aerasi tinggi di MBR terendam karena kebutuhan untuk mengatur efek aliran silang dan memberikan oksigen ke biomassa.</li> <li>4. Sistem <i>side-stream</i> memiliki biaya pemompaan 60-80% dari biaya total, sehingga menyebabkan biaya operasional yang tinggi meskipun biaya modal dan <i>foot print</i> yang lebih kecil.</li> </ol>
11	Daur Ulang Air Limbah (Water Recycle) Ditinjau dari Aspek Teknologi, Lingkungan, dan Ekonomi	Nusa Idaman Said, 2006.	Mengkaji mengenai penerapan daur ulang air limbah domestik di DKI Jakarta ditinjau dari aspek teknologi, lingkungan, dan ekonomi.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daur ulang air limbah digunakan sebagai alternatif suplai air bersih secara teknologi sangat memungkinkan.</li> <li>2. Kendala utama daur ulang air limbah adalah masalah ekonomi yakni apakah biaya pengolahan atau harga air hasil reklamasi bisa lebih murah dibandingkan dengan harga air bersih yang berasal dari sumber air tawar.</li> <li>3. Penggunaan daur ulang air limbah yang mungkin saat ini adalah untuk penggunaan yang bukan air minum (<i>non potable</i>) misalnya untuk air pendingin, air irigasi dan lansekap, pemadam kebakaran, air siram tanaman, dan lainnya.</li> <li>4. Untuk kondisi di Indonesia daur ulang air limbah skala besar mungkin masih belum memungkinkan mengingat fasilitas reklamasi atau pusat pengolahan air limbah yang belum memadai.</li> </ol>

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
12	Wastewater Reuse in Europe	D. Bixio, C. Thoeye, J. D. Koning, D. Joksimovic, D. Savic, T. Wintgens, dan T. Melin, 2005.	Mengulas tentang penggunaan air kembali di Eropa dan menetapkan peta teknologi reklamasi air serta aplikasi daur ulang	Sektor air di Eropa berada dalam fase transisi dengan kesempatan untuk penggunaan kembali air yang dapat diterapkan pada skala besar sebagai praktek berkelanjutan dalam rangka pengelolaan air terpadu. Keberhasilan pengelolaan air terpadu ini tergantung pada individu, masyarakat lokal, dan peraturan setempat. Agar potensi daur ulang dapat dipenuhi seutuhnya maka peraturan institusi harus jelas, adanya inovasi teknologi, dan kerangka kerja yang baik.
12	Comparison of Membrane Options for Water Reuse and Reclamation	Pierre Cote, Michel Masini, dan Diana Mourato, 2004.	Membahas dua opsi teknologi berbasis membran yang tersedia untuk mengolah limbah agar dapat digunakan kembali yaitu filtrasi tersier (TF) dari proses lumpur aktif konvensional (CAS) dan <i>membrane bioreactor</i> (MBR)	Dua pilihan membran yang ditawarkan yaitu lumpur aktif konvensional diikuti dengan filtrasi tersier (CAS-TF) dan <i>membrane bioreactor</i> (MBR) memberikan kualitas limbah dari sudut pandang padatan tersuspensi dan indeks <i>silt density</i> yang cocok sebagai umpan untuk <i>reverse osmosis</i> (RO). Namun, MBR lebih unggul dalam menghilangkan kontaminan organik dan nutrisi (nitrogen dan fosfor) karena membran bekerja secara sinergi dengan bioreaktor.

Tabel 2.25 Tinjauan Penelitian yang Relevan (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Tujuan Penelitian	Kesimpulan
14	Sand Filtration of Wastewater for Tertiary Treatment and Water Reuse	M. F. Hamoda, I. Al-Ghusain N. Z, Al-Mutairi, 2004.	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja aktual filtrasi tersier pada air limbah perkotaan. Untuk tujuan ini, tiga instalasi pengolahan air limbah di Kuwait dipilih.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtrasi tersier memainkan peranan penting dalam meningkatkan kualitas limbah untuk digunakan kembali dalam potensi irigasi. Analisa statistik menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam parameter kualitas limbah (TSS, VSS, COD, dan BOD) dikarenakan pengolahan effluent sekunder oleh filtrasi pasir.</li> <li>2. Effluen dari pengolahan tersier secara konsisten memenuhi persyaratan kualitas air untuk digunakan kembali dalam irigasi lansekap.</li> <li>3. Filtrasi tersier menghasilkan kualitas effluent yang stabil.</li> <li>4. <i>Hydraulic overloading</i> pada instalasi pengolahan air limbah berdampak tidak baik pada kinerja filtrasi tersier.</li> <li>5. Penggunaan kembali effluent pengolahan tersier adalah pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk pengembangan sumber daya air di Kuwait.</li> </ol>
15	A Comparative Study of Tertiary Wastewater Treatment by Physico-chemical-UV Process and Macrofiltration-Ultrafiltration Technologies	M. Gomez, F. Plaza, G. Garralon, J. Perez, M.A. Gomez, 2007.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan biaya ekonomi dan kualitas effluent dari pengolahan <i>physicochemical-UV</i> dan makrofiltrasi-ultrafiltrasi sebagai pengolahan tersier air limbah perkotaan.	Pengolahan fisika-kimia yang dikombinasikan dengan desinfeksi UV dan sistem makrofiltrasi-ultrafiltrasi dapat dijadikan pertimbangan sebagai pengolahan tersier air limbah perkotaan. Kedua sistem tersebut memberikan kualitas effluent yang baik dari segi fisika-kimia maupun biologi. Namun, sistem fisika-kimia UV tidak selalu memberikan kualitas mikrobiologi yang konsisten karena tergantung pada variasi transmisi air. Kualitas effluent oleh pengolahan membran jelas lebih unggul tetapi membran kurang kompetitif dengan pengolahan fisika-kimia UV dikarenakan biaya yang tinggi untuk penggantian membran.

Sumber: Olahan Penulis (2014)

### 2.8.2 Hipotesa

Kualitas air limbah domestik di Depok Town Square dapat didaur ulang sampai mencapai kualitas tertentu sesuai dengan rencana penggunaannya. Instalasi daur ulang mampu mengurangi kebutuhan air bersih yang berasal dari PDAM dan air tanah serta mengurangi jumlah air limbah ramah lingkungan atau berpolutan rendah dibuang ke badan air.



## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Pendekatan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan bentuk pemanfaatan dan bentuk pengolahan daur ulang air limbah domestik di Depok Town Square. Untuk menunjang akurasi penelitian, dibutuhkan metode penelitian yang tepat. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan menggunakan dua pendekatan sekaligus yaitu pendekatan kualitatif dan pendekatan kuantitatif. Menurut Notoatmodjo (2002), penelitian deskriptif merupakan suatu metode penelitian yang dilakukan dengan tujuan utama untuk membuat gambaran atau deskriptif tentang suatu keadaan secara objektif. Pendekatan kualitatif adalah pendekatan yang di dalam usulan penelitian, proses, hipotesis, analisis data, dan kesimpulan sampai dengan penulisannya mempergunakan aspek-aspek non perhitungan numerik. Sedangkan pendekatan kuantitatif adalah pendekatan yang di dalam usulan penelitian, proses, hipotesis, analisis data, dan kesimpulan sampai dengan penulisannya mempergunakan aspek pengukuran, perhitungan, dan kepastian data numerik (Fraenkel dan Wallen, 2009)

Dalam penelitian ini, pendekatan kualitatif dilakukan dalam menganalisa pemilihan bentuk pemanfaatan daur ulang air limbah yang paling tepat. Sedangkan pendekatan kuantitatif dilakukan dalam merancang bentuk pengolahan daur ulang air limbah berdasarkan angka-angka yang diperoleh selama penelitian.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel merupakan suatu keadaan, faktor, kondisi, perlakuan, atau tindakan yang mempunyai variasi yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya. Variabel-variabel yang digunakan dalam merencanakan sebuah instalasi daur ulang air limbah domestik diantaranya adalah sebagai berikut:

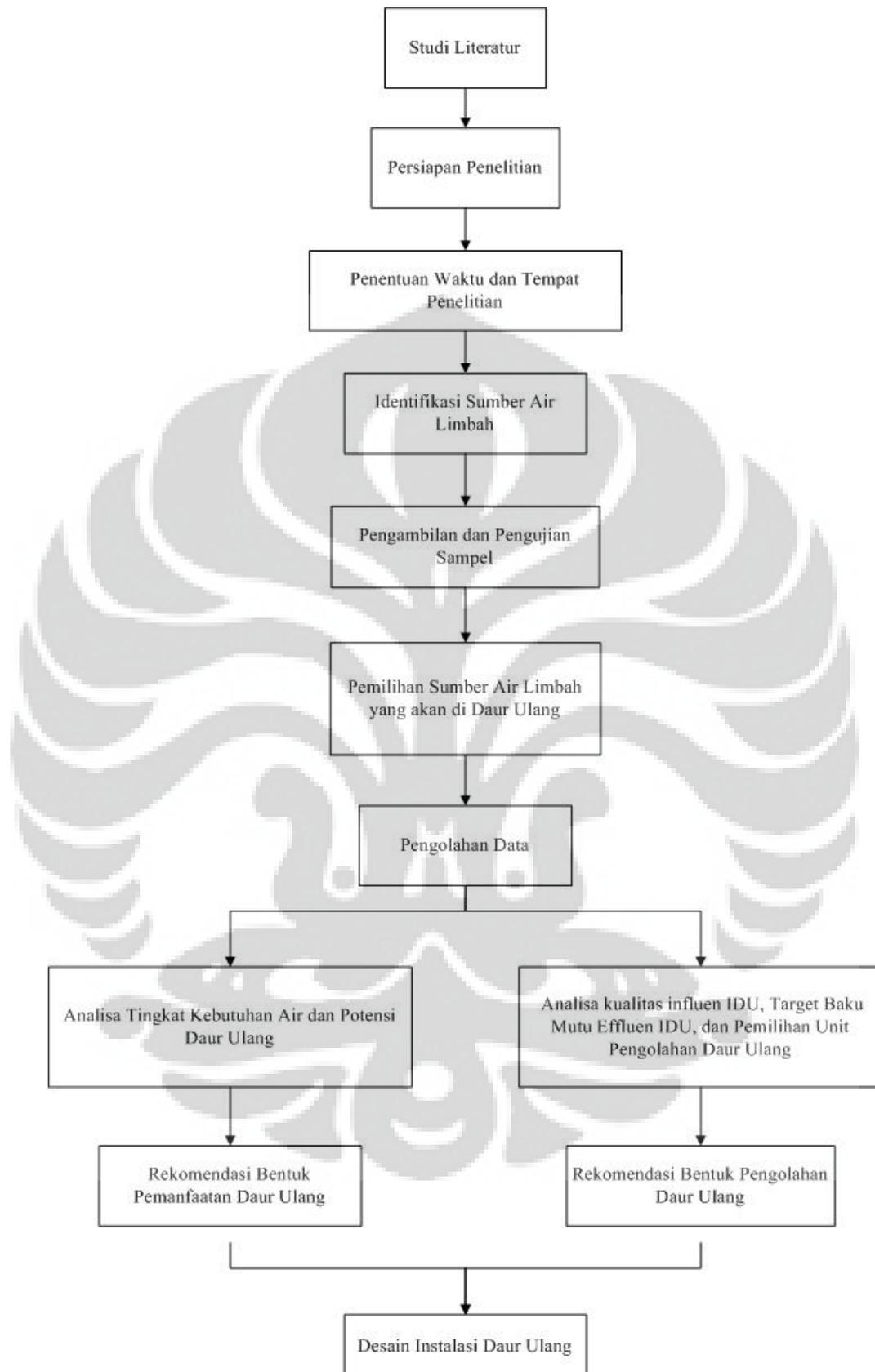
- a. Data kualitas air limbah yang akan menjadi sumber air daur ulang di Depok Town Square
- b. Data debit air limbah yang akan menjadi sumber air daur ulang di Depok Town Square

- c. Kebutuhan air pada setiap penggunaan di Depok Town Square.

### 3.3 Kerangka Penelitian

Langkah-langkah yang tepat dibutuhkan dalam melakukan pengolahan dan analisa data agar peneliti dapat menentukan aplikasi atau bentuk pemanfaatan daur ulang air limbah domestik serta dapat merancang instalasi daur ulang air limbah domestik sesuai dengan bentuk pemanfaatannya. Dengan demikian, alur kerangka penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

Sumber: Pengolahan Penulis, 2014



### 3.5 Pengumpulan Data

#### 3.5.1 Data Primer

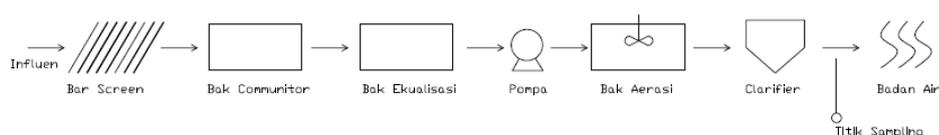
Data primer adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti. Dalam penelitian ini, data primer yaitu pengujian sampel kualitas air limbah dari *sump pit*, *sump pit grease trap*, dan outlet IPAL. Parameter air limbah yang diuji yaitu BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, ammonia, dan pH. Parameter tersebut dipilih dikarenakan berlandaskan pada baku mutu air limbah domestik yang ada. Selain itu, pemilihan parameter berdasarkan pada hal-hal berikut:

- pH menunjukkan apakah air bersifat asam atau basa.
- Senyawa ammonia merupakan produk utama dari penguraian limbah nitrogen seperti pada urin dan feses yang masuk ke dalam sistem pengolahan air limbah.
- TSS merupakan faktor yang signifikan dalam mengamati kejernihan air. Semakin banyak kandungan padatan dalam air maka air menjadi semakin kurang jernih.
- BOD dan COD merupakan salah satu indikator banyaknya senyawa organik yang terdapat dalam air limbah.

Pengambilan data primer ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sumber air limbah di Depok Town Square dan menguji keabsahan data sekunder yang didapat guna mendukung penelitian penulis.

#### 3.5.1.2 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air limbah dilakukan berdasarkan SNI 6989.59-2008 tentang air dan air limbah bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah. Berikut ini merupakan salah satu titik pengambilan sampel air limbah di Depok Town Square.



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel Effluen IPAL

Sumber: Pengolahan Penulis, 2014

### 3.5.1.3 Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di tiga titik yaitu pada *sump pit*, *sump pit grease trap*, dan pada titik akhir saluran pembuangan limbah (outlet) IPAL sebelum air limbah disalurkan ke perairan penerima. *Sump pit* merupakan lubang penampung air limbah yang berasal dari toilet dan mushola sedangkan *sump pit grease trap* adalah lubang yang menampung air limbah yang berasal dari *food court*.



Gambar 3. 3 (a) *sump pit*, (b) *sump pit grease trap*, dan (c) outlet IPAL

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

Berdasarkan SNI 6989.59-2008, sampel harus diambil pada lokasi yang telah mengalami pencampuran secara sempurna dan jika terdapat bak ekualisasi maka pengambilan sampel dilakukan pada saluran sebelum masuk ke badan air penerima dengan cara sesaat (*grab sampling*). Pengambilan sampel pada *sump pit* dan *sump pit grease trap* dilakukan dengan cara sesaat karena telah mengalami pencampuran secara sempurna dan pada titik outlet IPAL dilakukan dengan cara sesaat (*grab sampling*) dikarenakan IPAL Depok Town Square memiliki bak ekualisasi.

### 3.5.1.4 Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau kualitas limbah yang berasal dari *sump pit*, *sump pit grease trap*, dan effluen IPAL. Data tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan sumber air limbah yang dapat didaur ulang dan besar penyisihan konsentrasi beban pencemar yang dibutuhkan untuk mencapai target baku mutu effluen IDU.

Pengujian sampel dilakukan sebanyak satu kali untuk tiap parameter di Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) DKI Jakarta dan di Depok Town Square. Metode dan standar pengujian untuk masing-masing parameter disajikan pada Tabel 3.1 berikut:



Tabel 3. 1 Metode dan Standar Pengujian Parameter

Parameter	Prinsip Metode Pengujian	Standar Pengujian	Laboratorium
BOD (20°C, 5 hari)	Sejumlah contoh uji ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambahkan larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20°C ± 1°C selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari. Bahan kontrol standar dalam uji BOD ini, digunakan larutan glukosa-asam glutamate.	SNI 6989.72-2009	BPLHD Jakarta
COD	Senyawa organik dan anorganik, terutama organik, dalam contoh uji dioksidasi oleh Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> dalam refluks tertutup selama 2 jam menghasilkan Cr <sup>3+</sup> . Kelebihan kalium dikromat yang tidak tereduksi, dititrasi dengan larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) menggunakan indikator ferroin. Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O <sub>2</sub> mg/L)	SNI 6989.73-2009	BPLHD Jakarta

Tabel 3.1 Metode dan Standar Pengujian Parameter (Lanjutan)

Parameter	Prinsip Metode Pengujian	Standar Pengujian	Laboratorium
TSS	Contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Jika padatan tersuspensi menghambat saringan dan memperlama penyaringan, diameter pori-pori saringan perlu diperbesar atau mengurangi volume contoh uji. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.	SNI 06-6989.3-2004	BPLHD Jakarta
pH	Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktivitas ion hidrogen secara potensiometri/eletrometri dengan menggunakan pH meter.	SNI 06-6989.11-2004	Depok Town Square
Ammonia	Ammonia bereaksi dengan hipoklorit dan fenol yang dikatalisis oleh natrium nitroprusida membentuk senyawa biru indofenol.	SNI 06-6989.30-2005	BPLHD Jakarta

Sumber: Pengolahan Penulis, 2014

### 3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh oleh pihak lain, dalam hal ini yaitu data yang berasal dari Depok Town Square yang digunakan untuk menunjang penelitian penulis. Data sekunder penelitian yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Data Sekunder Penelitian

No	Data	Uraian Informasi Data	Sumber Data
1	Karakteristik Lokasi	Letak dan luas	Data dari Depok Town Square, tinjauan lapangan, wawancara, literatur.
		Peta lokasi	
2	Demografi	Jumlah karyawan	Data dari Depok Town Square dan wawancara
		Jumlah pengunjung	
3	Kebutuhan air bersih	Data mengenai sumber air bersih	Data dari Depok Town Square, tinjauan lapangan, wawancara, literatur.
		Debit kebutuhan air bersih	
		Neraca air	
4	Air Limbah Domestik	Karakteristik Air Limbah	Data dari Depok Town Square, tinjauan lapangan, wawancara, literatur.
		Debit influen dan effluen air limbah	
5	Instalasi Pengolahan Air Limbah	Unit pengolahan dan kapasitas pengolahan	Data dari Depok Town Square, tinjauan lapangan, wawancara, literatur.
		Skema pengolahan Air Limbah Domestik	
6	Daur ulang	Bentuk pemanfaatan daur ulang yang dibutuhkan dan diinginkan	Wawancara, literatur

Sumber: Pengolahan Penulis, 2014

### 3.6 Identifikasi Sumber Air Daur Ulang

Sumber air limbah yang dapat didaur ulang di Depok Town Square ini berasal dari *sump pit*, *sump pit grease trap*, dan effluent IPAL. *Sump pit* merupakan lubang penampung air limbah yang berasal dari toilet dan mushola sedangkan *sump pit grease trap* adalah lubang yang menampung air limbah yang berasal dari *food court*. Penentuan sumber air limbah yang akan didaur ulang didasarkan pada kualitas air limbah tersebut. Air limbah yang memiliki kualitas yang paling baik akan dijadikan sebagai prioritas utama untuk didaur ulang. Hal ini dikarenakan

tingkat pengolahan yang dibutuhkan untuk mencapai air daur ulang yang sesuai baku mutu tidak terlalu tinggi.

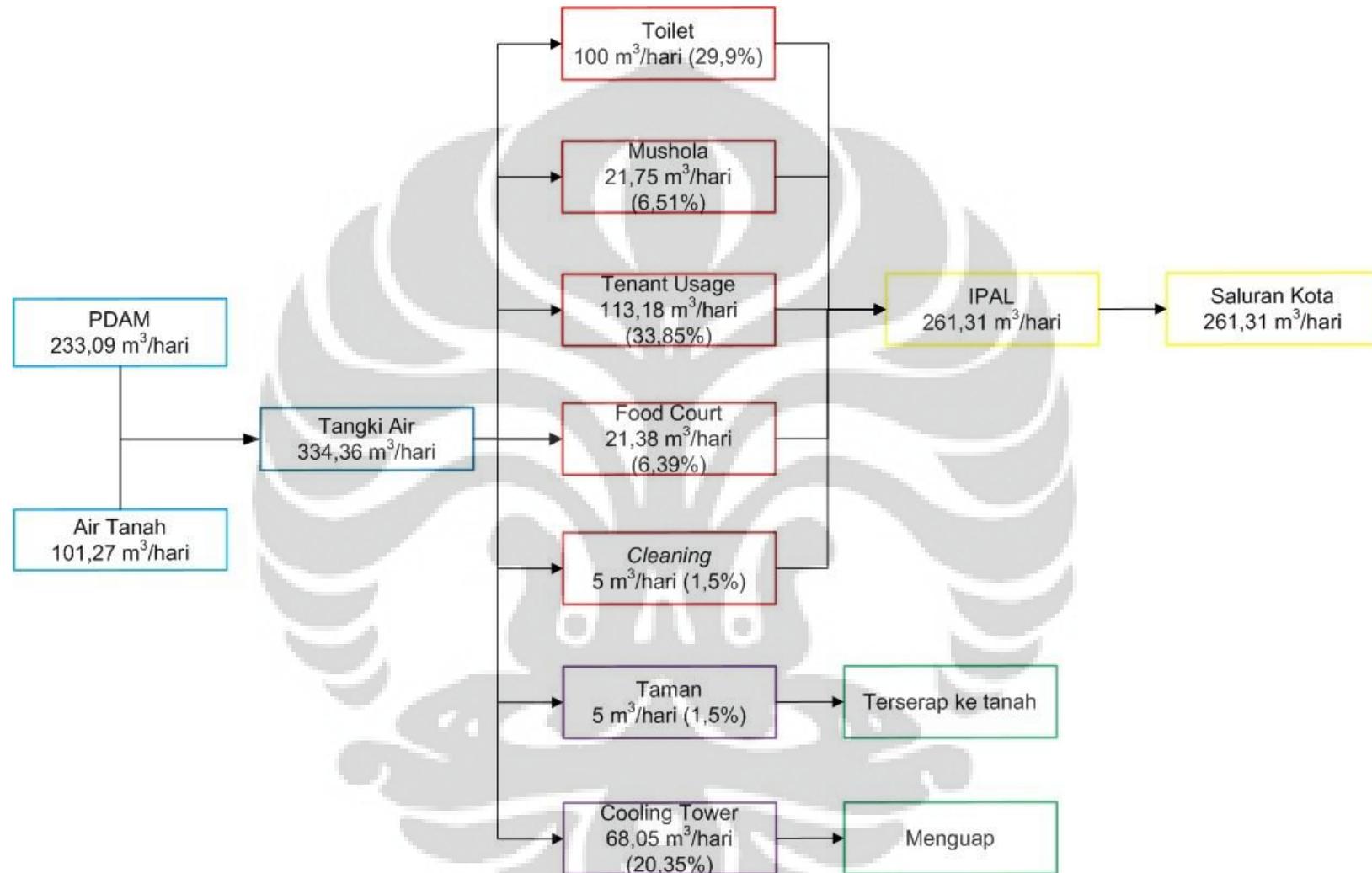
### **3.7 Pengolahan dan Analisa Data**

#### **3.7.1 Analisa Pemanfaatan Daur Ulang**

Pengkajian bentuk pemanfaatan daur ulang air limbah domestik dilakukan dengan menganalisa tingkat kebutuhan air dan potensi daur ulang.

Tingkat kebutuhan air diukur berdasarkan jumlah pemakaian air tiap penggunaan di Depok Town Square. Jumlah pemakaian air tersebut menggambarkan besarnya kebutuhan air yang harus tersedia untuk memenuhi setiap bentuk penggunaan air. Semakin tinggi jumlah pemakaian air maka semakin tinggi pula jumlah kebutuhan air, sehingga peluang pemanfaatan daur ulang pun semakin besar.

Pemilihan daur ulang didasarkan pada persentase kebutuhan air yang paling besar tetapi tidak membutuhkan persyaratan kualitas air yang tinggi. Pada Gambar 3.4 ini merupakan neraca air Depok Town Square:



Gambar 3. 4 Neraca Air Depok Town Square

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Berdasarkan neraca air diatas, daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di pusat pertokoan antara lain adalah untuk taman, *cleaning*, *cooling tower*, dan kebutuhan *non-potable* seperti *flushing toilet*.

Potensi daur ulang diukur berdasarkan jumlah air limbah yang dapat didaur ulang. Jumlah air limbah tersebut diperoleh dari debit air limbah yang akan didaur ulang. Jumlah air limbah yang masuk ke dalam IDU akan menentukan jumlah air hasil daur ulang yang dapat dimanfaatkan.

### 3.7.2 Analisa Pengolahan Daur Ulang

Pengkajian bentuk pengolahan daur ulang air limbah domestik dilakukan dengan menganalisa kualitas air limbah yang akan didaur ulang, target baku mutu IDU dan pemilihan unit daur ulang.

Analisa kualitas air limbah yang akan didaur ulang akan dikaji berdasarkan hasil pengukuran laboratorium. Hal ini dikarenakan kualitas air limbah tersebut akan menentukan jenis pengolahan lanjutan yang diperlukan untuk daur ulang air limbah.

Air hasil daur ulang yang ingin digunakan kembali harus memenuhi standar baku mutu yang ada. Dalam penelitian ini, persyaratan kualitas air daur ulang sesuai dengan peruntukannya mengacu pada *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) Tahun 2012 dan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Indonesia belum memiliki standar baku mutu khusus untuk penggunaan air daur ulang sehingga US EPA 2012 dipilih sebagai acuan standar baku mutu air daur ulang sesuai dengan bentuk pemanfaatannya. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 digunakan sebagai pertimbangan baku mutu effluent IDU yang sesuai untuk kondisi di Indonesia. Berikut ini merupakan standar baku mutu effluent air daur ulang US EPA 2012 (Tabel 3.3) beserta bentuk pemanfaatannya dan standar baku mutu badan air berdasarkan PP 82 Tahun 2001 (Tabel 3.4).

Tabel 3. 3 Standar Baku Mutu Effluen Air Daur Ulang US EPA 2012

Parameter	Cooling Tower	Lansekap dan Taman	Kebutuhan Non-Potable
pH	6-9	6-9	6-9
BOD	≤ 30 mg/l	≤ 30 mg/l	≤ 10 mg/l
TSS	≤ 30 mg/l	≤ 30 mg/l	≤ 5 mg/l
Fecal Coliform	≤ 200 mg/l	Tidak terdapat fecal coliform	Tidak terdapat fecal coliform

Sumber: US EPA 2012

Tabel 3. 4 Kriteria Mutu Air Berdasarkan PP 82 Tahun 2001

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
<b>Fisika</b>					
Suhu (dari keadaan alami)	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5
Residu terlarut	mg/l	1.000	1.000	1.000	1.000
Residu tersuspensi	mg/l	50	50	400	400
<b>Kimia Organik</b>					
pH	mg/l	6-9	6-9	6-9	5-9
BOD	mg/l	2	3	6	12
COD	mg/l	10	25	50	100
DO	mg/l	6	4	3	0
Besi	mg/l	0,3	(-)	(-)	(-)
Mangan	mg/l	0,1	(-)	(-)	(-)
NH <sub>3</sub> -N	mg/l	0,5	(-)	(-)	(-)
<b>Mikrobiologi</b>					
Fecal Coliform	Jml/100 ml	100	1.000	2.000	2.000
Total Coliform	Jml/100 ml	1.000	5.000	10.000	10.000
<b>Kimia Organik</b>					
Minyak dan Lemak	ug/L	1.000	1.000	1.000	(-)
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)

Sumber: PP 82Tahun 2001

Berdasarkan standar baku mutu diatas, air kelas dua yang digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan air untuk mengairi pertamanan, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut dipilih sebagai standar kualitas air daur ulang untuk *cooling tower* dan lansekap atau taman. Hal ini dikarenakan, nilai baku mutu pada kelas dua mendekati nilai baku mutu air daur ulang yang ditetapkan oleh

US EPA 2012. Dikarenakan persyaratan pada parameter TSS untuk penggunaan kebutuhan *non potable* lebih kecil dibandingkan untuk penggunaan *cooling tower* dan lansekap, maka persyaratan untuk kebutuhan *non-potable* lebih tinggi dibandingkan dengan kebutuhan atau pemanfaatan untuk *cooling tower*. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa standar kualitas air daur ulang untuk kebutuhan *non-potable* menggunakan PP 82 Tahun 2001 kelas I sedangkan untuk kebutuhan atau pemanfaatan sebagai *cooling tower* dan lansekap/taman menggunakan PP 82 Tahun 2001 kelas II. Standar kualitas air untuk pemanfaatan air sebagai *cooling tower* juga didasarkan pada persyaratan umum air umpan untuk *cooling tower* menurut Setiadi (2007) yang akan disajikan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Persyaratan Umum Air Umpan *Cooling Tower*

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Konduktivitas	(mhos/cm)	≤ 1.000
2	Turbiditas	NTU	≤ 10
3	Padatan Tersuspensi	mg/l	≤ 10
4	Total <i>Hardness</i>	mg/l sbg CaCO <sub>3</sub>	≤ 100
5	Besi	mg/l sbg Fe	≤ 1.0
6	Residu Klorin	mg/l sbg Cl <sub>2</sub>	0,5-1,0
7	Silika	mg/l sb SiO <sub>2</sub>	1,5-2,5
8	Total <i>Chromate</i>	mg/l sbg CrO <sub>4</sub>	6,5-7,5
9	Padatan Terlarut	mg/l	≤ 1.000
10	Mangan	mg/l sbg Mn	≤ 1.0

Sumber: Setiadi, 2007

Pertimbangan pemilihan unit pengolahan daur ulang berdasarkan pada hasil pengujian karakteristik air limbah yang akan didaur ulang dimana unit daur ulang harus mampu menyisihkan parameter pencemar yang terdapat dalam influen instalasi daur ulang guna mendapatkan kualitas effluen instalasi daur ulang yang sesuai dengan bentuk pemanfaatan air hasil daur ulang. Standar kualitas influen IDU mengacu pada Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Sedangkan standar kualitas effluent IDU mengacu pada standar US EPA 2012, Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, dan Setiadi (2007).

Pemilihan unit daur ulang dilakukan secara kualitatif dengan mempertimbangkan efisiensi penyisihan unit pengolahan, tingkat kebutuhan biaya

unit pengolahan yang meliputi biaya investasi, operasional, dan perawatan, kemudahan operasi dan perawatan, serta kebutuhan lahan unit pengolahan.

Alternatif teknologi pengolahan lanjutan yang dipilih adalah unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Berdasarkan Tabel 3.6 dapat dilihat bahwa unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi memiliki kemampuan penyisihan konstituen yang hampir sama yaitu zat organik, padatan tersuspensi, padatan koloid, bakteri, dan protozoa sehingga setara untuk dibandingkan.

Tabel 3. 6 Unit Operasi dan Proses yang Digunakan dalam Aplikasi Daur Ulang

Unit Operasi atau Proses	Kelas Konstituen										
	Padatan Tersuspensi	Padatan Koloid	Zat Organik	Zat Organik Terlarut	Nitrogen	Fosfor	Konstituen Sisa	Total Padatan Terlarut	Bakteri	Protozoa dan Ookista	Virus
Pengolahan sekunder	X	X		X							
Filtrasi dalam	X								X	X	
Filtrasi permukaan	X		X						X	X	
Mikrofiltrasi	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasi	X	X	X						X	X	X

Ket: X = Konstituen yang dihilangkan

Sumber Metcalf dan Eddy 2007

### 3.7.3 Desain Unit Pengolahan Daur Ulang

Perancangan unit pengolahan daur ulang didasarkan pada jenis pengolahan daur ulang yang dipilih dan bentuk pemanfaatan daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square. Desain berupa perhitungan unit pengolahan, gambar teknik, dan spesifikasi unit-unit pengolahan yang digunakan.

### 3.7.4 Analisa Pembiayaan dan Kelayakan Ekonomi

Analisa pembiayaan dilakukan dengan mengestimasi total biaya yang diperlukan dalam perancangan instalasi daur ulang yang meliputi biaya investasi

awal (*capital cost*) dan biaya operasional dan perawatan kemudian menghitung *payback period* atau masa pengembalian biaya investasi dengan persamaan berikut:

$$PP \text{ (bulan)} = \frac{\text{Biaya investasi}}{(\text{Penghematan}-\text{Biaya O/M})\text{per bulan}} \quad (3.1)$$

Analisa kelayakan ekonomi diukur dari perbandingan biaya yang dibutuhkan untuk pembelian setiap meter kubik air PDAM/air tanah dengan biaya yang diperlukan untuk memproduksi setiap meter kubik air daur ulang dengan persamaan berikut:

$$\frac{\text{Harga air PDAM/air tanah per m}^3}{\text{Harga air daur ulang per m}^3} \geq 1 \quad (3.2)$$

### 3.8 Rekomendasi Aplikasi dan Desain Instalasi Daur Ulang

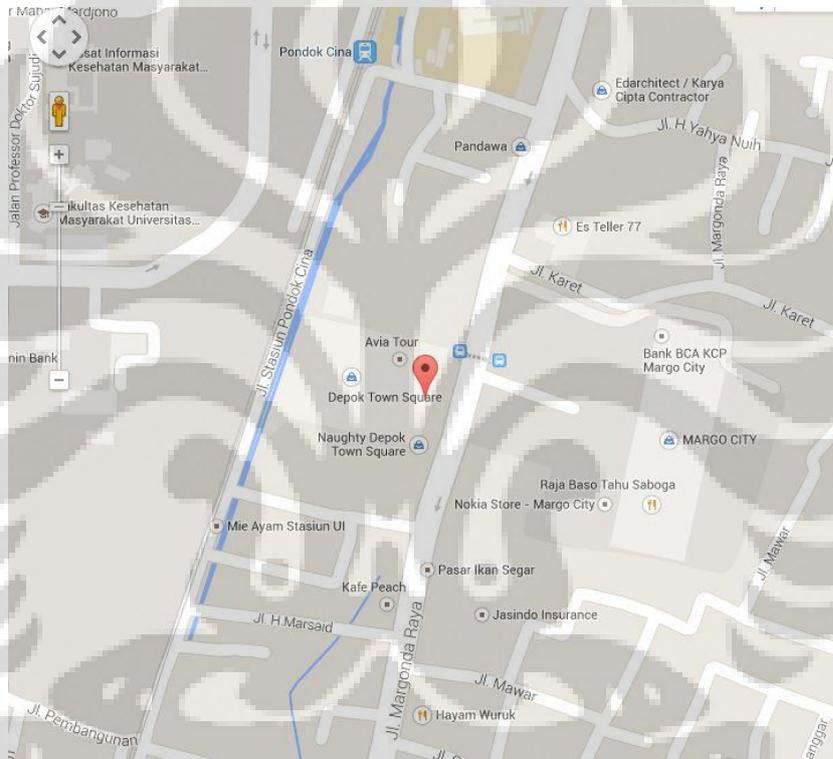
Hasil akhir dari penelitian ini adalah berupa desain atau rancangan instalasi daur ulang sesuai dengan bentuk pemanfaatannya. Instalasi daur ulang yang di rekomendasikan merupakan desain yang paling efektif dan efisien. Desain efektif yakni yang sesuai dengan kebutuhan dan desain efisien yakni yang paling hemat dalam segi ekonomi.

## BAB 4

### GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI

#### 4.1 Gambaran Umum Depok Town Square

Depok Town Square (atau disingkat Detos) adalah sebuah pusat pertokoan di Kota Depok, Jawa Barat. Pusat pertokoan ini mulai beroperasi sejak tahun 2005, berlokasi di jalan utama Depok yaitu jalan Margonda Raya No. 1, Pondok Cina, Depok. Depok Town Square berada di bawah bendera Lippo Group dan dibangun oleh PT Lippo Karawaci Tbk.



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Depok Town Square

Sumber: Google Maps, 2015

Depok Town Square melayani masyarakat khususnya untuk menengah kebawah dan para pelajar/mahasiswa khususnya kompleks kampus Universitas Indonesia, Gunadarma, serta masyarakat Depok secara umum. Pusat pertokoan ini merupakan salah satu pusat pertokoan teramai dan tersibuk di Kota Depok dengan hampir setiap harinya dikunjungi ribuan pengunjung. Hal tersebut ditunjang oleh

*tenant* atau penyewa besar yang saat ini telah hadir dalam pusat pertokoan ini. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat daftar *tenant* besar yang ada di Depok Town Square:

Tabel 4. 1 Daftar *Tenant* di Depok Town Square

<b>Klasifikasi Fasilitas</b>	<b>Nama <i>Tenant</i></b>	<b>Lantai</b>
<i>Anchors</i>	Matahari Department Store	<i>Ground &amp; Upper Ground Floor</i>
	Hypermart	<i>Lower Ground Floor</i>
	Cinema 21	<i>2nd Floor</i>
	Timezone	<i>2nd Floor</i>
	Venus Rumah Bernyanyi & Billiard	<i>Ground Floor</i>
	NPS Fitness Club	<i>2nd Floor</i>
	TMBookstore	<i>Upper Ground Floor</i>
	The Sport Warehouse	<i>Ground Floor</i>
<i>Fashion &amp; Aksesoris</i>	Hammer & Nail	<i>Ground Floor</i>
	DF Factory Outlet	<i>Ground Floor</i>
	Naughty Accessories	<i>Ground Floor</i>
	Bunga	<i>Ground Floor</i>
	Buccheri	<i>Ground Floor</i>
	Kiook	<i>1st Floor</i>
	Toko Rubi Collection	<i>Upper Ground Floor</i>
	UNS Factory Outlet	<i>1st Floor</i>
	Star Shoes	<i>Upper Ground Floor</i>
	Yongki Komaladi	<i>Ground Floor</i>
	The Bra House	<i>Upper Ground Floor</i>
	Lily Kasoem Optical	<i>Ground Floor</i>
	Mega Watch	<i>Lower Ground Floor</i>
<i>Makanan dan Minuman</i>	A&W Restaurant	<i>Ground Floor 38- 42</i>
	California Fried Chicken	<i>Ground Floor &amp; Food Square 2nd Floor</i>
	Bakso Lapangan Tembak	<i>Upper Ground Floor</i>
	Mister Baso	<i>Upper Ground Floor</i>
	Rumah Baso	<i>2nd Floor</i>
	Solaria	<i>Lower Ground Floor</i>
	Dunkin Donut's	<i>Ground Floor</i>
	Hoka Hoka Bento	<i>Ground Floor</i>
Chicco Bakery	<i>Lower Ground Floor</i>	

Tabel 4.1 Daftar *Tenant* di Depok Town Square (Lanjutan)

<b>Klasifikasi Fasilitas</b>	<b>Nama <i>Tenant</i></b>	<b>Lantai</b>
Makanan dan Minuman	Superoti	<i>Lower Ground Floor</i>
	Bebek Goreng Ki Jadul	<i>Food Square 2nd Floor</i>
	Steak Moen Moen	<i>Food Square 2nd Floor</i>
	Kimochie Teppanyaki	<i>Food Square 2nd Floor</i>
Toko Khusus	Nata Tours	<i>Ground Floor</i>
	Johnny Andrean Salon	<i>Ground Floor</i>
	Bag's Station	<i>Ground Floor</i>
	Asus	<i>2nd Floor</i>
	Axioo	<i>2nd Floor</i>
	Telesindo Shop	<i>2nd Floor</i>
	Oke Shop	<i>2nd Floor</i>
	Nokia Care	<i>Ground Floor</i>

Sumber: Depok Town Square, 2015

Depok Town Square atau Detos berdiri di area seluas 160.000 m<sup>2</sup> dengan total areal lahan seluas 240.000 m<sup>2</sup> serta menawarkan lebih dari 2.300 unit kios yang terdiri dari *exterior shop*, *speciality shop*, *open shop*, kafe/restoran, dan *food court* yang dapat dikunjungi mulai dari pukul 10.00-22.00 WIB. Kios-kios tersebut disediakan oleh Detos dalam lima lantai yaitu *lower ground*, *ground floor*, *upper ground*, lantai 1, dan lantai 2. Detos pun memiliki area parkir yang mampu menampung sekitar 1.300 mobil. Data luasan Depok Town Square disajikan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Data Luasan Depok Town Square

<b>No.</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Luas</b>	<b>Satuan</b>
1	<i>Lower Ground (LG)</i>	24.764,3	m <sup>2</sup>
2	<i>Ground Floor (GF)</i>	25.242,78	m <sup>2</sup>
3	<i>Upper Ground (UG)</i>	25.072,45	m <sup>2</sup>
4	Lantai 1	21.441	m <sup>2</sup>
5	Lantai 2	17.285,23	m <sup>2</sup>
Total		113.805,76	m <sup>2</sup>

Sumber: Depok Town Square, 2015

#### 4.1.1 Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan salah satu faktor terpenting untuk kelancaran proses produksi suatu perusahaan atau organisasi. Tenaga kerja di Depok Town Square saat ini berjumlah 285 orang yang terdiri dari karyawan bagian *building management*, karyawan bagian *engineering*, karyawan bagian *cleaning service*, karyawan bagian *security*, dan tukang parkir. Informasi mengenai jumlah karyawan untuk masing-masing divisi dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini:

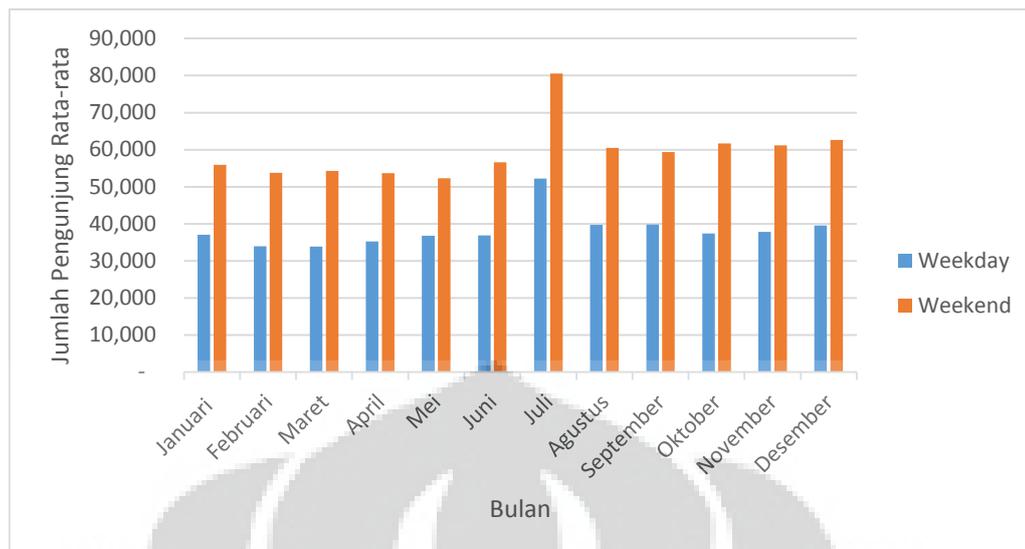
Tabel 4. 3 Jumlah Karyawan Tiap Divisi

<b>Divisi</b>	<b>Jumlah</b>
<i>Building Management (BM)</i>	41 orang
<i>Engineering</i>	18 orang
<i>Cleaning Service</i>	120 orang
<i>Security</i>	56 orang
<i>Tukang Parkir</i>	50 orang
<b>Total</b>	<b>285 orang</b>

Sumber: Depok Town Square, 2015

#### 4.1.2 Jumlah Pengunjung

Depok Town Square merupakan salah satu pusat pertokoan teramai dan tersibuk di Kota Depok. Hampir setiap harinya, pusat pertokoan ini dikunjungi oleh ribuan pengunjung yang umumnya merupakan mahasiswa atau pelajar di kompleks kampus Universitas Indonesia, Gunadarma, serta masyarakat kota Depok. Berdasarkan data dari Depok Town Square, selama tahun 2014 rata-rata jumlah pengunjung yang mengunjungi Depok Town Square pada hari biasa berkisar antara 33.846-52.236 pengunjung sedangkan pada hari libur berkisar 52.340-80.583 pengunjung. Rincian jumlah pengunjung rata-rata Depok Town Square tahun 2014 dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Rata-rata Pengunjung Depok Town Square Tahun 2014

Sumber: Depok Town Square (telah diolah kembali), 2015

#### 4.2 Penyediaan Air Bersih

Sumber air merupakan komponen terpenting untuk penyediaan air karena tanpa adanya sumber air maka suatu sistem penyediaan air bersih tidak akan berfungsi. Sumber air bersih yang digunakan di Depok Town Square diantaranya adalah sebagai berikut:

- Air tanah dalam (artesis) yang memasok  $\pm 30\%$  kebutuhan air.
- Air PDAM (Tirta Kahuripan) yang memasok  $\pm 70\%$  kebutuhan air.

Jumlah pemakaian air bersih di Depok Town Square berdasarkan sumbernya dapat dilihat pada Tabel 4.4

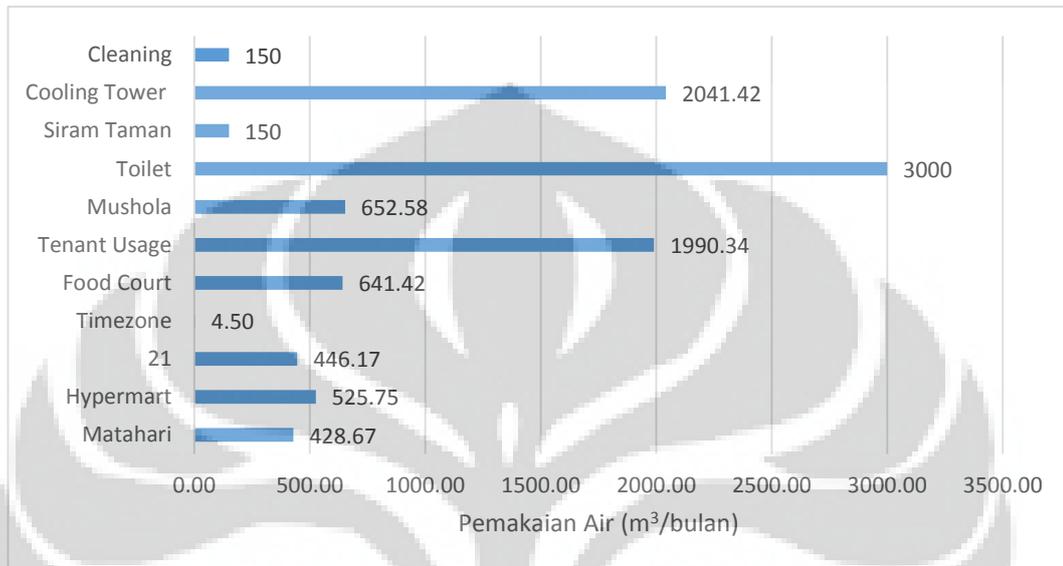
Tabel 4. 4 Jumlah Pemakaian Air di Tahun 2014

Sumber Air	Rata-rata (m <sup>3</sup> /bulan)	Minimum (m <sup>3</sup> /bulan)	Maksimum (m <sup>3</sup> /bulan)
PDAM	6.992,75	5.231	8.039
Air Tanah	3.038	2.368	3.922
<b>Total</b>	<b>10.031</b>	<b>7.599</b>	<b>11.961</b>

Sumber: Depok Town Square (telah diolah kembali), 2015

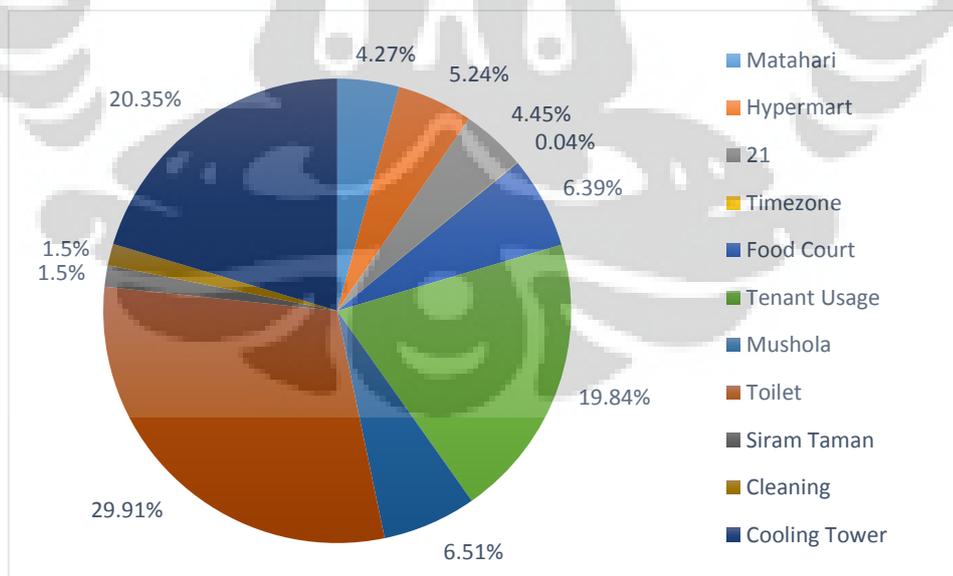
Bentuk penggunaan air di Depok Town Square adalah untuk toilet, *food court*, kebutuhan *tenant*, *cooling tower*, *fire system*, *cleaning*, dan siram taman.

Khusus untuk *fire system*, pemakaian air hanya kondisional sehingga tidak dilaporkan sebagai penggunaan utama. Rincian pemakaian air untuk tiap bentuk penggunaan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan persentase pemakaian air untuk tiap bentuk penggunaan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Rincian Pemakaian Air Depok Town Square

Sumber: Depok Town Square (telah diolah kembali), 2015



Gambar 4. 4 Persentase Pemakaian Air di Depok Town Square

Sumber: Depok Town Square (telah diolah kembali), 2015

#### 4.2.1 Pengolahan Air Bersih

Air bersih yang berasal dari PDAM dan air tanah dalam (*deep well*) akan ditampung ke dalam *Ground Water Tank*. Sebelum ditampung ke dalam *ground water tank* atau tangki air bawah, air akan melalui *sand filter* dan *carbon filter* terlebih dahulu. *Sand filter* dan *carbon filter* (Gambar 4.5) berfungsi untuk meningkatkan mutu air yang berasal dari PDAM dan *deep well*, dimana *sand filter* digunakan untuk menyaring kotoran (penjernihan air) dan *carbon filter* untuk menghilangkan bau.



Gambar 4. 5 *Sand Filter* dan *Carbon Filter*

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

*Ground Water Tank* (GWT) digunakan sebagai persediaan air bersih yang selanjutnya akan dipompa ke tangki air atas (*roof tank*). Apabila air di *roof tank* berkurang hingga  $\pm 40\%$  maka pompa akan hidup (on) secara otomatis untuk memindahkan air dari tangki air bawah ke tangki air atas dan berhenti jika tangki air atas sudah terisi penuh. Tangki air atas (Gambar 4.6) berfungsi untuk menampung air dan mendistribusikan air bersih ke tiap-tiap lantai di Depok Town Square baik secara gravitasi maupun menggunakan pompa distribusi.



Gambar 4. 6 Tangki Air Atas (*Roof Tank*)

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

Untuk *lower ground*, *ground floor*, dan *upper ground* air bersih dialirkan secara gravitasi sedangkan untuk lantai 1 dan lantai 2 air bersih dialirkan dengan menggunakan pompa distribusi (*booster pump*). Terdapat 2 buah pompa distribusi yang bekerja secara bergantian sedangkan laju aliran pompa didasarkan pada standar pabrik perakitan pompa distribusi. Pompa distribusi dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.



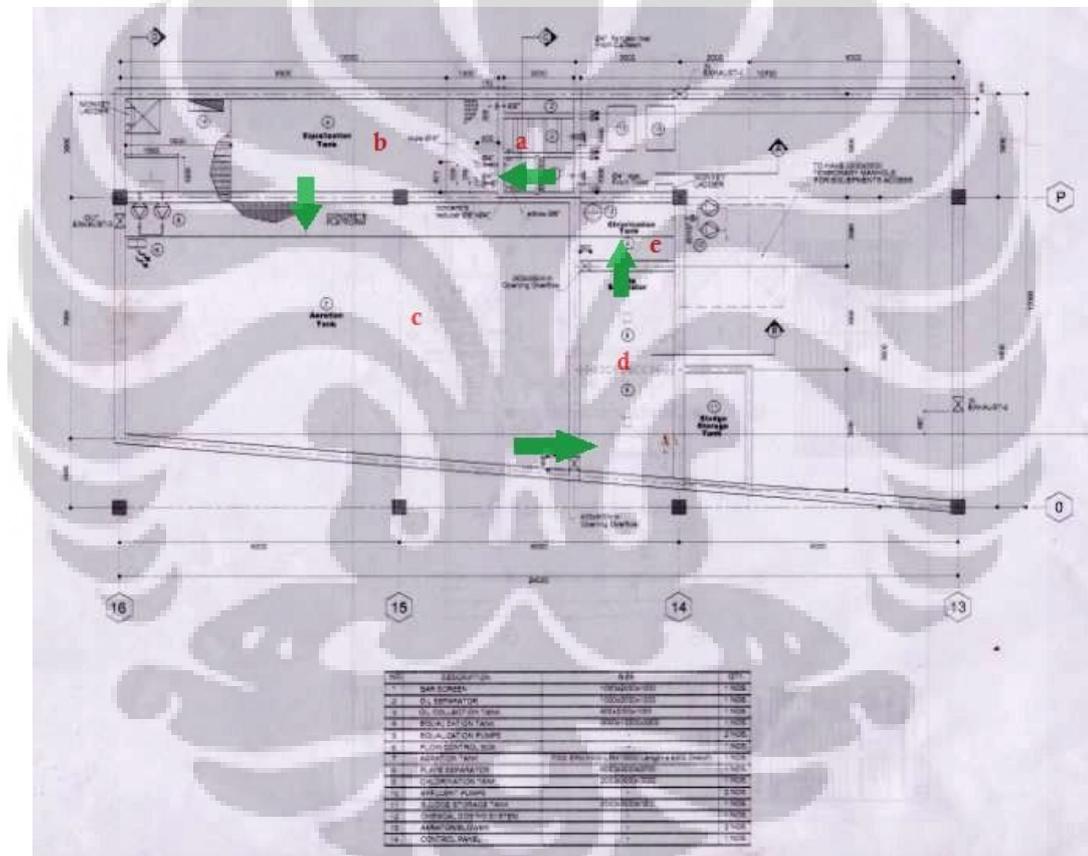
Gambar 4. 7 Pompa Distribusi (*Booster Pump*)

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

### 4.3 Pengelolaan Air Limbah Domestik

#### 4.3.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik

Umumnya air limbah dari pusat pertokoan ini berasal dari kegiatan domestik. Air limbah ini kemudian akan dialirkan ke instalasi pengolahan air limbah untuk diolah agar kualitas air buangan memenuhi standar baku mutu yang ada. Standar baku mutu air buangan yang digunakan oleh pihak Depok Town Square adalah Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. *Plant layout* IPAL dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 *Plant Layout* IPAL

Sumber: Depok Town Square, 2015

Berikut ini merupakan penjelasan unit operasi dan proses pada IPAL di pusat pertokoan ini:

a. ***Inlet Chamber***

Air limbah yang berasal dari toilet dan mushola akan masuk ke dalam *sump pit* sedangkan air limbah yang berasal dari *food court* akan masuk kedalam *sump pit grease trap* (SPGT). *Sump pit grease trap* ini merupakan sebuah lubang yang dirancang untuk mengumpulkan air limbah dan didalamnya terdapat *grease trap*. *Grease trap* berfungsi untuk mengumpulkan dan menyaring minyak ataupun lemak yang terbawa dalam limbah *food court*. Lemak dan minyak yang tersaring akan dibersihkan secara berkala oleh petugas pembersihan. Setelah *sump pit* ataupun *sump pit grease trap* penuh, air limbah secara otomatis akan dipompa ke dalam inlet *chamber*.

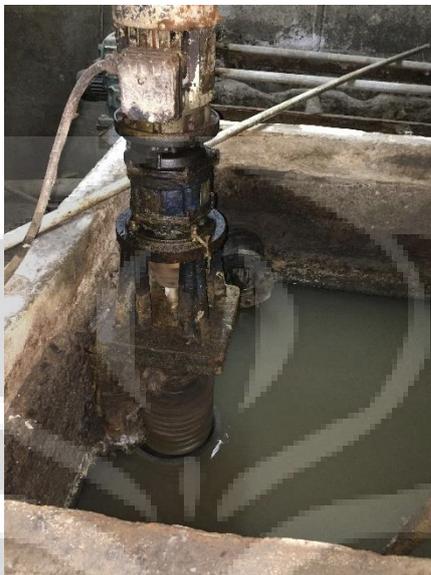
Air limbah yang masuk kedalam bak akan disaring dari kotoran atau sampah kasar yang berpotensi mengganggu proses pengolahan dengan menggunakan *bar screen*. Kotoran atau sampah kasar yang menumpuk pada *bar screen* akan dibersihkan secara manual. *Bar screen* ini memiliki dimensi sebesar 1 m x 2 m x 1 m. Unit *bar screen* dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut:



Gambar 4. 9 *Bar Screen*

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

Padatan lain seperti feses manusia yang lolos dari unit *bar screen* akan dihancurkan oleh *communitor* menjadi ukuran padatan yang lebih kecil sehingga mudah untuk diproses secara biologi. Unit *communitor* dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 4. 10 Bak *Communitor*

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

**b. Bak Ekualisasi**

Air limbah dari *inlet chamber* akan masuk kedalam bak ekualisasi secara *overflow*. Oleh karena itu, bak ekualisasi ini berfungsi untuk meratakan atau menghomogenkan kualitas air limbah yang masuk dan untuk mengatur kuantitas air yang akan dialirkan ke bak aerasi agar dapat dibuat secara stabil. Bak ekualisasi ini memiliki dimensi 3 m x 13 m x 3.5 m dengan kapasitas sebesar 117 m<sup>3</sup>. Gambar 4.11 akan menampilkan kondisi bak ekualisasi di IPAL Depok Town Square.

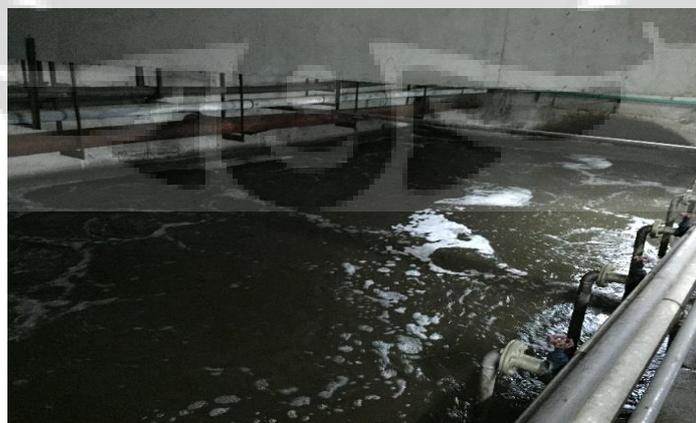


Gambar 4. 11 Bak Ekualisasi

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

c. **Bak Aerasi**

Air limbah akan dialirkan ke dalam bak aerasi dengan menggunakan pompa submersible. Bak aerasi memiliki dimensi 8 m x 13 m x 4.2 m yang berguna untuk melarutkan udara kedalam air agar bakteri aerobik yang ada menjadi aktif sehingga dapat terjadi penguraian kontaminan secara aerob. Udara terlarut tersebut dihasilkan oleh 2 buah aerator yang dioperasikan selama 24 jam secara bergantian tiap 2 jam sekali. Dalam unit ini juga terjadi proses penambahan lumpur aktif yang dikembalikan dari bak sedimentasi atau bak pengendap. Kondisi eksisting bak aerasi pada IPAL dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 Bak Aerasi

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

d. **Bak Sedimentasi**

Bak sedimentasi ini memiliki dimensi 6 m x 3 m x 3.7 m yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur atau padatan lain secara gravitasi. Secara berkala, lumpur aktif yang mengendap dalam bak sedimentasi akan diangkat oleh *air lift pump* melalui udara blower kemudian lumpur dikembalikan lagi ke bak aerasi. Pengembalian lumpur ini dilakukan supaya konsentrasi mikroorganisme dalam bak aerasi tetap sama sehingga bak aerasi mampu meningkatkan ataupun mempertahankan kemampuannya dalam menguraikan polutan. Lumpur yang mengapung akan ditangkap oleh *scum skimmer* dan dialirkan ke bak *sludge storage* yang memiliki dimensi 2 m x 3 m x 1.2 m. Air yang sudah terolah kemudian akan mengalir ke bak klorinasi menggunakan *overflow weir* dimana air tersebut meluap dari bak melewati *weir*. Unit bak sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4. 13 Bak Sedimentasi

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015

e. **Bak Klorinasi**

Dalam bak klorinasi ini, air limbah dibubuhi atau didesinfeksi menggunakan larutan klorin. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan bakteri yang ada pada air limbah. Akan tetapi, proses pembubuhan ini sudah tidak berfungsi.

### 4.3.2 Karakteristik Effluen Air Limbah Domestik

Pihak *engineering* Depok Town Square melakukan pengujian kualitas effluen IPAL setiap 3 sampai 4 bulan sekali dalam setahun. Pengujian kualitas effluen ini dilakukan oleh PT. Nusantara Water Centre. Tabel 4.5 berikut memaparkan hasil analisis kualitas atau karakteristik effluent IPAL pada bulan Maret, Juni, dan September tahun 2014:

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kualitas Effluen IPAL

No	Parameter	Unit	Baku Mutu*	Hasil Analisis		
				Maret	Juni	September
1	pH	-	6-9	7	7.2	6.81
2	Amonia (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	10	13.1	25.48	28.34
3	COD (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	mg/l	80	110	61	156
4	BOD (20°C, 5 hari)	mg/l	50	66	35	92
5	Minyak dan Lemak	mg/l	20	< 5	< 5	< 5
6	Surfaktan Anion (MBAS)	mg/l	2	< 0.02	< 0.2	0.09
7	Nilai Permanganat (KMnO <sub>4</sub> )	mg/l	85	37	38	49
8	Padatan Tersuspensi Total	mg/l	50	20	36	38

Keterangan: ■ masih melebihi baku mutu

Sumber: Depok Town Square, 2015

Berdasarkan Tabel 4.5 diatas, dapat dilihat untuk parameter ammonia masih melebihi baku mutu pada setiap bulan pemeriksaan yaitu pada bulan Maret, Juni, dan September sedangkan untuk parameter COD dan BOD melebihi baku mutu Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 pada bulan Maret dan September.

## BAB 5

### PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

#### 5.1 Identifikasi Sumber Air Limbah

Sumber air limbah yang akan didaur ulang di Depok Town Square berasal dari tiga (3) titik yaitu *sump pit*, *sump pit grease trap*, dan effluent IPAL. *Sump pit* merupakan lubang penampung air limbah yang berasal dari toilet dan mushola. Air toilet yang ditampung berasal dari toilet pria dan toilet wanita dari *ground floor*, *upper ground*, lantai 1 dan, lantai 2. *Sump pit grease trap* adalah lubang yang menampung air limbah yang berasal dari *food court* yang berada di *lower ground*. Hasil pengujian kualitas air limbah dari ketiga titik tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji		
			Sump Pit	Sump Pit Grease Trap	Effluen IPAL
1	pH	-	6,0	5,0	<b>6,0</b>
2	Ammonia	mg/L	24,30	0,48	<b>21,60</b>
3	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	111,31	396,97	<b>43,78</b>
4	COD (Dichromat)	mg/L	469,85	1.545,37	<b>164,48</b>
5	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	136	223	<b>49</b>

Sumber: BPLHD Provinsi DKI Jakarta, 2015

Parameter kualitas air limbah yang diuji yaitu BOD, COD, TSS, dan ammonia. Parameter BOD merupakan salah satu parameter kimia yang menjadi perhatian dalam aplikasi daur ulang air limbah. Hal ini dikarenakan BOD dapat menyebabkan masalah estetika dan memberikan dampak negatif bagi proses

desinfeksi. Selain itu, dapat menyebabkan gangguan kesehatan jika air daur ulang digunakan untuk air minum (*potable reuse*). Parameter COD perlu dipertimbangkan apabila air daur ulang diperuntukkan sebagai air minum karena dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Selain itu, kandungan COD yang tinggi dapat meningkatkan pembentukan lendir atau *slime* pada *cooling tower*. Parameter TSS juga menjadi perhatian dalam aplikasi daur ulang air limbah. Padatan tersuspensi dapat melindungi mikroorganisme dari desinfektan seperti klorin dan ozon, sehingga dapat mengurangi efektifitas desinfeksi. Selain itu TSS juga mempengaruhi kinerja *cooling tower*. Padatan tersuspensi dapat menempel pada permukaan perpindahan panas unit *cooling tower* sehingga mengakibatkan berkurangnya efisiensi perpindahan panas tersebut. Ammonia juga merupakan parameter kualitas yang menjadi perhatian dalam aplikasi daur ulang khususnya untuk penggunaan *cooling tower*. Hal ini dikarenakan ammonia dapat mengurangi efektifitas tembaga dan kuningan penukar panas. Selain itu dapat menyebabkan korosi pada pipa dan pendingin.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.1 dapat dilihat kualitas air limbah yang diambil pada titik outlet atau effluent IPAL memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan air limbah yang berasal dari sump pit dan sump pit grease trap. Dengan kualitas tersebut maka tingkat pengolahan lanjutan yang diperlukan untuk mencapai target kualitas air daur ulang tidak terlalu tinggi. Oleh karena itu, sumber air limbah yang akan digunakan sebagai sumber air daur ulang adalah effluent IPAL.

## **5.2 Analisa Pemanfaatan Daur Ulang**

### **5.2.1 Analisa Tingkat Kebutuhan Air**

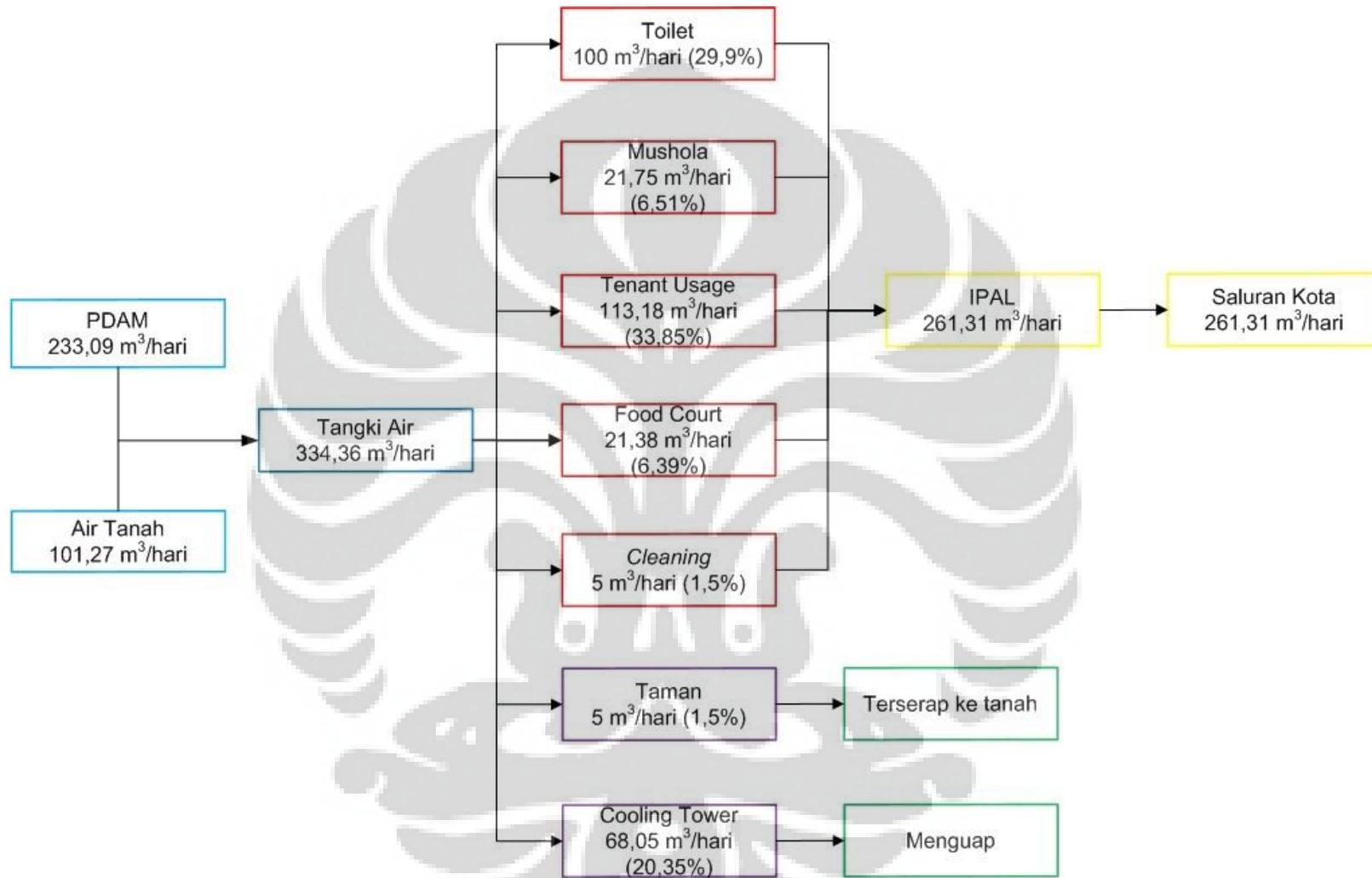
Sumber air bersih yang digunakan di Depok Town Square berasal dari air tanah dalam dan air PDAM. Air tanah dalam memasok  $\pm 30\%$  kebutuhan air sedangkan air PDAM memasok  $\pm 70\%$  kebutuhan air bersih di pusat pertokoan ini. Jumlah pemakaian air bersih di Depok Town Square berdasarkan sumbernya dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini:

Tabel 5. 2 Jumlah Pemakaian Air di Tahun 2014

<b>Sumber Air</b>	<b>Rata-rata (m<sup>3</sup>/bulan)</b>	<b>Minimum (m<sup>3</sup>/bulan)</b>	<b>Maksimum (m<sup>3</sup>/bulan)</b>
PDAM	6.992,75	5.231	8.039
Air Tanah	3.038	2.368	3.922
<b>Total</b>	10.031	7.599	11.961

Sumber: Depok Town Square (telah diolah kembali), 2015

Pada perencanaan instalasi daur ulang ini, tingkat kebutuhan air dianalisa berdasarkan jumlah pemakaian air tiap penggunaan di Depok Town Square. Bentuk penggunaan air di Depok Town Square diantaranya adalah untuk toilet, *food court*, kebutuhan *tenant*, *cooling tower*, *fire system*, *cleaning*, dan siram tanaman. Penggunaan air untuk *fire system* hanya kondisional sehingga tidak dilaporkan sebagai penggunaan utama. Pada Gambar 5.1 berikut dapat dilihat neraca air di Depok Town Square.



Gambar 5. 1 Neraca Air Depok Town Square

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Jumlah pemakaian air tersebut menggambarkan besarnya kebutuhan air yang harus tersedia untuk memenuhi setiap bentuk penggunaan air. Semakin tinggi jumlah pemakaian air maka semakin tinggi pula jumlah kebutuhan air, sehingga peluang pemanfaatan daur ulang pun akan semakin besar. Alokasi pemanfaatan air daur ulang didasarkan pada persentase kebutuhan air yang paling besar tetapi tidak membutuhkan persyaratan kualitas air yang tinggi. Berdasarkan neraca air diatas, persentase kebutuhan air yang paling besar namun tidak membutuhkan persyaratan kualitas air yang tinggi adalah untuk keperluan taman, *cleaning*, *cooling tower*, dan toilet. Maka dapat disimpulkan bahwa alokasi pemanfaatan air daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square adalah untuk keperluan taman, *cleaning*, *cooling tower*, dan toilet.

Pemakaian air bersih di toilet tersebut terdiri dari penggunaan air bersih untuk wastafel, urinal, dan *flushing toilet*. Namun, pada perencanaan instalasi daur ulang ini air hasil daur ulang akan digunakan untuk kebutuhan *flushing toilet*. Hal ini dikarenakan kontak manusia dengan air siraman toilet sangat minim sehingga tidak akan menimbulkan gangguan secara estetika maupun kesehatan. Rincian pemakaian air bersih di toilet dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Rincian Pemakaian Air Bersih di Toilet

No	Kegiatan	Persentase Kebutuhan Air*	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /hari)
1	Wastafel	16%	15,79
2	Urinal	11%	10,53
3	<i>Flushing Toilet</i>	74%	73,68

Keterangan \*: Adaptasi dari Saunders, 2012

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Jumlah pemakaian air untuk keperluan *cooling tower* dilaporkan cukup besar yaitu 68,05 m<sup>3</sup>/hari. *Cooling tower* adalah suatu sistem refrigerasi yang melepaskan kalor ke udara dengan cara mengontakkan air dengan udara dan menguapkan sebagian air tersebut (Herlambang, 2014). *Cooling tower* memerlukan kualitas yang lebih rendah dibanding penggunaan air untuk toilet sehingga tingkat

pengolahan yang dibutuhkan juga rendah. Rincian jumlah pemakaian air untuk kebutuhan *cooling tower* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5. 4 Pemakaian Air untuk *Cooling Tower* Tahun 2014

<i>Cooling tower</i>	Pemakaian Air Rata-rata (m <sup>3</sup> /hari)	Persentase Pemakaian (%)
Matahari dan <i>Hypermart</i>	28,05	41,22
Depok Town Square	40	58,78
<b>Total</b>	68,05	100

Sumber: Depok Town Square, 2015

Pemakaian air bersih untuk penyiraman taman dan *cleaning* tercatat sebesar 5 m<sup>3</sup>/hari. Jumlah kebutuhan air untuk penyiraman taman dan *cleaning* memang tidak terlalu besar. Akan tetapi, air hasil daur ulang dapat dialokasikan untuk kebutuhan tersebut sehingga dapat berkontribusi untuk mengurangi kebutuhan air PDAM sebesar 10 m<sup>3</sup>/hari.

Instalasi daur ulang direncanakan berada disebelah barat IPAL. Lokasi tersebut merupakan lokasi pipa outlet IPAL sebelum masuk ke badan air. Selain itu, lokasi *cooling tower* berada di atas bangunan IPAL sehingga daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan air hasil daur ulang ke *cooling tower* tidak terlalu besar dan pipa yang dibutuhkan tidak terlalu panjang. Lokasi rencana IDU dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 2 Lokasi IDU Rencana

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Air hasil daur ulang dapat dimanfaatkan untuk menggantikan suplai kebutuhan air bersih dari PDAM. Rincian jumlah kebutuhan air untuk keperluan taman, *cleaning*, siram toilet, dan *cooling tower* dapat dilihat pada Tabel 5.5. Total kebutuhan air untuk kegiatan penyiraman taman, *cleaning*, *flushing toilet*, dan *cooling tower* adalah 151,73 m<sup>3</sup>/hari. Dengan demikian, suplai kebutuhan air bersih dari PDAM dapat berkurang sebesar 151,73 m<sup>3</sup>/hari menjadi 81,36 m<sup>3</sup>/hari atau ±65% dari kebutuhan awal.

Tabel 5. 5 Rincian Kebutuhan Air

<b>Kegiatan</b>	<b>Kebutuhan Air (m<sup>3</sup>/hari)</b>
Taman	5
<i>Cleaning</i>	5
<i>Flushing Toilet</i>	73,68
<i>Cooling Tower</i>	68,05
<b>Total</b>	<b>151,73</b>

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

### 5.2.2 Analisa Potensi Daur Ulang

Pada perencanaan instalasi daur ulang ini, potensi daur ulang dianalisa berdasarkan jumlah air limbah yang dapat didaur ulang. Jumlah air limbah tersebut diperoleh dari debit effluent IPAL. Debit effluen rata-rata IPAL Depok Town Square pada tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Debit Effluen Rata-rata IPAL

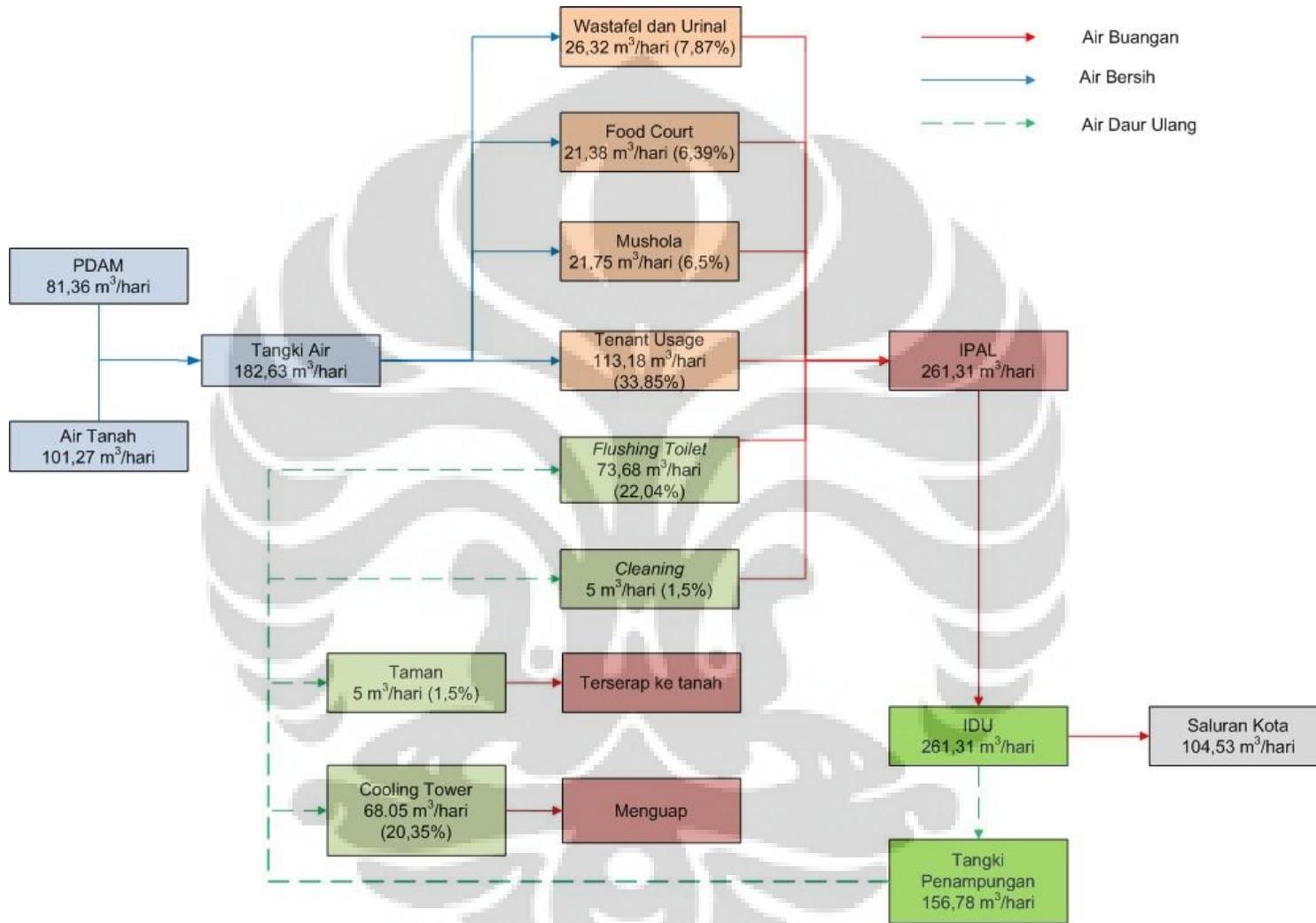
<b>Bulan</b>	<b>Debit Effluen Rata-rata (m<sup>3</sup>/bulan)</b>	<b>Debit Effluen Rata-rata (m<sup>3</sup>/hari)</b>
Januari	7.341,15	244,70
Februari	7.476,43	249,21
Maret	7.550,95	251,70
April	7.524,11	250,80
Mei	8.627,01	287,57
Juni	7.851,19	261,71
Juli	7.862,08	262,07

Tabel 5.6 Debit Effluen Rata-rata IPAL (Lanjutan)

<b>Bulan</b>	<b>Debit Effluen Rata-rata (m<sup>3</sup>/bulan)</b>	<b>Debit Effluen Rata-rata (m<sup>3</sup>/hari)</b>
Agustus	8.841,69	294,72
September	7.724,63	257,49
Oktober	8.012,58	267,09
November	7.761,10	258,70
Desember	7.500,08	250,00
<b>Rata-rata</b>	<b>7.839,42</b>	<b>261,31</b>

Sumber: Depok Town Square, 2015

Berdasarkan Tabel diatas maka jumlah air limbah yang dapat didaur ulang adalah sebesar 261,31 m<sup>3</sup>/hari. Dalam perencanaan instalasi daur ulang, diasumsikan 100% effluent IPAL dijadikan influen IDU. Debit effluent IDU atau air daur ulang yang dapat dimanfaatkan ditargetkan hanya sebesar 60% dari influen yang masuk (Thorsen, 1998) sedangkan 40% sisanya merupakan air yang tidak dapat diolah dan akan dibuang ke saluran kota. Maka dapat disimpulkan, total air daur ulang yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 156,78 m<sup>3</sup>/hari. Alokasi pemanfaatan air daur ulang yaitu sebesar 151,73 m<sup>3</sup>/hari sehingga masih terdapat kelebihan sebesar 5,05 m<sup>3</sup>/hari. Kelebihan tersebut akan disimpan di tangki penampung atau jika telah melebihi kapasitas tangki penampung maka akan diresapkan ke dalam tanah. Pengisian kembali air tanah berguna untuk mencegah terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*) dan meningkatkan produksi air tanah baik untuk diminum maupun untuk keperluan lainnya (Putranto dan Kusuma, 2009). Namun, penggunaan air hasil daur ulang untuk penggunaan resapan atau injeksi ke dalam tanah perlu mempertimbangkan desain *soil-aquifer treatment* dan hal-hal yang berkaitan dengan injeksi air tanah secara langsung. Selain itu juga harus memastikan bahwa air tidak bermigrasi ke dalam air tanah *potable* atau yang dapat diminum sehingga masalah terhadap kesehatan dapat diatasi (Metcalf dan Eddy, 2007). Neraca air rencana dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



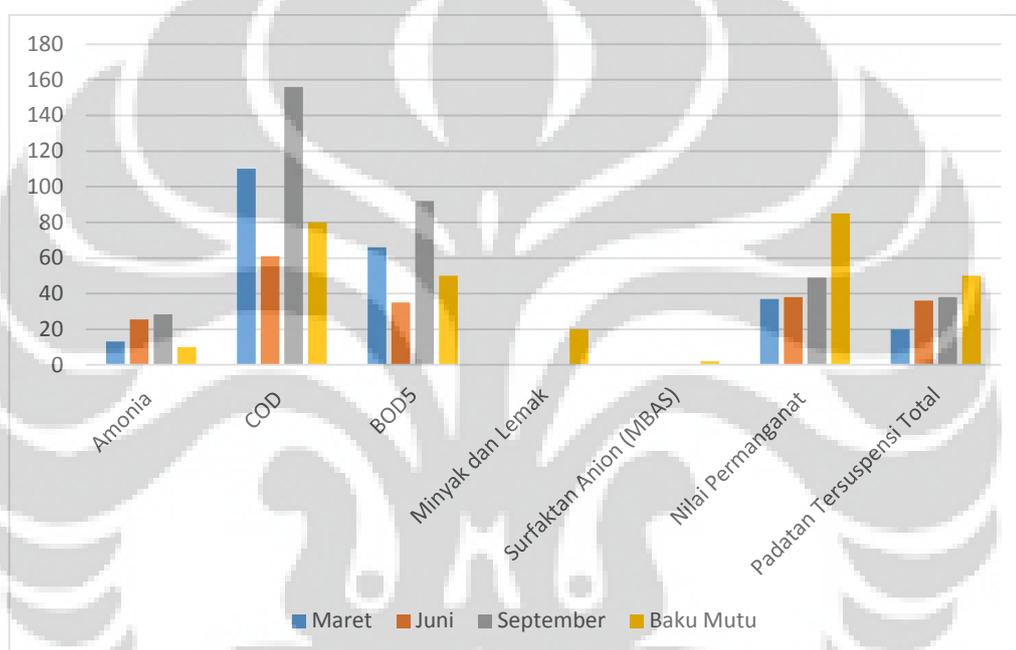
Gambar 5. 3 Neraca Air Rencana

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

### 5.3 Analisa Pengolahan Daur Ulang

#### 5.3.1 Analisa Kualitas Effluen IPAL

Analisa kualitas effluen IPAL dikaji berdasarkan hasil pengukuran laboratorium. Kualitas effluen IPAL akan menentukan jenis pengolahan lanjutan yang diperlukan untuk daur ulang air limbah. Pengujian kualitas effluent IPAL dilakukan tiap 3-4 bulan sekali oleh PT. Nusantara Water Centre. Hasil pengujian kualitas effluent IPAL pada bulan maret, juni, dan desember tahun 2014 dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

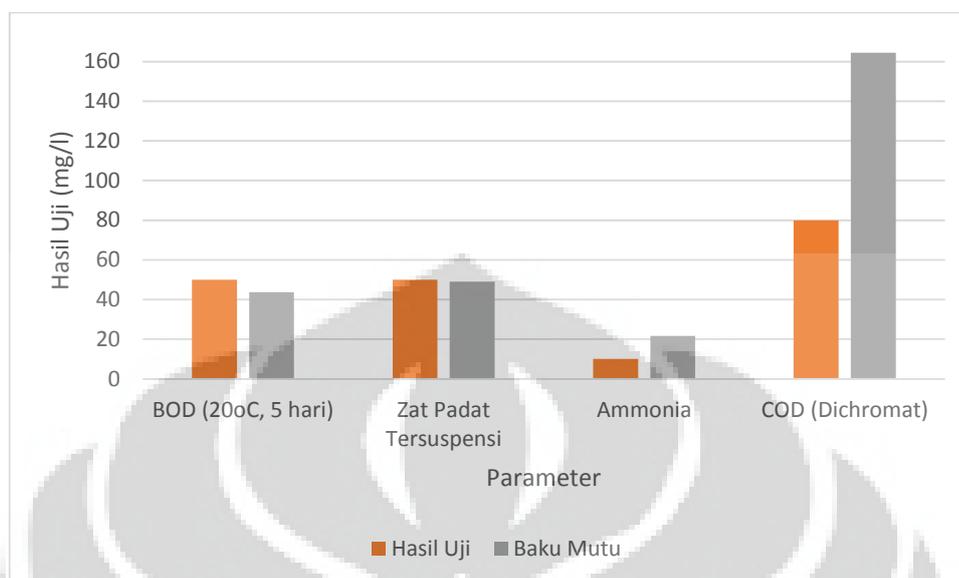


Gambar 5. 4 Grafik Kualitas Effluen IPAL

Sumber: Depok Town Square, 2014

Berdasarkan Gambar 5.4 diatas, terlihat kualitas effluent IPAL untuk parameter MBAS,  $\text{KMnO}_4$ , padatan tarsuspensi, minyak dan lemak berada dibawah baku mutu Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005. Namun, untuk parameter ammonia berada diatas baku mutu pada setiap bulan (Maret, Juni, September) sedangkan untuk parameter COD dan BOD melebihi baku mutu pada bulan Maret dan September. Selain menggunakan data sekunder yaitu data yang berasal dari pihak Depok Town Square, dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian kualitas effluent IPAL secara langsung (data primer) untuk

menguji keabsahan data sekunder. Gambar 5.5 berikut melampirkan kualitas effluent IPAL pada Bulan Maret 2015.



Gambar 5. 5 Hasil Uji Kualitas Effluen IPAL

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di lapangan, prosedur operasional IPAL sudah dijalankan dengan cukup baik. Pekerja operasional IPAL melakukan *seeding* mikroba secara rutin pada bak aerasi guna membantu penguraian polutan dalam air limbah. Selain itu, pengoperasian aerator juga dilakukan selama 24 jam sehingga kebutuhan oksigen pada bak aerasi dapat terpenuhi. Pada IPAL juga dilakukan upaya pengembalian lumpur (*return sludge*) agar konsentrasi mikroorganisme dalam bak aerasi tetap sama sehingga bak aerasi mampu meningkatkan ataupun mempertahankan kemampuannya dalam menguraikan polutan. Namun, dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 bahwa kualitas effluent IPAL sangat fluktuatif. Masih terdapat beberapa parameter air limbah yang belum memenuhi baku mutu. Fluktuasi kualitas effluent IPAL sangat dipengaruhi oleh kualitas influen yang masuk ke dalam IPAL.

Parameter air limbah yang masih melebihi baku mutu Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005, berdasarkan hasil pengujian secara langsung (Gambar 5.5) yaitu pada parameter ammonia dan COD. Senyawa ammonia dalam air limbah domestik merupakan produk utama dari penguraian limbah nitrogen yang berasal dari feses dan urin manusia. Oleh karena itu, jumlah populasi atau

manusia yang berada di Depok Town Square dapat memberikan pengaruh terhadap beban ammonia dalam air limbah. Semakin banyak populasi atau manusia yang mengeluarkan feses dan urin bersamaan dengan air siraman toilet maka kandungan ammonia pada air limbah juga akan semakin tinggi. Selain itu, tingginya kandungan ammonia pada effluent air limbah mengindikasikan pengolahan sekunder pada IPAL belum optimal. Kemungkinan efisiensi pengolahan sekunder pada IPAL telah mengalami penurunan karena IPAL telah beroperasi dari tahun 2005.

Kandungan COD pada effluent IPAL juga masih melebihi baku mutu yang ditentukan. Hal ini dikarenakan pusat pertokoan/mall merupakan aktivitas usaha yang potensial menimbulkan polutan bahan organik dalam jumlah yang besar atau dengan konsentrasi yang cukup tinggi (Asriani, 2013). Selain itu, tingginya kandungan COD pada kualitas effluent IPAL menandakan bahwa proses pengolahan sekunder pada IPAL masih belum optimal.

Selain parameter kimia organik, dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian pada parameter mikrobiologi yaitu *fecal coliform*. Tabel 5.7 berikut menampilkan hasil pengujian kualitas effluen IPAL untuk parameter *fecal coliform*.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Fecal Coliform*

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metoda
1	<i>Fecal Coliform</i>	Jml/100 mL	>16.000	SNI 06-4158-1996

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Berdasarkan Tabel 5.7 diatas, parameter *fecal coliform* memiliki kualitas yang besar yaitu lebih dari 16.000 jumlah/100 ml. Hal ini dikarenakan pembubuhan desinfektan pada bak klorinasi sudah tidak berfungsi atau tidak difungsikan sehingga kualitas *fecal coliform* yang dihasilkan besar.

### 5.3.2 Analisa Target Baku Mutu

Air hasil daur ulang yang ingin digunakan kembali harus memenuhi standar baku mutu yang ada. Indonesia belum memiliki standar baku mutu khusus untuk penggunaan air daur ulang sehingga *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) Tahun 2012 dipilih sebagai acuan standar baku mutu air daur ulang sesuai dengan bentuk pemanfaatannya. Standar baku mutu effluent air daur

ulang US EPA 2012 beserta bentuk pemanfaatannya dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 8 Standar Baku Mutu Effluen Air Daur Ulang US EPA 2012

Parameter	Cooling Tower	Lansekap dan Taman	Kebutuhan Non-Potable
pH	6-9	6-9	6-9
BOD	≤ 30 mg/l	≤ 30 mg/l	≤ 10 mg/l
TSS	≤ 30 mg/l	≤ 30 mg/l	≤ 5 mg/l
<i>Fecal Coliform</i>	≤ 200 mg/l	Tidak diperbolehkan terdapat <i>fecal coliform</i>	Tidak diperbolehkan terdapat <i>fecal coliform</i>

Sumber: US EPA 2012

Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air digunakan sebagai pertimbangan baku mutu effluent IDU yang sesuai dengan kondisi di Indonesia. Standar baku mutu badan air berdasarkan PP 82 Tahun 2001 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 9 Kriteria Mutu Air Berdasarkan PP 82 Tahun 2001

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
<b>Fisika</b>					
Suhu (dari keadaan alami)	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5
Residu terlarut	mg/l	1.000	1.000	1.000	1.000
Residu tersuspensi	mg/l	50	50	400	400
<b>Kimia Organik</b>					
pH	mg/l	6-9	6-9	6-9	5-9
BOD	mg/l	2	3	6	12
COD	mg/l	10	25	50	100
Besi	mg/l	0,3	(-)	(-)	(-)
Mangan	mg/l	0,1	(-)	(-)	(-)
NO <sub>3</sub> sebagai N	mg/l	10	10	20	20
NH <sub>3</sub> -N	mg/l	0,5	(-)	(-)	(-)
<b>Mikrobiologi</b>					
<i>Fecal Coliform</i>	Jml/100 ml	100	1.000	2.000	2.000
<i>Total Coliform</i>	Jml/100 ml	1.000	5.000	10.000	10.000

Tabel 5.9 Kriteria Mutu Air Berdasarkan PP 82 Tahun 2001 (Lanjutan)

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
<b>Kimia Organik</b>					
Minyak dan Lemak	ug/L	1.000	1.000	1.000	(-)
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)

Sumber: PP 82 Tahun 2001

Kualitas air kelas II menurut PP 82 Tahun 2001 merupakan air yang digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan air untuk mengairi pertamanan, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Air kelas II dipilih sebagai standar kualitas air daur ulang untuk *cooling tower* dan taman. Hal ini dikarenakan, nilai baku mutu air kelas II mendekati nilai baku mutu air daur ulang yang ditetapkan oleh US EPA 2012 untuk keperluan *cooling tower* dan taman. Namun, persyaratan air untuk keperluan *non potable* dalam hal ini untuk *flushing toilet* dan *cleaning* membutuhkan persyaratan yang lebih tinggi dibandingkan *cooling tower* dan penyiraman taman. Standar TSS dan BOD yang ditetapkan oleh US EPA untuk keperluan *non potable* juga jauh lebih ketat sehingga standar baku mutu yang sesuai untuk keperluan *non potable* adalah baku mutu air kelas I. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, standar kualitas air daur ulang yang dijadikan sebagai acuan adalah US EPA 2012 untuk keperluan *non potable* disesuaikan dengan PP 82 Tahun 2001 untuk baku mutu air kelas I.

Parameter kualitas air yang dipertimbangkan diantaranya adalah ammonia. Ammonia dipertimbangkan karena dapat menyebabkan korosi pada pipa dan perangkat *cooling tower* yang bermaterial logam (Metcalf dan Eddy, 2007). Pada standar US EPA 2012, standar baku mutu untuk parameter ammonia tidak ditetapkan tetapi pada PP 82 Tahun 2001 kelas I, standar baku mutu untuk parameter ammonia disyaratkan sebesar 0,5 mg/l. Maka dari itu standar persyaratan kualitas air daur ulang akan disesuaikan dengan PP 82 Tahun 2001 Kelas I yaitu sebesar 0,5 mg/l.

Standar kualitas air untuk parameter TSS pada air kelas I adalah sebesar 50 mg/l. Standar tersebut lebih rendah dibandingkan dengan persyaratan kualitas air daur ulang menurut US EPA 2012 yaitu  $\leq 5$  mg/l. Parameter TSS perlu

dipertimbangkan dalam aplikasi air daur ulang. Hal ini dikarenakan TSS dapat melindungi mikroorganisme dari desinfektan sehingga dapat mengurangi efektifitas proses desinfeksi. Maka dari itu, standar kualitas air daur ulang yang digunakan untuk parameter TSS diambil yang paling ketat yaitu  $\leq 5$  mg/l.

Parameter BOD merupakan salah satu parameter kimia yang menjadi perhatian dalam aplikasi daur ulang air limbah. Hal ini dikarenakan BOD dapat menyebabkan masalah estetika dan menyebabkan gangguan kesehatan jika air hasil daur ulang digunakan untuk air minum (*potable reuse*). Untuk parameter BOD, standar kualitas air kelas I yaitu sebesar 2 mg/l. Nilai baku mutu tersebut lebih tinggi dibandingkan baku mutu untuk parameter BOD yang ditetapkan oleh US EPA 2012 yaitu  $\leq 10$  mg/l. Air hasil daur ulang tidak digunakan untuk keperluan air minum atau *potable reuse*. Selain itu, standar yang ditetapkan oleh PP 82 2001 kelas I dirasa terlalu tinggi untuk digunakan sebagai keperluan *non potable*, taman, dan *cooling tower*. Berdasarkan hal tersebut maka standar kualitas air daur ulang untuk parameter BOD akan disesuaikan dengan persyaratan US EPA 2012 yaitu  $\leq 10$  mg/l.

Kadar COD merupakan salah satu pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk keperluan *cooling tower*. Hal ini dikarenakan, kandungan COD yang tinggi dapat menyebabkan timbulnya lendir atau *slime*. Namun, US EPA tidak menetapkan standar untuk parameter COD sehingga standar kualitas COD yang digunakan akan disesuaikan dengan persyaratan air kelas I pada PP 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 10 mg/l.

Pada parameter *fecal coliform*, baku mutu air kelas I mensyaratkan kualitas *fecal coliform* sebesar 100 jml/100 ml. Standar tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh US EPA 2012 yaitu sebesar  $\leq 200$  jml/100 ml untuk pemanfaatan *cooling tower*. Akan tetapi, US EPA 2012 menetapkan persyaratan kualitas air untuk pemanfaatan air daur ulang untuk keperluan taman dan *non potable* lebih tinggi dibandingkan baku mutu air kelas I yaitu tidak diperbolehkan terdapat *fecal coliform*. *Fecal coliform* merupakan salah satu indikator bakteri patogen yang terdapat dalam air limbah domestik. Parameter ini penting untuk dipertimbangkan guna mencegah timbulnya masalah gangguan kesehatan karena kemungkinan air daur ulang dapat mengalami kontak dengan

manusia. Oleh karena itu, standar baku mutu daur ulang yang digunakan parameter *fecal coliform* sesuai dengan US EPA 2012 yaitu tidak diperbolehkan terdapat *fecal coliform* dalam air daur ulang.

Instalasi daur ulang diupayakan dapat mengurangi parameter-parameter diatas yaitu TSS, ammonia, BOD, dan *fecal coliform*. Target mutu effluen dan efisiensi penyisihan instalasi daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Target Mutu Effluen dan Efisiensi Penyisihan Instalasi Daurl Ulang

Parameter	Pergub DKI No. 122 Tahun 2005	Mutu Influen IDU	PP 82 Tahun 2001 Kelas I	U.S EPA 2012	Target Effluen IDU	Efisiensi Penyisihan Minimal
BOD <sub>5</sub>	50	43,78	2	≤ 10	10	77,16%
Zat Padat Tersuspensi	50	49	50	≤ 5	5	89,80%
Ammonia	10	21,6	0,5	-	0,5	97,69%
COD	80	164,48	10	-	10	93,92%
<i>Fecal coliform</i>	-	16.000	100	0	0	100%

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Namun, air untuk keperluan *cooling tower* terdapat beberapa persyaratan parameter lain yang perlu dipertimbangkan selain TSS dan ammonia, diantaranya adalah besi, mangan, total padatan terlarut, kekeruhan, dan kesadahan. Parameter besi dan mangan perlu dipertimbangkan dalam penggunaan air *cooling tower*. Hal ini dikarenakan, besi dan mangan merupakan salah satu *fouling material* dalam *cooling tower*. Menempelnya senyawa besi dan mangan pada permukaan penukar panas dalam *cooling tower* dapat menyebabkan korosi terutama pada bahan-bahan yang terbuat dari baja dan kuningan. Selain besi dan mangan, total padatan terlarut juga perlu dipertimbangkan dalam penggunaan air untuk *cooling tower*. TDS menunjukkan jumlah zat-zat yang terlarut dalam air. Parameter penting yang merupakan akibat dari padatan terlarut yaitu kesadahan (Setiadi, 2007). Kesadahan perlu dipertimbangkan dalam penggunaan untuk *cooling tower* karena kesadahan dapat membentuk kerak pada sistem penukar panas dan pipa. Kekeruhan juga merupakan parameter yang perlu diperhatikan pada air umpan untuk *cooling tower*. Kekeruhan dapat menyebabkan pembentukan *fouling* pada pipa-pipa yang dapat

mengakibatkan penyumbatan. Dalam penelitian ini, juga dilakukan pengujian kualitas untuk parameter-parameter tersebut yang disajikan pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5. 11 Hasil Uji Laboratorium

<b>Hasil Uji Laboratorium</b>			
<b>No</b>	<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
1	Total Mn	0,8	mg/l
2	Total Fe	0,22	mg/l
3	TDS	1.050	mg/l
4	Kekeruhan	10,6	NTU
5	Kesadahan	46	mg/l

Sumber: Penulis, 2015

Persyaratan yang umum digunakan untuk memantau kualitas air umpan untuk *cooling tower* disajikan pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Persyaratan Air Umpan untuk *Cooling Tower*

<b>No</b>	<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
1	Konduktivitas	(mhos/cm)	$\leq 1.000$
2	Turbiditas	NTU	$\leq 10$
3	Padatan Tersuspensi	mg/l	$\leq 10$
4	Total <i>Hardness</i>	mg/l sbg CaCO <sub>3</sub>	$\leq 100$
5	Besi	mg/l sbg Fe	$\leq 1.0$
6	Residu Klorin	mg/l sbg Cl <sub>2</sub>	0,5-1,0
7	Silika	mg/l sb SiO <sub>2</sub>	1,5-2,5
8	Total <i>Chromate</i>	mg/l sbg CrO <sub>4</sub>	6,5-7,5
9	Padatan Terlarut	mg/l	$\leq 1.000$
10	Mangan	mg/l sbg Mn	$\leq 1.0$

Sumber: Setiadi, 2007

Instalasi daur ulang diupayakan juga dapat mengurangi parameter-parameter diatas dikarenakan salah satu bentuk penggunaan air daur ulang adalah untuk *cooling tower*. Berdasarkan PP 82 Kelas I, persyaratan kualitas untuk parameter besi adalah 0,3 mg/l dan untuk parameter mangan adalah 0,1 mg/l sehingga nilai tersebut yang digunakan sebagai standar air daur ulang karena lebih ketat dibandingkan persyaratan kualitas air untuk *cooling tower* menurut Setiadi

(2007) yaitu untuk besi dan mangan adalah  $\leq 1,0$  mg/l. Namun, persyaratan kualitas untuk parameter kekeruhan dan kesadahan tidak terdapat pada PP 82 kelas I sehingga standar air untuk parameter kekeruhan dan kesadahan menggunakan persyaratan kualitas air untuk *cooling tower* menurut Setiadi (2007) yaitu untuk kesadahan kurang dari  $\leq 100$  mg/l dan untuk kekeruhan  $\leq 10$  NTU. Untuk parameter TDS, standar baku mutu disesuaikan dengan PP 82 kelas I dan persyaratan air umpan untuk *cooling tower* menurut Setiadi (2007) yaitu sebesar 1000 mg/l. Target mutu effluen dan efisiensi instalasi daur ulang untuk parameter turbiditas, kesadahan, total padatan terlarut, besi, dan mangan dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5. 13 Target Mutu Effluen dan Efisiensi Instalasi Daun Ulang

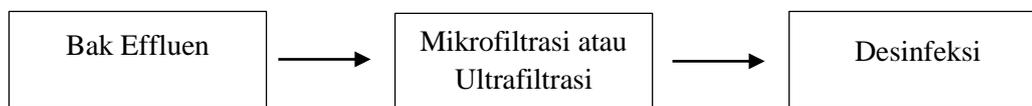
Parameter	Mutu Influen IDU	PP 82 Tahun 2001 Kelas I	Setiadi (2007)	Target Effluen IDU	Efisiensi Penyisihan Minimal
Kekeruhan	10,6	-	$\leq 10$	10	5,66%
Kesadahan	46	-	$\leq 100$	$\leq 100$	-
Mangan	0,8	0,3	$\leq 1$	0,3	62,50%
Besi	0,22	0,1	$\leq 1$	0,1	54,55%
Padatan Terlarut	1.050	1.000	$\leq 1000$	1.000	5%

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

### 5.3.3 Analisa Pemilihan Unit Daun Ulang

Instalasi daun ulang dirancang untuk meningkatkan kualitas effluent IPAL. Pengolahan yang digunakan dalam IDU adalah pengolahan tambahan atau pengolahan tersier. Pengolahan tersier umumnya dapat mengurangi lebih dari 99 persen polutan dari air limbah dan dapat menghasilkan effluen dengan kualitas yang baik (Bharadwaj dan Jogdhankar, 2013). Air daun ulang akan dimanfaatkan untuk keperluan irigasi taman, *cooling tower*, *cleaning*, dan *flushing toilet*. Persyaratan kualitas air untuk keperluan tersebut sangat tinggi sehingga diperlukan teknologi yang relatif tinggi pula. Teknologi yang memiliki kasta tertinggi dalam pengolahan tersier adalah teknologi filtrasi membran. Alternatif teknologi pengolahan lanjutan yang dipertimbangkan untuk desain instalasi daun ulang ini yaitu unit mikrofiltrasi

dan ultrafiltrasi kemudian diikuti dengan proses desinfeksi. Skema pengolahan daur ulang air limbah dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 6. Skema Pengolahan Daur Ulang

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Kedua unit filtrasi membran tersebut memiliki kemampuan penyisihan yang hampir sama sehingga setara untuk dibandingkan. Kelas konstituen yang dihilangkan oleh unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5. 14 Unit Operasi dan Proses Aplikasi Daur Ulang

Unit Operasi atau Proses	Kelas Konstituen										
	Padatan Tersuspensi	Padatan Koloid	Zat Organik	Zat Organik Terlarut	Nitrogen	Fosfor	Konstituen Sisa	Total Padatan Terlarut	Bakteri	Protozoa dan Ookista	Virus
Mikrofiltrasi	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasi	X	X	X						X	X	X

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2007

Selain itu, kedua unit tersebut mampu menyisahkan konstituen dengan baik dan telah umum diaplikasikan dalam bidang Teknik Lingkungan. Proses pemilihan unit daur ulang dilakukan secara kualitatif dengan menganalisa berdasarkan efisiensi penyisihan parameter unit pengolahan, tingkat kebutuhan biaya pengolahan, kemudahan operasi dan perawatan serta kebutuhan lahan.

Unit mikrofiltrasi merupakan membran mikrosporous yang mempunyai ukuran pori efektif berkisar antara 0,1-5  $\mu\text{m}$  (Liu, 2014) sedangkan Ultrafiltrasi merupakan membran yang dapat menyisahkan partikulat, patogen, zat organik, dan senyawa terlarut dengan ukuran pori efektif berkisar antara 1-100 nm (Munter, 2003). Kelebihan dari unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi diantaranya adalah dapat

mengurangi jumlah pengolahan secara kimia, kebutuhan ruang yang lebih kecil yaitu 50-80% daripada pengolahan konvensional, mengurangi kebutuhan pekerja karena dapat dijalankan secara otomatis, serta dapat menyisihkan protozoa, bakteri, dan virus dalam jumlah yang terbatas. Sedangkan kekurangan dari unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi adalah membutuhkan penanganan residu dan pembuangan konsentrat, membutuhkan penggantian membran setiap 5 tahun sekali, berpotensi terhadap pembentukan kerak, serta *flux rate* (jumlah aliran yang melewati membran) menurun seiring waktu.

Berdasarkan efisiensi penyisihan parameter polutan, unit mikrofiltrasi memiliki kemampuan menyisihkan parameter BOD sebesar 75-90%, TSS sebesar 95-98%, ammonia 24%, COD 70-85%, *fecal coliform* sebesar 2-5 log, kekeruhan sebesar 100%, besi sebesar 100%, mangan sebesar 22%., dan TDS sebesar 0-2%. Ultrafiltrasi merupakan membran yang dapat menyisihkan partikulat, patogen, zat organik, dan senyawa terlarut dengan ukuran pori efektif berkisar antara 1-100 nm. Jika dibandingkan dengan unit mikrofiltrasi, unit ultrafiltrasi mampu menyisihkan ammonia, TDS, mangan, dan COD lebih baik yaitu sebesar 98%, 40%, 91%, dan 90-97%. Untuk penyisihan parameter BOD, TSS, *fecal coliform*, besi, dan kekeruhan hampir setara dengan unit mikrofiltrasi yaitu berturut-turut sebesar 80-90%, 96-99,9%, 3-6 log, lebih dari 96%, dan 100%.

Tabel 5. 15 Target Effluen dan Efisiensi Penyisihan Minimal IDU

Parameter	Mutu Influen IDU	Target Effluen IDU	Efisiensi Penyisihan Minimal
BOD (20°C, 5 hari)	43,78	10	77,16%
Zat Padat Tersuspensi	49	5	89,80%
Ammonia	21,6	0,5	97,69%
COD	164,48	10	93,92%
<i>Fecal coliform</i>	16.000	0	100%
Mangan	0,8	0,1	88%
Besi	0,22	0,3	-
TDS	1.050	1.000	5%

Tabel 5.15 Target Effluen dan Efisiensi Penyisihan Minimal IDU (Lanjutan)

Parameter	Mutu Influen IDU	Target Effluen IDU	Efisiensi Penyisihan Minimal
Kekeruhan	10.6	10	6%
Kesadahan	46	100	-

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Berdasarkan Tabel 5.15 diatas, dapat dilihat efisiensi penyisihan minimal dari unit daur ulang untuk parameter BOD adalah 77,16%, untuk parameter kekeruhan adalah 6%, dan untuk parameter TSS adalah 89,80%. Dari kedua unit membran tersebut yaitu mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi mampu menyisihkan parameter BOD hingga mencapai 90%, kekeruhan mencapai 100%, dan TSS mencapai 98-99,9% sehingga efisiensi penyisihan minimal unit pengolahan daur ulang untuk mencapai target mutu effluent IDU dapat terpenuhi. Namun, target effluent IDU untuk parameter ammonia, mangan, COD, dan TDS tidak dapat dicapai dengan unit mikrofiltrasi. Target effluen ammonia adalah 0,5 mg/l dengan efisiensi penyisihan minimal adalah 97,69%. Dari kedua unit membran tersebut hanya unit ultrafiltrasi yang mampu menyisihkan ammonia hingga 98% sedangkan unit mikrofiltrasi hanya dapat menyisihkan hingga 24%. Selain itu untuk parameter mangan, efisiensi penyisihan minimal adalah sebesar 88%. Unit mikrofiltrasi hanya mampu menyisihkan parameter mangan sebesar 22% sedangkan ultrafiltrasi mampu menyisihkan mangan hingga 91%. Demikian pula pada parameter COD dan TDS, dimana target efisiensi penyisihan minimum parameter 93,92% dan 5% tidak dapat dipenuhi oleh unit mikrofiltrasi. Hal ini dikarenakan efisiensi penyisihan maksimal yang dicapai oleh unit mikrofiltrasi untuk parameter COD sebesar 85% dan TDS sebesar 2% sedangkan unit ultrafiltrasi mampu menyisihkan COD sebesar 90-97% dan TDS sebesar 40%. Berdasarkan hal tersebut maka unit ultrafiltrasi memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyisihkan polutan yang ada dibandingkan dengan unit mikrofiltrasi.

Pemilihan teknologi pengolahan daur ulang air limbah juga mempertimbangkan biaya investasi awal (*capital cost*) serta biaya operasi dan perawatan. *Capital cost* untuk unit mikrofiltrasi yaitu sebesar Rp. 512.758 per m<sup>3</sup>/hari kapasitas produksi sedangkan untuk unit ultrafiltrasi adalah sebesar Rp.

632.401 per m<sup>3</sup>/hari kapasitas produksi. Untuk biaya operasi dan perawatan, unit mikrofiltrasi membutuhkan biaya kira-kira sebesar Rp. 14.234 per m<sup>3</sup> laju umpan (*feed rate*) sedangkan untuk unit ultrafiltrasi membutuhkan biaya operasi dan perawatan kira-kira sebesar Rp. 10.352 per m<sup>3</sup> laju umpan (Eckenfelder, 2000). *Capital cost* yang dibutuhkan untuk unit mikrofiltrasi lebih murah dibandingkan dengan unit ultrafiltrasi tetapi *O/M cost* unit ultrafiltrasi lebih murah dibandingkan dengan unit mikrofiltrasi.

Kebutuhan lahan juga dijadikan pertimbangan dalam pemilihan teknologi pengolahan daur ulang ini. Unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi membutuhkan ruang yang lebih kecil dibandingkan dengan pengolahan konvensional. Luas membran yang dibutuhkan oleh unit mikrofiltrasi adalah sebesar 50 m<sup>2</sup> dengan diameter dalam membran sebesar 0,7 mm, diameter luar sebesar 1,3 mm, panjang membran 2 m, dan diameter modul sebesar 165 mm. Untuk unit ultrafiltrasi, luas membran yang dibutuhkan adalah sebesar 41 m<sup>2</sup> dengan diameter dalam membran sebesar 0,8 mm, diameter luar membran sebesar 1,4 mm, panjang membran 2 m, dan diameter modul sebesar 140 mm. Berdasarkan hal tersebut, dapat dilihat bahwa unit ultrafiltrasi memiliki kebutuhan luas modul membran yang lebih *compact* dibandingkan dengan unit mikrofiltrasi sehingga kebutuhan lahan yang dibutuhkan untuk unit ultrafiltrasi pun lebih kecil jika dibandingkan dengan unit mikrofiltrasi.

Kemudahan dalam pengoperasian dan perawatan unit pengolahan daur ulang juga dijadikan pertimbangan dalam pemilihan unit instalasi daur ulang air limbah ini. Hal ini dikarenakan, keterbatasan jumlah sumber daya manusia di Depok Town Square khususnya dibidang *engineering* yang mengurus masalah pengolahan air limbah. Operasi dan perawatan sistem ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi mirip dengan sistem *reverse osmosis* (osmosis balik). Pencatatan laju permeat dan umpan, tekanan umpan dan temperatur pada sistem harus dijaga. Temperatur operasi maksimum untuk unit mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi adalah 40°C dan tekanan maksimum untuk unit mikrofiltrasi sebesar 36 psi (2,5 bar) sedangkan unit ultrafiltrasi 44 psi (3 bar). Membran harus dibersihkan dari kontaminan atau *fouling* yang menempel. Pembersihan membran terdiri dari pencucian fisik (*backwash*) dan pencucian kimia (*chemical cleaning*). Proses *backwash* didesain untuk menghilangkan kontaminan yang terakumulasi pada membran. Tiap unit membran

di *backwash* secara terpisah atau bergiliran. Selama *backwash*, arah aliran adalah *reverse* selama 30 detik sampai dengan 3 menit. Arah aliran *backwash* mengeluarkan kontaminan dari permukaan membran dan mencuci padatan yang terakumulasi. Proses *backwash* mengurangi produktivitas sistem sebesar 5 sampai 10 persen karena volume filtrat digunakan selama *backwash* berlangsung. Frekuensi *backwash* umumnya berkisar antara 30-60 menit. Proses *backwash* dapat dilakukan atau dikontrol secara otomatis sehingga memudahkan dalam pengoperasian dan perawatan unit membran. Namun untuk pencucian kimia dilakukan secara manual atau semiotomatis. Pencucian kimia juga dapat mengontrol akumulasi endapan pada membran yang menyebabkan penyumbatan dan pembentukan kerak. Umumnya pencucian kimia dilakukan tiap 1 bulan (30 hari) sekali. Terdapat berbagai macam senyawa kimia yang digunakan dalam pembersihan atau pencucian membran (Minnesota Rural Water Association, 2009). Tabel 5.16 berikut akan memaparkan senyawa kimia yang umum digunakan dalam pencucian membran.

Tabel 5. 16 Senyawa Kimia yang Umum Digunakan untuk Pencucian Membran

Kategori	Senyawa Kimia	Tipikal Target Kontaminan
Asam	Asam sitrat, HCl	Kerak
Basa	NaOH	Organik
Oksidan/Desinfektan	NaOCl, Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Organik, biofilm
Surfaktan	Bermacam-macam	Organik

Sumber: Minnesota Rural Water Association, 2009

Beberapa foulan yang dihilangkan oleh proses *backwash* dan *chemical cleaning* disebut dengan *reversible fouling* atau foulan yang menempel secara lemah pada membran dan dapat hilang pada periode waktu tertentu. Seiring berjalannya waktu, proses membran juga akan mengalami *irreversible fouling* atau foulan yang menempel secara kuat pada membran yang tidak dapat dihilangkan oleh proses *backwash* ataupun pembersih kimia. Jika sudah terbentuk *irreversible fouling* maka dibutuhkan penggantian unit membran (Stoller dan Ochando, 2015). Tipikal umur membran adalah 5-7 tahun sehingga penggantian membran dilakukan tiap 5 sampai 7 tahun sekali.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas maka unit pengolahan daur ulang yang sesuai untuk diterapkan adalah unit ultrafiltrasi. Pemilihan unit pengolahan daur ulang lebih diprioritaskan pada kemampuan penyisihan polutan. Unit pengolahan daur ulang harus mampu menyisihkan polutan hingga mencapai baku mutu yang diinginkan. Maka dari itu, ultrafiltrasi dipilih karena memiliki kemampuan penyisihan polutan yang lebih baik daripada unit mikrofiltrasi. Selain itu membutuhkan luas area yang lebih kecil yaitu  $\pm 154 \text{ cm}^2$  per modul. Walaupun biaya yang dibutuhkan untuk unit ultrafiltrasi lebih mahal dibandingkan dengan mikrofiltrasi tetapi perbedaan biaya tidak terlalu signifikan. Kemudahan operasi dan perawatan unit ultrafiltrasi serupa dengan mikrofiltrasi.

Target effluent IDU untuk parameter *fecal coliform* adalah tidak terdapat *fecal coliform* sama sekali. Untuk itu diperlukan unit desinfeksi untuk meyisihkan *fecal coliform* tersebut. Desinfeksi yang umum digunakan dalam aplikasi daur ulang adalah desinfeksi dengan klorin, ozon, dan radiasi UV. Desifeksi klorin merupakan teknologi desinfeksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan ozon dan radiasi UV. Desinfeksi klorin dapat menyisihkan parameter *fecal coliform* hingga 99,99% (Al-Hashimi et al., 2013). Biaya investasi yang relatif murah dibandingkan dengan ozon dan radiasi UV (Metcalf dan Eddy, 2007). Akan tetapi, desinfeksi klorin membutuhkan waktu kontak yang lebih lama dibandingkan dengan desinfektan lain. Desinfeksi dengan ozon lebih efektif daripada klorin dan membutuhkan waktu kontak yang lebih singkat. Namun, biaya investasi relatif mahal, operasional dan perawatan yang tinggi, serta dapat membentuk produk sampingan yang berbahaya. Radiasi UV memiliki kelebihan diantaranya tidak terbentuk produk sampingan yang berbahaya, tidak membutuhkan senyawa kimia yang berbahaya, dan membutuhkan ruang yang lebih kecil dibandingkan dengan desinfeksi klorin. Akan tetapi, biaya investasi serta biaya operasional dan perawatan yang sangat mahal, membutuhkan pergantian lampu secara berkala, dan energy yang intensif. Selain itu, pembuangan bekas lampu pun dapat menjadi masalah karena terdapat merkuri. Dengan pertimbangan kelebihan dan kekurangan masing-masing desinfeksi, maka unit desinfeksi yang dipilih adalah desinfeksi klorin. Hal ini dikarenakan, desinfeksi klorin lebih efisien daripada desinfektan lain dan efektif dalam membunuh *fecal coliform* hingga 99,99%.

## 5.4 Desain Unit Pengolahan

### 5.4.1 Desain Ultrafiltrasi

#### a. Kriteria Desain Ultrafiltrasi

Kapasitas IDU	12,5 m <sup>3</sup> /jam
Q input	261,31 m <sup>3</sup> /hari
Kapasitas modul membran	1.250-1.500 liter/jam
Material	PAN
Diameter dalam membran	0,8 mm
Diameter luar membran	1,4 mm
Panjang membran	2 m
Luas membran	41 m <sup>2</sup>
Diameter modul	140 mm

Sumber: Pall, 2006

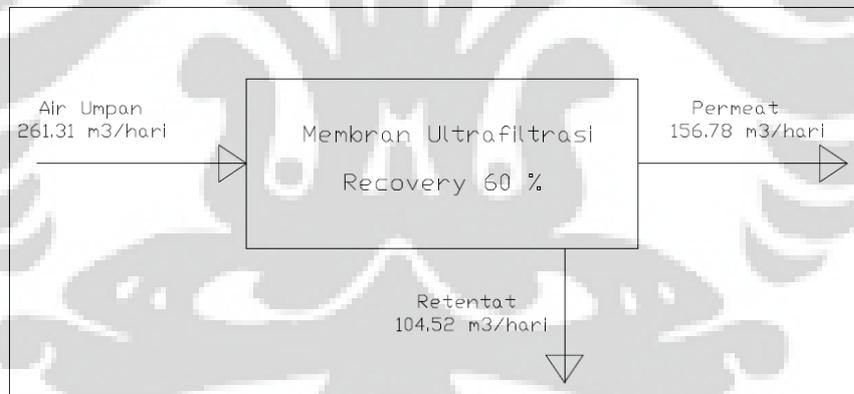
#### b. Perhitungan Aliran Pada Ultrafiltrasi

Debit air umpan (*feed water*) = 261,31 m<sup>3</sup>/hari

Asumsi *recovery* ultrafiltrasi = 60 % (Thorsen, 1998)

Permeat (*product water*) = 156,78 m<sup>3</sup>/hari

Retentat (*brine waste*) = 104,52 m<sup>3</sup>/hari



Gambar 5. 7 Aliran Proses Ultrafiltrasi

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

#### c. Perhitungan Kebutuhan Modul Membran

$$\text{Jumlah modul} = \frac{Q_{in}}{\text{Kapasitas modul membran}}$$

$$\text{Jumlah modul} = \frac{11.000 \text{ liter/jam}}{1.250 \text{ liter/jam}}$$

$$\text{Jumlah modul} = 8.8 \text{ unit} \approx 9 \text{ unit}$$

Diestimasikan terdapat 1 buah unit ultrafiltrasi sebagai cadangan (Davis, 2010) jika terdapat modul UF yang tidak dapat beroperasi sehingga total modul UF adalah 10 unit.

d. Perhitungan Kebutuhan Daya

Desain tekanan operasi = 15 psi = 103,42 KN/m<sup>2</sup>

$$\text{Kebutuhan daya} = \text{desain tekanan operasi} \times Q_{in}$$

$$\text{Kebutuhan daya} = 103,42 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \times 261,31 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{86.400 \text{ detik}}$$

$$\text{Kebutuhan daya} = 0,31 \text{ Kwatt} = 310 \text{ watt}$$

Tipikal efisiensi pompa berkisar antara 80-95% (Spellman, 2014). Diasumsikan efisiensi pompa sebesar 90% maka kebutuhan daya pompa adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya Pompa} = \frac{\text{kebutuhan daya}}{\text{efisiensi pompa}}$$

$$\text{Daya Pompa} = \frac{310 \text{ watt}}{0,9} = 344,44 \text{ watt} = 0,34 \text{ KW}$$

e. Dimensi Pipa Inlet dan Outlet

Debit yang masuk kedalam unit ultrafiltrasi sebesar 11 m<sup>3</sup>/jam dengan kecepatan aliran diasumsikan sebesar 1,5 m<sup>3</sup>/detik (Crittenden et al., 2012) sehingga diameter pipa inlet yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 3,056 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{1,5 \text{ meter/detik} \times \pi}}$$

$$D = 0,05 \text{ m} = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in}$$

Debit keluaran atau output dari unit ultrafiltrasi adalah 6,5 m<sup>3</sup>/jam sehingga diameter pipa outlet adalah sebagai berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1,805 \times 10^{-3} \frac{m^3}{detik}}{1,5 \text{ meter/detik} \times \pi}}$$

$$D = 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm} = 1,5 \text{ in}$$

f. Waktu Operasi Ultrafiltrasi

$$\text{Waktu operasi} = \frac{\text{Debit air umpan}}{\text{Kapasitas modul membran} \times \text{Jumlah modul}}$$

$$\text{Waktu operasi} = \frac{261,31 \text{ m}^3/\text{hari}}{1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 10 \text{ unit}}$$

$$\text{Waktu operasi} = 20,9 \text{ jam/hari} \approx 21 \text{ jam/hari}$$

Tabel 5. 17 Kinerja Unit Ultrafiltrasi

Kinerja Ultrafiltrasi					
Parameter	Satuan	Influen	Penyisihan	Effluen	Baku Mutu Effluen IDU
BOD <sub>5</sub>	mg/l	43,78	85%	6,567	10
TSS	mg/l	49	96%	1,96	5
Ammonia	mg/l	21,6	98%	0,432	0,5
COD	mg/l	164,48	95%	8,224	10
<i>Fecal Coliform</i>	Jml/100 ml	16.000	3 log	<b>16</b>	<b>0</b>
Mangan	mg/l	0,8	91%	0,072	0,1
Besi	mg/l	0,22	96%	0,0088	0,3
TDS	mg/l	1.050	40%	630	1.000
Kekeruhan	NTU	10,6	100%	0	10
Kesadahan	mg/l	46	-	46	100

Keterangan: ■ belum memenuhi baku mutu effluen IDU

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Berdasarkan Tabel 5.17 diatas, kinerja unit ultrafiltrasi telah memenuhi hampir semua baku mutu effluen IDU namun untuk parameter *fecal coliform* masih belum memenuhi baku mutu effluen IDU karena masih memiliki kualitas effluen

sebesar 16 jml/100 ml. Oleh karena itu, diperlukan unit desinfeksi agar dapat menyisihkan seluruh *fecal coliform* pada air hasil daur ulang tersebut.

#### 5.4.2 Desain Desinfeksi

*Fecal coliform* dari effluent unit ultrafiltrasi adalah sebesar 16 jumlah/100 ml. Nilai tersebut masih belum memenuhi target baku mutu daur ulang yang diinginkan yaitu tidak ada *fecal coliform*. Oleh karena itu, diperlukan unit desinfeksi untuk membunuh *fecal coliform* tersebut agar dapat memenuhi target effluent IDU yang diinginkan. Desinfeksi ini menggunakan klor dalam bentuk senyawa kalsium hipoklorit ( $\text{CaOCl}_2$ ) atau yang lebih dikenal dengan kaporit.

##### a. Kriteria Desain

- *Contact chamber* menggunakan tipe *baffled inlet* atau *outlet* dengan beberapa sekat intrabasin.
- Waktu kontak adalah 30-120 menit (Metcalf dan Eddy, 2007)
- Asumsi jumlah baffle adalah 3 buah
- Rasio ketinggian:lebar adalah (1-3):1 (Davis, 2010)

##### b. Perhitungan Waktu Detensi Hidrolik yang Dibutuhkan

Waktu kontak yang digunakan adalah 30 menit dengan  $t_{10}$  sebesar 15 menit. Debit yang keluar atau effluent IDU adalah sebesar 156,78  $\text{m}^3/\text{hari}$ . Berdasarkan klasifikasi *baffle* maka diperoleh rasio  $t_{10}/t_0$  sebesar 0,5 (Davis, 2010).

$$\frac{t_{10}}{t_0} = 0,5$$

$$\frac{15 \text{ menit}}{t_0} = 0,5$$

$$t_0 = 50 \text{ menit}$$

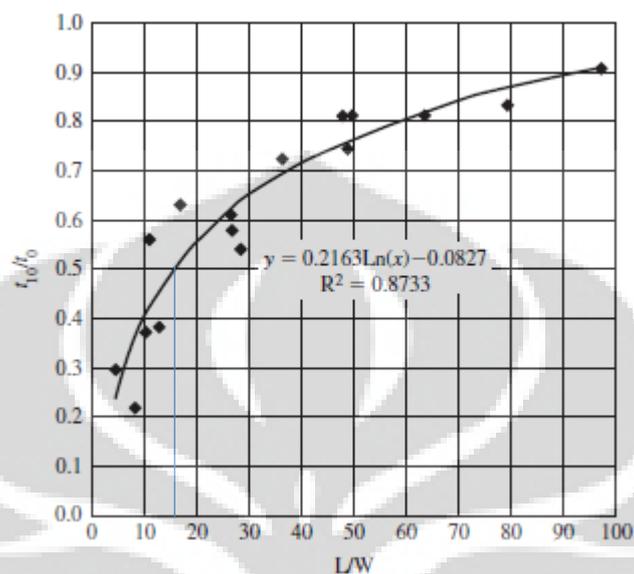
##### c. Perhitungan Dimensi Bak Desinfeksi

$$V_{bak} = Q \times t_0$$

$$V_{bak} = 0,108 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \times 50 \text{ menit}$$

$$V_{bak} = 5,4 \text{ m}^3$$

Rasio panjang:lebar ditentukan berdasarkan grafik hubungan P/L dengan rasio  $t_{10}/t_0$  berikut.



Grafik Hubungan Rasio  $t_{10}/t_0$  dengan L/W

Sumber: Davis, 2010

Berdasarkan grafik diatas, maka panjang bak adalah 15 kali lebar dan ketinggian adalah 2 kali lebar. Maka lebar bak adalah:

$$V_{bak} = (L)(2L)(15L)$$

$$5,4 \text{ m}^3 = 30L^3$$

$$L_{ak} = \sqrt[3]{\frac{5,4}{30}}$$

$$L_{ak} = 0,56 \text{ m} = 56 \text{ cm}$$

Maka,

$$P_{bak} = 15 \times L_{bak}$$

$$P_{bak} = 8,5 \text{ m}$$

$$T_{bak} = 2 \times L_{bak}$$

$$T_{bak} = 1,12 \text{ m}$$

d. Dimensi Pipa Inlet dan Outlet

Debit yang masuk kedalam unit desinfeksi sebesar  $6,5 \text{ m}^3/\text{jam}$  dengan asumsi kecepatan aliran sebesar  $1,5 \text{ m/detik}$  (Crittenden et al., 2012) sehingga diameter pipa inlet yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1,805 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{1,5 \text{ meter/detik} \times \pi}}$$

$$D = 0,040 \text{ m} = 40 \text{ mm} = 1,5 \text{ in}$$

Debit keluaran atau output dari unit ultrafiltrasi adalah  $6,5 \text{ m}^3/\text{jam}$  sehingga diameter pipa outlet adalah sebagai berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1,805 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{1,5 \text{ meter/detik} \times \pi}}$$

$$D = 0,040 \text{ m} = 40 \text{ mm} = 1,5 \text{ in}$$

e. Perhitungan Kebutuhan Kaporit

- Menentukan dosis klor maksimum

Dosis klor maksimum yang digunakan dalam mendesain adalah  $10 \text{ mg/l}$  dengan kriteria desain  $5\text{-}20 \text{ mg/l}$  (Metcalf dan Eddy, 2003).

- Menghitung kebutuhan klor

$$\text{kebutuhan klor} = Q \times \text{dosis klor}$$

$$\text{kebutuhan klor} = 156.780 \frac{\text{l}}{\text{hari}} \times 10 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\text{kebutuhan klor} = 1.567.800 \frac{\text{mg}}{\text{hari}} = 1,57 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

- Menghitung kebutuhan kaporit

Klor yang terdapat dalam kaporit sebesar  $70\%$  dengan densitas kaporit  $0,86 \text{ kg/l}$  (Metcalf dan Eddy, 2003). Maka kebutuhan kaporit adalah:

$$\text{kebutuhan kaporit} = \text{kebutuhan klor} : 70\% : \text{densitas kaporit}$$

$$\text{kebutuhan kaporit} = 1,57 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} : 70\% : 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$\text{kebutuhan kaporit} = 2,6 \text{ l/hari}$$

- Menghitung volume larutan

Diasumsikan pelarutan kaporit sebesar 5% maka didapatkan banyaknya pelarut yang dibutuhkan per hari adalah sebesar:

$$\text{Pelarut} = \frac{\text{kebutuhan kaporit}}{5\%}$$

$$\text{Pelarut} = \frac{2,6 \text{ l/hari}}{5\%}$$

$$\text{Pelarut} = 52 \frac{\text{l}}{\text{hari}}$$

Dengan didapatkan pelarut sebanyak 52 liter/hari maka volume larutan yang dibutuhkan adalah sebesar:

$$V_{\text{larutan}} = \text{kebutuhan kaporit} + \text{pelarut}$$

$$V_{\text{larutan}} = 2,6 \frac{\text{l}}{\text{hari}} + 52 \frac{\text{l}}{\text{hari}}$$

$$V_{\text{larutan}} = 54,6 \frac{\text{l}}{\text{hari}}$$

Tabel 5. 18 Kinerja Unit Desinfeksi

Kinerja Desinfeksi					
Parameter	Satuan	Influen	Penyisihan	Effluen	Baku Mutu Effluen IDU
BOD <sub>5</sub>	mg/l	6,567	-	6,567	10
TSS	mg/l	1,96	-	1,96	5
Ammonia	mg/l	0,432	-	0,432	0,5
COD	mg/l	164,48	-	8,224	10
<i>Fecal Coliform</i>	Jml/100 ml	16	99,99%	0,0016	0
Mangan	mg/l	0,8	-	0,072	0,1
Besi	mg/l	0,22	-	0,0088	0,3

Tabel 5.18 Kinerja Unit Desinfeksi (Lanjutan)

Kinerja Desinfeksi					
Parameter	Satuan	Influen	Penyisihan	Effluen	Baku Mutu Effluen IDU
TDS	mg/l	1.050	-	630	1.000
Kekeruhan	NTU	10,6	-	0	10
Kesadahan	mg/l	46	-	46	100

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

### 5.4.3 Desain Bak Penampung

#### a. Kriteria Desain

- Bak penampung diperlukan untuk menampung aliran dari unit desinfeksi. Diperkirakan debit yang keluar dari unit desinfeksi adalah 156,78 m<sup>3</sup>/hari.
- Waktu detensi bak penampung berkisar antara 2-8 jam, dipilih 2 jam (Hung et al., 2012)
- Kedalaman bak minimal 1-2 meter (Davis, 2010).

#### b. Perhitungan Dimensi Bak

$$V_{bak} = Q \times t$$

$$V_{bak} = 6,53 \frac{m^3}{jam} \times 2 jam$$

$$V_{bak} = 13,065 m^3$$

Maka luas bak penampung adalah sebagai berikut:

$$A_{bak} = \frac{V_{bak}}{Kedalaman}$$

$$A_{bak} = \frac{13,065 m^3}{2}$$

$$V_{bak} = 6,53 m^3$$

Dengan demikian, panjang dan lebar bak adalah sebagai berikut:

$$P = L = \sqrt{A}$$

$$P = L = \sqrt{6,53} = 2,55 m$$

c. Perhitungan Pompa

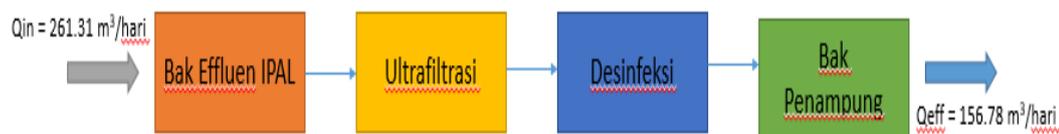
*Head* pompa dipasang pada kedalaman 2 m sesuai dengan kedalaman bak penampung. Tipikal efisiensi pompa berkisar antara 80-95% (Spellman, 2014). Diasumsikan efisiensi pompa 85%, maka daya pompa yang dibutuhkan adalah:

$$P = \frac{\rho \times Q \times g \times H}{\eta}$$

$$P = \frac{1000 \times 0,001 \frac{m^3}{s} \times 9,81 \times 2 \text{ m}}{0,85}$$

$$P = 23,08 \text{ watt}$$

Berdasarkan hasil desain unit pengolahan, skema instalasi daur ulang air limbah di Depok Town Square adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 8 Skema Instalasi Daur Ulang Air Limbah

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

### 5.5 Analisa Pembiayaan dan Kelayakan Ekonomi

Analisa pembiayaan dilakukan dengan mengestimasi total biaya yang diperlukan dalam perancangan instalasi daur ulang yang meliputi biaya investasi awal (*capital cost*) dan biaya operasional dan perawatan. Dalam menghitung kebutuhan biaya unit pengolahan, diambil dari beberapa katalog dari berbagai produsen yang berbeda. Harga unit pengolahan diasumsikan tidak terjadi perubahan (*flat rate*). Estimasi biaya investasi awal (*capital cost*) instalasi daur ulang air limbah di Depok Town Square disajikan pada Tabel 5.19 dan estimasi biaya operasional dan perawatan disajikan pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5. 19 Estimasi Biaya Investasi Awal (*Capital Cost*) IDU

No	Unit Pengolahan	Jumlah	Unit	Harga/Unit	Total Harga
<b>1</b>	<b>Pengolahan Filtrasi Membran</b>				
	<i>Housing Membrane UF</i>	10		700.000	7.000.000
	Modul Membran UF	10		5.500.000	55.000.000
	<i>Pump Centrifugal Multistage</i>	1		4.270.000	4.270.000
	<i>Housing Catridge Stainless Steel</i>	1		4.500.000	4.500.000
	<i>Piping Equipment</i>	1	set	770.000	770.000
	<i>Pressure Gauge</i>	2		200.000	400.000
	Rangka <i>Stainless Steel</i>	1		3.000.000	3.000.000
	<i>Selector Switch dan Panel</i>	1		11.500.000	11.500.000
	Pompa Backwash	1		4.270.000	4.270.000
	Adaptor Pompa	1		250.000	250.000
	<i>Flow Meter</i>	2		225.000	450.000
<b>2</b>	<b>Desinfeksi</b>				
	<i>Piping Equipment</i>	1	set	500.000	500.000
	<i>Pompa Dosing</i>	1		1.500.000	1.500.000
	Bak Desinfeksi (Beton K 300)	1		5.084.898,56	5.084.898,56
	Adaptor Pompa	1		250.000	250.000
	<i>Flow Meter</i>	1		225.000	225.000
<b>3</b>	<b>Bak Penampung (Reservoir)</b>				
	<i>Piping Equipment</i>	1	set	770.000	770.000
	Pompa Submersible	1		5.550.000	5.550.000
	Reservoir (Beton K 300)	1		12.461.397	12.461.397
	Adaptor Pompa	1		250.000	250.000
	<i>Flow Meter</i>	1		225.000	225.000
	TDS Dual Monitor	1		800.000	800.000
<b>Total</b>					Rp 119.026.295,56
<b>Biaya Lain-lain (10 % x Total)</b>					Rp 11.902.629,56
<b>Biaya Total</b>					Rp 130.928.925,12

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Tabel 5. 20 Estimasi Biaya Operasional dan Perawatan IDU

No	Unit Pengolahan	Jumlah	Satuan	Waktu Operasi (jam/hari)	Harga per Satuan	Total Harga	Biaya per Bulan
<b>1</b>	<b>Operasional</b>						
	Listrik	2,003	kW	21	1.200	1.514.268	1.514.268
	Operator	4	Orang	14	2.700.000	10.800.000	10.800.000
	Unit Pengolahan	Jumlah	Satuan	Masa Penggantian (bulan)	Harga per Satuan	Total Harga	Biaya per Bulan
<b>2</b>	<b>Perawatan</b>						
	Modul Membran UF	10	Unit	60	5.500.000	55.000.000	916.667
	<i>Housing Catridge Stainless Steel</i>	1	Unit	2	4.500.000	4.500.000	2.250.000
	<i>Housing Membrane UF</i>	10	Unit	12	7.000.000	7.000.000	583.333
	NaOH	1	Kg	2	22.000	22.000	11.000
	Kaporit	47,1	Kg	1	70.000	3.297.000	3.297.000
<b>Total</b>							Rp 19.372.268
<b>Biaya Lain-lain (10% x Total)</b>							Rp 1.937.227
<b>Total Biaya per Bulan</b>							Rp 21.309.495

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Dalam analisa pembiayaan ini juga diestimasikan besar penghematan yang diperoleh akibat dari keberadaan instalasi daur ulang ini. Penghematan bersih dihitung dari selisih penghematan PDAM dikurangi dengan biaya operasional dan pemeliharaan IDU. Depok Town Square merupakan golongan pelanggan Kelompok 4D-Niaga besar dengan tarif air PDAM sebesar Rp. 10.000 per m<sup>3</sup>. Estimasi penghematan biaya disajikan pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5. 21 Estimasi Biaya Penghematan IDU

<b>Input (m<sup>3</sup>/hari)</b>	<b>Output (m<sup>3</sup>/hari)</b>	<b>Harga PDAM per m<sup>3</sup></b>	<b>Penghematan PDAM per Bulan</b>	<b>Penghematan Bersih per Bulan</b>
261,31	156,786	Rp 10.000	Rp 47.035.800	Rp 25.726.305

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Berdasarkan Tabel 5.21 diatas, kemudian dapat dihitung *payback period* atau masa pengembalian biaya investasi dengan persamaan berikut:

$$PP \text{ (bulan)} = \frac{\text{Biaya investasi}}{(\text{Penghematan} - \text{Biaya O/M}) \text{ per bulan}}$$

$$PP \text{ (bulan)} = \frac{130.928.925,12}{25.726.305}$$

$$PP \text{ (bulan)} = 5,09 \text{ bulan} \approx 5 \text{ bulan}$$

Jangka waktu operasi instalasi daur ulang diasumsikan berlangsung selama 2 sampai 5 tahun (Prima, 2012). Harga air daur ulang berdasarkan jangka waktu operasi dapat dilihat pada Tabel 5.22. Semakin lama instalasi daur ulang beroperasi, maka harga air daur ulang akan semakin murah. Estimasi harga air daur ulang sesuai dengan literatur dimana berkisar antara Rp 2.000 - Rp 6.000 per m<sup>3</sup>.

Tabel 5. 22 Estimasi Harga Air Daur Ulang

<b>Tahun (n)</b>	<b>Total Biaya hingga Tahun ke-n</b>	<b>Total Produksi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Harga Air per m<sup>3</sup></b>
5 Tahun	Rp 1.409.498.613,12	286.123,50	Rp 4.926,19
4 Tahun	Rp 1.153.784.675,52	228.898,80	Rp 5.040,59
3 Tahun	Rp 898.070.737,92	171.674,10	Rp 5.231,25
2 Tahun	Rp 642.356.800,32	114.449,40	Rp 5.612,58

Sumber: Pengolahan Penulis, 2015

Faktor penting dalam perancangan instalasi daur ulang air limbah adalah kelayakan ekonomi. Analisa kelayakan ekonomi diukur dari perbandingan biaya yang dibutuhkan untuk pembelian setiap meter kubik air PDAM dengan biaya yang diperlukan untuk memproduksi setiap meter kubik air daur ulang. Dengan produksi air sebesar 156,78 m<sup>3</sup>/hari selama 2 tahun dan harga air PDAM sebesar Rp. 10.000 per m<sup>3</sup>, maka nilai kelayakan IDU adalah sebagai berikut.

$$\frac{\text{Harga air PDAM per m}^3}{\text{Harga air daur ulang per m}^3} \geq 1$$

$$\frac{10.000}{5.612,58} \geq 1$$

$$1,78 \geq 1$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka instalasi daur ulang air limbah domestik layak untuk diaplikasikan di Depok Town Square.

## 5.6 Rekomendasi Aplikasi dan Desain Instalasi Daur Ulang

Berdasarkan hasil analisa diatas, maka didapatkan rekomendasi aplikasi dan desain instalasi daur ulang di Depok Town Square yaitu sebagai berikut:

- a. Berdasarkan analisa tingkat kebutuhan air dan potensi daur ulang air, alokasi pemanfaatan yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square adalah untuk pertamanan, *cleaning*, *cooling tower*, dan siram toilet (*flushing toilet*).
- b. Berdasarkan analisa IPAL, target baku mutu, dan pemilihan unit daur ulang, desain instalasi daur ulang yang efektif dan efisien untuk diterapkan di Depok Town Square sesuai dengan bentuk pemanfaatannya adalah unit ultrafiltrasi diikuti dengan proses desinfeksi.

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sumber air bersih yang digunakan di Depok Town Square adalah air tanah dalam (artesis) yang memasok  $\pm 30\%$  kebutuhan air yaitu rata-rata sekitar  $3.038 \text{ m}^3/\text{bulan}$  dan air PDAM yang memasok  $\pm 70\%$  kebutuhan air yaitu rata-rata sekitar  $6.992,75 \text{ m}^3/\text{bulan}$ .
2. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, kualitas air limbah yang berasal dari effluen IPAL untuk parameter ammonia sebesar  $21,60 \text{ mg/l}$ , parameter BOD sebesar  $43,78 \text{ mg/l}$ , parameter COD sebesar  $164,48 \text{ mg/l}$ , TSS sebesar  $49,0 \text{ mg/l}$ , TDS sebesar  $1.050 \text{ mg/l}$ , besi sebesar  $0,22 \text{ mg/l}$ , mangan  $0,8 \text{ mg/l}$ , kekeruhan sebesar  $10,6 \text{ NTU}$ , kesadahan sebesar  $46 \text{ mg/l}$ , dan *fecal coliform* sebesar  $> 16.000 \text{ jml}/100 \text{ ml}$ .
3. Berdasarkan analisa tingkat kebutuhan air dan potensi daur ulang, bentuk pemanfaatan air daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square adalah untuk *flushing toilet*, siram tanaman, *cleaning*, dan *cooling tower*.
4. Berdasarkan bentuk pemanfaatannya, bentuk pengolahan daur ulang yang sesuai untuk diterapkan di Depok Town Square adalah unit ultrafiltrasi diikuti dengan unit desinfeksi klorin dan bak penampung.

#### 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan *pilot plant* untuk menguji keabsahan nilai efisiensi penyisihan unit daur ulang yang berdasarkan literatur.
2. Dilakukan pengujian kualitas air untuk parameter konduktivitas, residu klorin, silika, dan total kromat jika air hasil daur ulang akan dialokasikan untuk pemanfaatan *cooling tower*.

3. Sebaiknya dilakukan pengujian kualitas atau mutu influen IPAL agar dapat menganalisa kinerja IPAL yang ada (eksisting).
4. Sebaiknya dilakukan peninjauan harga unit pengolahan daur ulang secara langsung. Hal ini dikarenakan estimasi biaya yang diperhitungkan dapat lebih mahal ataupun lebih murah dari harga yang sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdessemed, D., Nezzal, G., & Ben Aim, R. 2000. *Coagulation-Adsorption-Ultrafiltration For Wastewater Treatment And Reuse*. Desalination, 131(1), 307-314.
- Ahn, K. H., & Song, K. G. 1999. *Treatment Of Domestic Wastewater Using Microfiltration For Reuse Of Wastewater*. Desalination, 126(1), 7-14.
- Al-Bahra bin Ladjamudin. 2005. *Analisis dan Desain Sistem Informasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Al-Hashimi, Mohammed Ali I., Ayat Hussein Mahdi, and Rana Jawad Kadhim. 2013. *The Effect of Water Treatment Stages in Al-Wathba Water Treatment Plant on The Bacterial Growth (Applied Study)*. European Scientific Journal 9.9.
- Alimah, Iklima, dan Heru Purboyo Hidayat Putro. 2014. *Kajian Tingkat Konsumsi Air Bersih PDAM di Provinsi Jawa Barat*.
- Aplikasi Waste Water Reused*. <http://www.profil.waterindonesia.com/main/wp-content/uploads/2010/06/APLIKASI-WASTE-WATER-REUSEDi.pdf> (di akses 13 Desember 2014 Pukul 14:04 WIB)
- Asriani, Aulia Nurmitha. 2013. *Fitoremediasi Pengolahan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Enceng Gondok*. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Babaei, L., Torabian, A., dan Aminzadeh, B. 2015. *Application of Microfiltration and Ultrafiltration for Reusing Treated Wastewater; As a Solution to Ease Iran's Water Shortage Problems*. Vol 11, No. 6, 3662-3668.
- Baker, Richard W. 2012. *Membrane Technology and Applications. Third Edition*. John Wiley and Sons Ltd.
- Bhandari, Vinay M dan Ranade, Vivek V. 2014. *Industrial Wastewater Treatment, Recycling, and Reuse*. Elsevier Ltd.

- Bharadwaj, S D Rahul dan Jogdhankar, Shraddha. 2013. *Automatic Wastewater Treatment Process to Reduce Global Warming*. International Journal of Environmental Science: Development and Monitoring (IJESDM). ISSN No. 2231-1289, Volume 4 No. 2.
- Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., & Melin, T. 2006. *Wastewater Reuse In Europe*. *Desalination*, 187(1), 89-101.
- Boyd, Claude. E. 1990. *Water Quality Management in Aquaculture and Fisheries Science*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam
- Brown, Jeffrey P, Marcela Benavides, John Dahl, Erica Head, Kris Ip, dan Andrea Rodriguez. 2000. *Large-Scale Microfiltration*. Air Quality and Special Projects Division Operations and Maintenance Department.
- Cekungan Air Tahan Jakarta Tipis. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <http://www.esdm.go.id/berita/42-geologi/2749-cekungan-air-tanah-jakarta-kritis> (di akses 13 Desember 2014 Pukul 14:31 WIB)
- Côté, P., Masini, M., & Mourato, D. 2004. Comparison of membrane options for water reuse and reclamation. *Desalination*, 167, 1-11.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., dan Tchobanoglous, G. 2012. *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. John Wiley & Sons.
- Davis, M.L. dan Cornwell, D.A. 2008. *Introduction to Environmental Engineering*, 4th ed. Singapore: McGraw-Hill. 1008 p.
- Davis, Mackenzie Leo. 2010. *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Dialynas, E., & Diamadopoulos, E. 2008. *Integration Of Immersed Membrane Ultrafiltration with Coagulation and Activated Carbon Adsorption for Advanced Treatment Of Municipal Wastewater*. *Desalination*, 230(1), 113-127.

- Dialynas, E., Mantzavinos, D., & Diamadopoulos, E. 2008. *Advanced Treatment of The Reverse Osmosis Concentrate Produced During Reclamation of Municipal Wastewater*. *water research*, 42(18), 4603-4608.
- Drinan, Joanne E dan Spellman, Frank R. 2012. *Water and Wastewater Treatment: A Guide for the Nonengineering Profesional*. Taylor & Francis Group.
- Eckenfelder, W.W, JR. 2000. *Industrial Water Pollution Control*. 3rd Edition, Environmental Engineering Series, McGraw-Hill Book Co., Singapore
- Edisi Majalah Kiprah. *Jatuh Bangun Mengurus Air Perkotaan*. Volume 43/tahun XI/Mare-April 2011. <http://kiprah.pu.go.id:8080/uploads/edisi/43/files/assets/downloads/page0033.pdf> (di akses 13 Desember 2014 Pukul 14:10 WIB)
- El Boushy, Adel RY, Antonius FB van der Poel, dan Antonius Franciscus Bernadus Poel. 2000. *Handbook of poultry feed from waste: processing and use*. Springer.
- Evasari, Johanna. 2012. *Pemanfaatan Lahan Basah Buatan dengan Menggunakan Tanaman Typha Latifolia untuk Mengelola Limbah Cair Domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Kantin Fakultas Teknik Universitas Indonesia)*. Universitas Indonesia
- Fan, L., Nguyen, T., Roddick, F. A., & Harris, J. L. 2008. Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: Pre-treatment for fouling reduction. *Journal of Membrane Science*, 320(1), 135-142.
- Fraenkel, Jack R dan Wallen, Norman E. 2009. *How to Design and Evaluate Research in Education*. Seventh Edition. McGraw- Hill, New York.
- Gander, M., Jefferson, B., & Judd, S. 2000. *Aerobic MBRs For Domestic Wastewater Treatment: A Review With Cost Considerations*. *Separation and purification Technology*, 18(2), 119-130.
- Gómez, M., Plaza, F., Garralón, G., Pérez, J., & Gómez, M. A. 2007. *A Comparative Study of Tertiary Wastewater Treatment By Physico-Chemical-UV Process and Macrofiltration–Ultrafiltration Technologies*. *Desalination*, 202(1), 369-376.

- Hamoda, M. F., Al-Ghusain, I., & Al-Mutairi, N. Z. 2004. *Sand Filtration of Wastewater for Tertiary Treatment and Water Reuse*. Desalination, 164(3), 203-211.
- Hartami, Prama. 2008. "*Analisis Wilayah Perairan Teluk Pelabuhan Ratu untuk Kawasan Budidaya Perikanan Sistem Keramba Jaring Apung*."
- Herlambang, Arie. 2009. *Peran Teknologi Dalam Penentuan Kebijakan Pengelolaan Sumberdaya Air Nasional*. Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT. Vol 5.
- Herlambang, R. B., Pambudi, A., Al Ayubbi, I., Setyoko, A., & Rahmat, R. 2014. *Rancang Bangun Test Bed Cooling Tower Counter Flow (Design Build Test Bed Cooling Tower Counter Flow)*. D3 Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Hidayat, Wahyu. 2009. *Daur Ulang Air Limbah Domestik Kapasitas 0, 9 m<sup>3</sup> Per Jam Menggunakan Kombinasi Reaktor Biofilter Anaerob Aerob Dan Pengolahan Lanjutan*. Jurnal Air Indonesia, 5(1).
- Hung, Yung-Tse, Lawrence K. Wang, dan Nazih K. Shammam. 2012. *Handbook of environment and waste management: air and water pollution control*. Vol. 1. World Scientific.
- Jadhao, Rahul Keshav dan Dawande, Shrikant D. 2013. *Effect of Hydraulic Retention Time and Sludge Retention Time on Membrane Bioreactor: Performance in Summer Season*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. Vol. 2. No.2 ISSN:2319-6602.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Kompas. 2011. *Air Bersih Terbatas*. <http://megapolitan.kompas.com/read/2011/03/23/03402017/Air.Bersih.Terbatas> (di akses 15 Juni 2015 Pukul 17:32 WIB)
- Kumar, Shukla Sudheer., Kumar, Vivek., dan M. C, Bansal. 2009. *Application of Ultrafiltration and Nanofiltration Treatment for the Closure Of E-Stage Bleaching Plant Effluent*. 21(1), 159-162

- Lazarova, Valentina., & Bahri, Akiça. 2004. *Water reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass*. CRC Press.
- LeChevallier, Mark W., Au KwokKeung, and K. K. Au. 2004. *Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking-Water*. IWA Publishing.
- Liu, Sean X. 2014. *Food and Agricultural Wastewater Utilization and Treatment*. Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd.
- Lynk, S.V., J.H. Briggs, dan M. Petry. 2001. *Innovative Two Stage Membrane Design Provides Efficient Solution for Meeting Immediate Water Needs: Case Study-City of Georgetown Southside WTP*. In Proceedings of the AWWA Membrane Technology Conference. Denver, Colo.: American Water Works Association.
- Mara, Duncan. 2004. *Domestic wastewater treatment in developing countries*. Routledge.
- Mays, Larry.W. 1996. *Water Resources Handbook*. McGraw - Hill, New York.
- Metcalf dan Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Fourth Edition. Mc Graw Hill International, New York.
- Metcalf dan Eddy. 2007. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. Mc Graw Hill Companies.
- Minnesota Rural Water Asscociation. 2009. *Water Works Operations Manual: Chapter 19 Membrane Filtration*. <http://www.mrwa.com/WaterWorksMnl/Chapter%2019%20Membrane%20Filtration.pdf> (di akses 3 Juni 2015 Pukul 23:23 WIB)
- Mukono. 2006. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Surabaya. Universitas Airlangga
- Munter, Rein. 2003. "*Industrial Wastewater Treatment*". The Baltic University Programme (BUP), Sweden.
- Naghizadeh, A., Mahvi, A. H., Mesdaghinia, A. R., & Alimohammadi, M. 2011. *Application of MBR Technology in Municipal Wastewater Treatment*. Arabian Journal for Science and Engineering, 36(1), 3-10.

- Nasir, Abdul Karim Bin Shaikh Abdul. 2013. *Development Of Polyvinylidene Fluoride-Polydimethylsiloxane (PVDF-PDMS) Thin Film Composite (TFC) Membrane For CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Gas Separation*. Diss. Universiti Malaysia Pahang, 2013.
- NEOTEC UV INC. (Editor). 2012. *UV disinfection tank*. Torrance: NEOTEC UV Inc. [http://www.neotecuv.net/eng/product/img/gj\\_02.jpg](http://www.neotecuv.net/eng/product/img/gj_02.jpg) (Diakses 2 Mei 2015 Pukul 08.26 WIB)
- Notoatmodjo, S. 2003. *Pendidikan dan Perilaku Kesehatan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pall Corporation. 2006. *Pall Hollow Fiber Filtration Systems*. United States of America (USA).
- Patil S. G., Chonde S. G., Jadhav A. S., Raut P. D., 2012. *Impact of Physico-Chemical Characteristics of Shivaji University lakes on Phytoplankton Communities*. Kolhapur, India, Research Journal of Recent Sciences 1(2), 56-60.
- PBS&J dan McGuire. 2004. *City of San Diego Water Reuse Study 2005: Water Reuse Goals, Opportunities, and Values*. American Assembly Workshop I. October 6-7, 2004.
- Pengantar Waste Water Reuse*. <http://www.profil.waterindonesia.com/main/wp-content/uploads/2010/06/PENGANTAR-WASTE-WATER-REUSE.pdf> (di akses 13 Desember 2014 Pukul 14:24 WIB)
- Peraturan Gubernur Jawa Barat Nomor 14 Tahun 2013 tentang Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Jawa Barat
- Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

- Pitono, Joko. 2003. *Sumbangan Brantas Untuk Pembangunan Berkelanjutan dalam Seminar Sistem Monitoring Pencemaran Lingkungan Sungai dan Teknologi Pengelolaannya*. LIPI. Bandung
- Prasetyaningtyas, Rizki Ibtida. 2012. *Daur Ulang Effluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Pusat Produksi Minyak dan Gas Bumi CNOOC SES Ltd. Di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu*. Universitas Indonesia.
- Prima, Arif. 2012. *Desain Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik Di Kantor Pusat Pertamina Jalan Medan Merdeka Timur No. 1A*. Universitas Indonesia.
- Purwanto. 2006. *Materi Kuliah Produksi Bersih MIL Universitas Diponegoro*. Semarang
- Putranto, Thomas Triadi., & Kusuma, Kristi I. 2009. *Permasalahan Air Tanah pada Daerah Urban*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, 30(1), 48-56.
- Rao, D. G, R. Senthilkumar, J. Anthony Byrne, and S. Feroz. 2013. *Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies*. IWA. Taylor & Francis Group. UK
- Said, Nusa Idaman. 2009. *Uji Kinerja Pengolahan Air Siap Minum dengan Proses Biofiltrasi, Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis (RO) dengan Air Baku Air Sungai*. Jurnal Air Indonesia, Vol 5 (2).
- Said, Nusa Idaman. 2006. *Daur Ulang Air Limbah (Water Recycle) Ditinjau Dari Aspek Teknologi, Lingkungan, dan Ekonomi*. Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Saunders, Alan. 2012. *Shopping Centre Water Efficiency Report*. HFM Asset Management.
- Sawyer, Clair N, Perry L. McCarty, dan Gene F. Parkin. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. Fifth Edition. Mc Graw Hill. New York
- Schneider, C., P. Johns, and R.P. Huehmer. 2001. *Removal of Manganese by Microfiltration in a Water Treatment Plant*. In Proceedings of the AWWA

- Membrane Technology Conference. Denver, Colo.: American Water Works Association.
- Setiadi, Tjandra. 2007. *Pengolahan dan Penyediaan Air*. Fakultas Teknologi Industri, Insitut Teknologi Bandung.
- Siregar, Sakti. A. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius
- Snape, J. B., Dunn, I. J., Ingham, J., & Prenosil, J. E. 1995. *Dynamics of Environmental Bioprocesses: Modelling & Simulation*. John Wiley & Sons.
- Sorgini, L.T., and C.R. Ashe. 2001. *Implementing the First Surface Water MF System in Massachusetts*. In Proceedings of the AWWA Membrane Technology Conference. Denver, Colo.: American Water Works Association.
- Spellman, Frank R. 2014. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. CRC Press.
- Stoller, M., & Ochando-Pulido, J. M. 2015. *The Boundary Flux Handbook: A Comprehensive Database of Critical and Threshold Flux Values for Membrane Practitioners*. Elsevier.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Cetakan Pertama, UI Press. Jakarta
- Suprihatin. 2009. *Penerapan Air Daur Ulang Di Berbagai Negara*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Thorsen, T. 1998. Flux and recovery influences on treatment efficiency in ultrafiltration of coloured drinking water. *Desalination*, 117(1), 131-138.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luethi, C., Reymond, P., dan Zurbruegg, C. 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition*. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)
- Tripathy, Tridib dan De, Bhudeb Ranjan. 2006. *Flocculation: A New Way to Treat the Waste Water*. Journal of Physical Sciences. Vol. 10, 2006, 93-127.

- United States Environmental Protection Agency (EPA). *Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits*.  
<http://www.epa.gov/region9/water/recycling/> (di akses 13 Desember 2014 Pukul 14:24 WIB)
- Welch, E.B. 1980. *Ecological Effects of Waste Water*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yahya, M. 2012. *Identifikasi Pencemaran Lingkungan Akibat Pembuangan Limbah Domestik di Permukiman Kumuh di Sekitar Kanal Kota Makassar*. Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik, 6(1).

# **LAMPIRAN**

# Hasil Uji Laboratorium Effluen IPAL



PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA  
BADAN PENGELOLA LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
**LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
Jl. Casablanca Kav. 1 Kuningan Telp. 5209651-5209653 Fax. 52960584, e-mail : lhddkijakarta@yahoo.com  
JAKARTA

Kode Pos : 12950

No. Akreditasi : LP - 126 - IDN

## LAPORAN HASIL UJI

Nomor Contoh : 78/ LAB. 2 - LC/III/2015  
Contoh Dari : MITRIA WIDIANINGTIAS  
Alamat : Kampus Baru UI Depok  
Tanggal Penerimaan Contoh : 09 Maret 2015  
Tanggal Pengujian : 09 Maret 2015 - 16 Maret 2015  
Jenis Contoh : Air Limbah  
Tipe Lokasi : Effluent STP

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metoda
1	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	43.78	SNI 6989.72:2009
2	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	49.0	Spektrophotometer
3	Ammonia	mg/L	21.60	SNI 06-6989.30-2005
4	COD	mg/L	164.48	SNI 6989.73:2009
5	Bakteri Koli	Jml/100 mL	>16000	SNI 06-4158-1996

Keterangan :  
Parameter yang tercetak tebal telah diakreditasi oleh KAN

Jakarta, 20 Maret 2015

KEPALA LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
BPLHD PROVINSI DKI JAKARTA  
(Manajer Puncak)

Ir. DIAH RATNA AMBARWATI, M.Si  
NIP 196611291995032001

Catatan : 1. Laporan hasil uji hanya berhubungan dengan contoh yang diuji  
2. Laporan hasil uji tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium

## Hasil Uji Laboratorium Air Limbah SPGT



PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA  
BADAN PENGELOLA LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
**LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
Jl. Casablanca Kav. 1 Kuningan Telp. 5209651-5209653 Fax. 52960584, e-mail : lhddkijakarta@yahoo.com  
JAKARTA

Kode Pos : 12950

No. Akreditasi : LP - 126 - IDN

### LAPORAN HASIL UJI

Nomor Contoh : 0327/ LAB. 2 - LC/II/2015  
Contoh Dari : MITRIA WIDIANINGTIAS  
Alamat : Kampus Baru UI Depok  
Tanggal Penerimaan Contoh : 14 Januari 2015  
Tanggal Pengujian : 14 Januari 2015 - 21 Januari 2015  
Jenis Contoh : Air Limbah  
Tipe Lokasi : SPGT 03

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metoda
1	Ammonia	mg/L	0.48	SNI 06-6989.30-2005
2	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	396.97	SNI 6989.72:2009
3	COD (Dichromat)	mg/L	1545.37	SNI 6989.73:2009
4	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	223.0	Spektrofotometer

Keterangan :  
Parameter yang tercetak tebal telah diakreditasi oleh KAN

Jakarta, *27 Januari 2015*  
KEPALA LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
BPLHD PROVINSI DKI JAKARTA  
(Manajer Puncak)

Ir. DIAH RATNA AMBARWATI, M.Si  
NIP 196611291995032001

Catatan : 1. Laporan hasil uji hanya berhubungan dengan contoh yang diuji  
2. Laporan hasil uji tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium

## Hasil Uji Laboratorium Air Limbah *Sump Pit*



PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA  
BADAN PENGELOLA LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
**LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
Jl. Casablanca Kav. 1 Kuningan Telp. 5209651-5209653 Fax. 52960584, e-mail : llhddkijakarta@yahoo.com  
JAKARTA

Kode Pos : 12950

No. Akreditasi : LP - 126 - IDN

### LAPORAN HASIL UJI

Nomor Contoh : 0328/ LAB. 2 - LC/II/2015  
Contoh Dari : MITRIA WIDIANINGTIAS  
Alamat : Kampus Baru UI Depok  
Tanggal Penerimaan Contoh : 14 Januari 2015  
Tanggal Pengujian : 14 Januari 2015 - 21 Januari 2015  
Jenis Contoh : Air Limbah  
Tipe Lokasi : SWP 04

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metoda
1	Ammonia	mg/L	24.30	SNI 06-6989.30-2005
2	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	111.31	SNI 6989.72:2009
3	COD (Dichromat)	mg/L	469.85	SNI 6989.73:2009
4	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	136.0	Spektrophotometer

Keterangan :  
Parameter yang tercetak tebal telah diakreditasi oleh KAN

Jakarta, 27 Januari 2015

KEPALA LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
BPLHD PROVINSI DKI JAKARTA  
(Manajer Puncak)



Ir. DIAH RATNA AMBARWATI, M.Si  
NIP 196611291995032001

Catatan : 1. Laporan hasil uji hanya berhubungan dengan contoh yang diuji  
2. Laporan hasil uji tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium

## Spesifikasi Unit dan Peralatan Instalasi Daur Ulang

### 1. Membran Ultrafiltrasi

Merek	: Membran UF GDP Tipe S-660
Kapasitas	: 1.250-1.500 liter/jam
Material	: PAN
Jenis Membran	: Cappillary
Dimensi	: Diameter 5 inchi x Panjang 2 m
Harga	: Rp. 5.500.000,-
Jumlah	: 10

### 2. *Housing Cartidge*

Model	: OBFH1-T
Dimensi	: 7 inchi x 17 inchi
Dimensi <i>Housing</i>	: Diameter 219 mm x 650 mm
Koneksi In/Out	: 2 inchi
Harga	: Rp. 4.500.000,-
Jumlah	: 1

### 3. *Housing Membran UF*

Tipe	: <i>Housing Membran</i> FRP 4040 SS
Harga	: Rp. 700.000,-
Jumlah	: 10

### 4. Pompa Sentrifugal Multistage

Tipe	: Grudfos PO256
------	-----------------

Berat : 22 kg  
Tekanan : 4.5 bar  
Daya Hisap : maks 6 meter  
Daya Dorong : maks 47 meter  
Inlet/Outlet : 1 inchi  
Otomatis : Ya  
Harga : Rp. 4.270.000,-  
Jumlah : 1

#### 5. **Pompa Dosing Klorin**

Merek : Pikes SC  
Ukuran Koneksi : 1,5 inch 50 mm  
Daya Input : 1,3 kW  
Tegangan : 50 Hz 220 V  
Tenaga Kuda : 1 HP  
Harga : Rp 1.500.000,-  
Jumlah : 1

#### 6. **Pompa Submersible**

Merek : Orlando  
Kode : PO906  
Berat : 12 kg  
Daya Dorong : maks 70 meter  
Inlet/Outlet : 1 inchi  
Harga : Rp. 5.550.000,-  
Jumlah : 1

### **7. Bak Desinfeksi**

Mutu Beton : K 300  
Volume : 5,3312 m<sup>3</sup>  
AHS : Rp. 953.800,-  
Harga : Rp. 5.084.898,-  
Jumlah : 1

### **8. Bak Penampung**

Mutu Beton : K 300  
Volume : 13,005 m<sup>3</sup>  
AHS : Rp. 953.800,-  
Harga : Rp. 5.084.898,-  
Jumlah : 1

### **9. Valve**

Diameter : 25 mm  
Jumlah : 10  
Harga Satuan : Rp. 84.000,-  
Total Harga : Rp. 840.000,-

### **10. Elbow**

Jumlah : 10  
Harga Satuan : Rp. 12.000,-  
Total Harga : Rp. 120.000,-

### **11. Pipa PVC 1 ½"**

Harga per 4 m : Rp. 45.925,-  
Jumlah : 20 meter  
Total Harga : Rp. 229.625,-

### **12. Pipa PVC 2"**

Harga per 4 m : Rp. 58.600,-  
Jumlah : 20 meter  
Total Harga : Rp 293.000,-

### **13. Lem**

Berat : 400 gram  
Jumlah : 2  
Harga : Rp. 56.600,-

### **14. Pressure Gauge**

Merek : Marsh  
Dial : 4-1/2"  
Connection Size : 1/4"  
Tekanan : 60 psi  
Material : Tembaga dengan *stainless steel case*  
Harga : Rp. 200.000,-  
Jumlah : 2

### **15. Adaptor Pompa**

Merek : Deng Yuan 48 Volt

Ukuran : 8 x 8 x 12 cm  
Berat : 6 kg  
Harga : Rp. 250.000,-  
Jumlah : 3

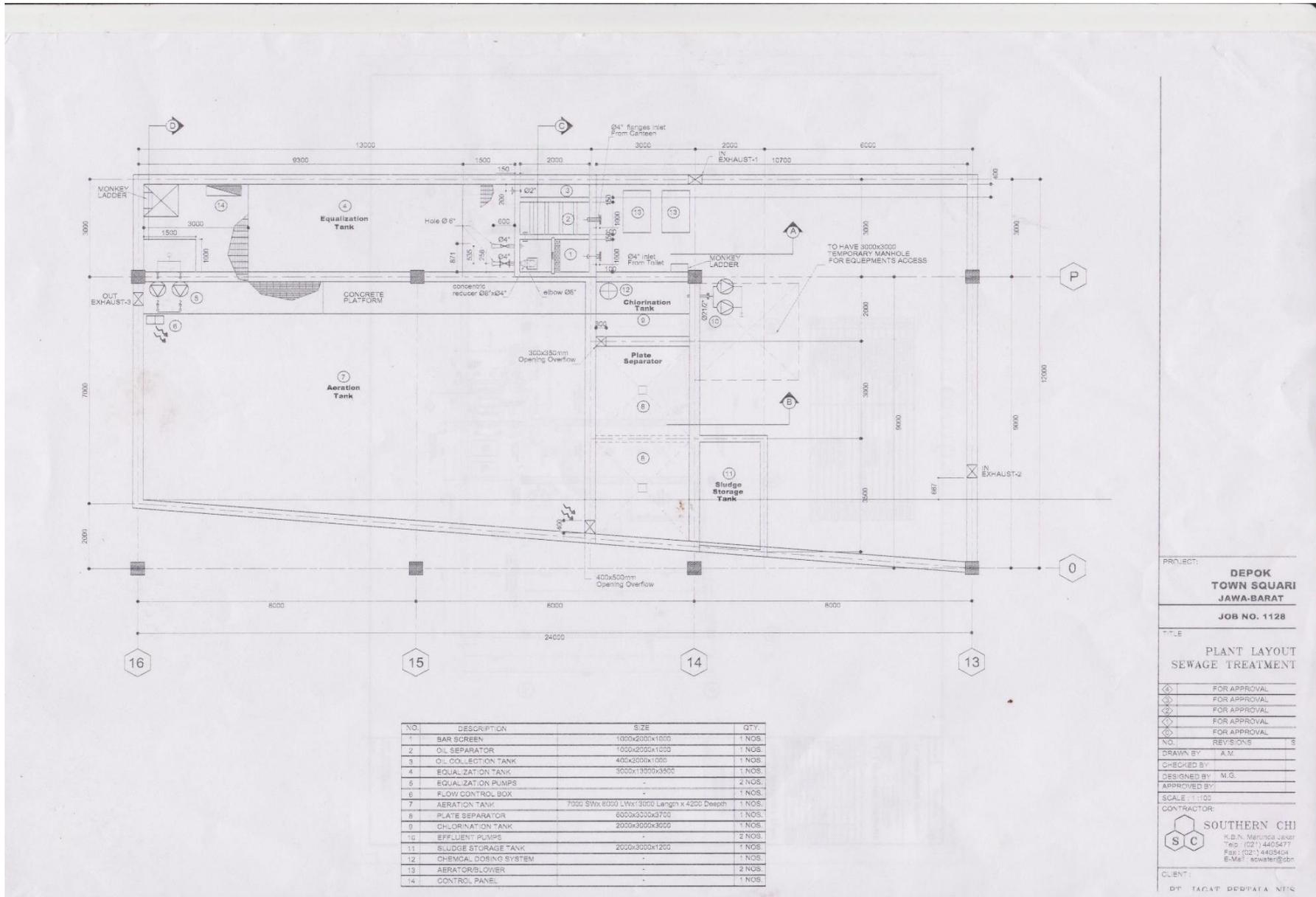
#### **16. Flow Meter**

Ukuran : 3 x 3 x 15 cm  
Berat : 0,4 kg  
Harga : Rp. 225.000,-  
Jumlah : 4

#### **17. TDS Dual Monitor**

Merek : HM Digital Tipe DM-2  
Ukuran : 18 x 12 x 7 cm  
Berat : 0,3 kg  
Harga : Rp. 800.000,-  
Jumlah : 1

# Layout Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Depok Town Square





PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA

Legenda

JUDUL GAMBAR

ULTRAFILTRASI

NAMA DAN NPM

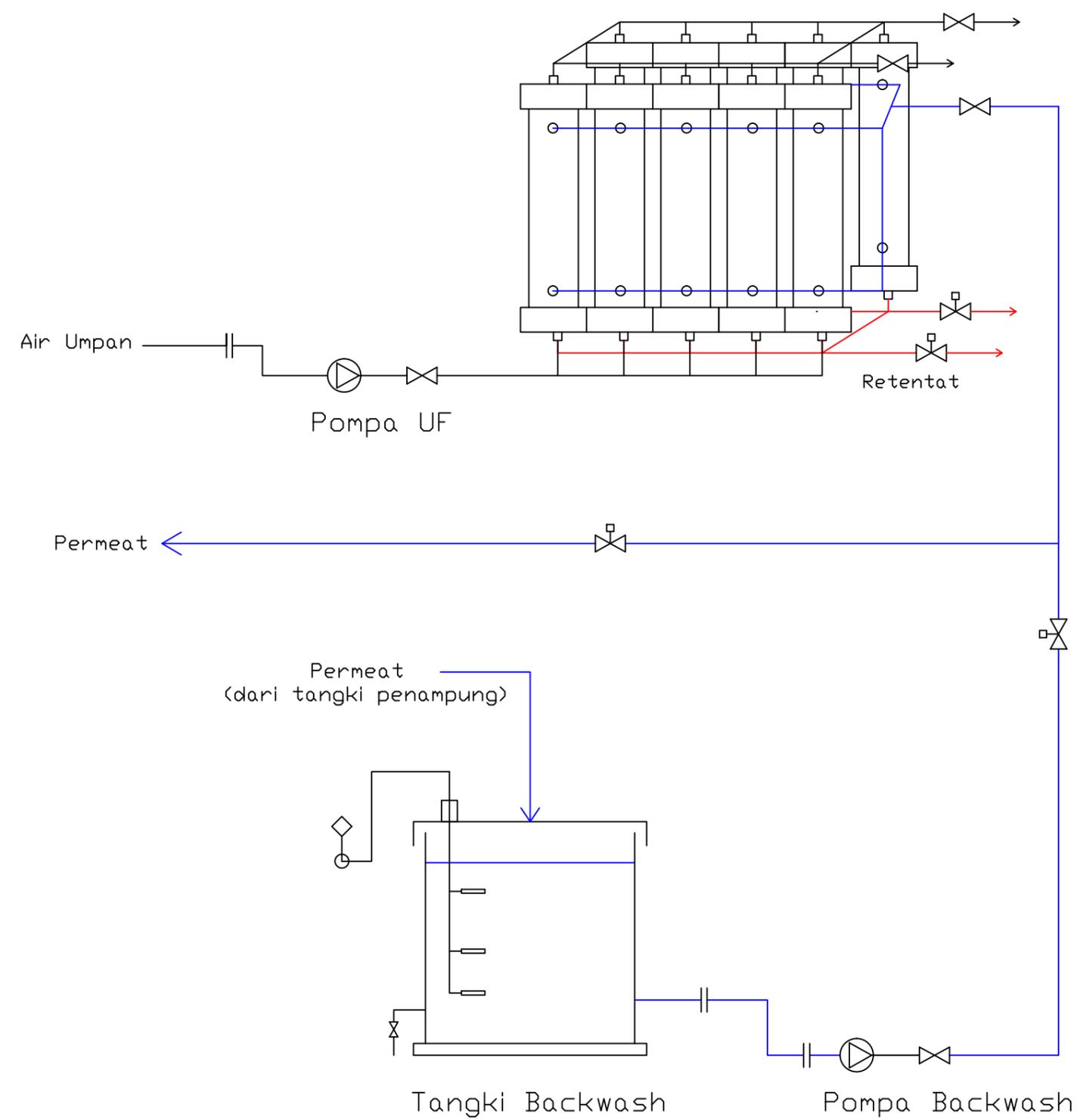
MITRIA WIDIANINGTIAS  
1106005130

TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG  
AIR LIMBAH DOMESTIK  
DI PUSAT PERTOKOAN  
(STUDI KASUS: DEPOK TOWN SQUARE)

SKALA HORIZONTAL	SKALA VERTIKAL	SATUAN
TANPA SKALA	TANPA SKALA	CM
NO. GAMBAR	DIPERIKSA	TANGGAL
1		

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc.

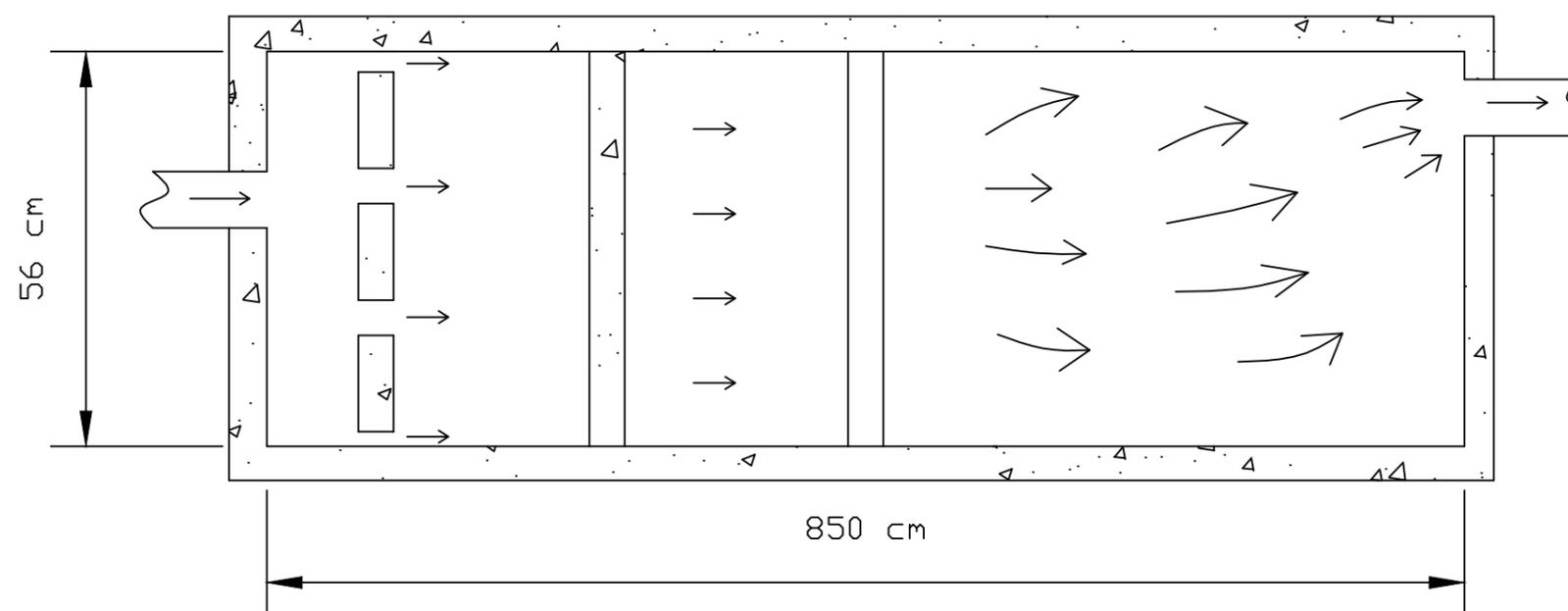
KET.





PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA

Legenda



JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DESINFEKSI

NAMA DAN NPM

MITRIA WIDIANINGTIAS  
1106005130

TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG  
AIR LIMBAH DOMESTIK  
DI PUSAT PERTOKOAN  
(STUDI KASUS: DEPOK TOWN SQUARE)

SKALA HORIZONTAL	SKALA VERTIKAL	SATUAN
1:50	1:10	CM
NO. GAMBAR	DIPERIKSA	TANGGAL
2		

NAMA DOSEN PEMBIMBING

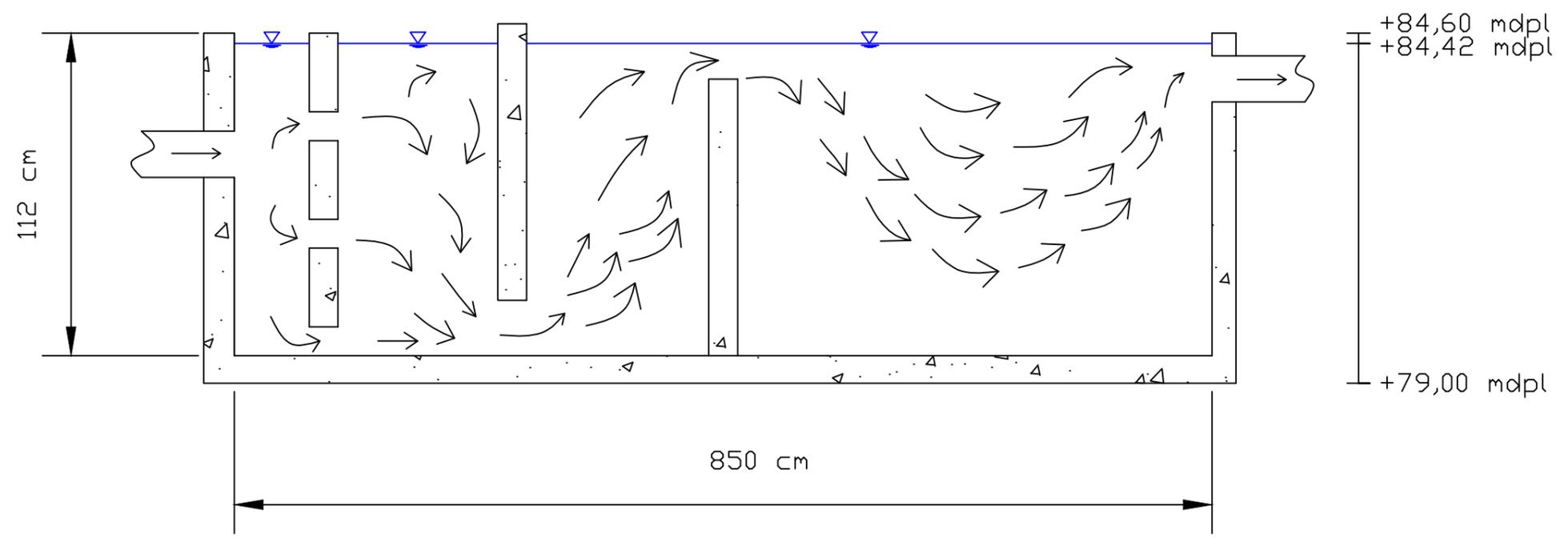
Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc.

KET.



PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA

Legenda



JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING DESINFEKSI

NAMA DAN NPM

MITRIA WIDIANINGTIAS  
1106005130

TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG  
AIR LIMBAH DOMESTIK  
DI PUSAT PERTOKOAN  
(STUDI KASUS: DEPOK TOWN SQUARE)

SKALA HORIZONTAL	SKALA VERTIKAL	SATUAN
1:50	1:20	CM

NO. GAMBAR	DIPERIKSA	TANGGAL
3		

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc.

KET.



PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA

Legenda

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS  
BAK PENAMPUNG

NAMA DAN NPM

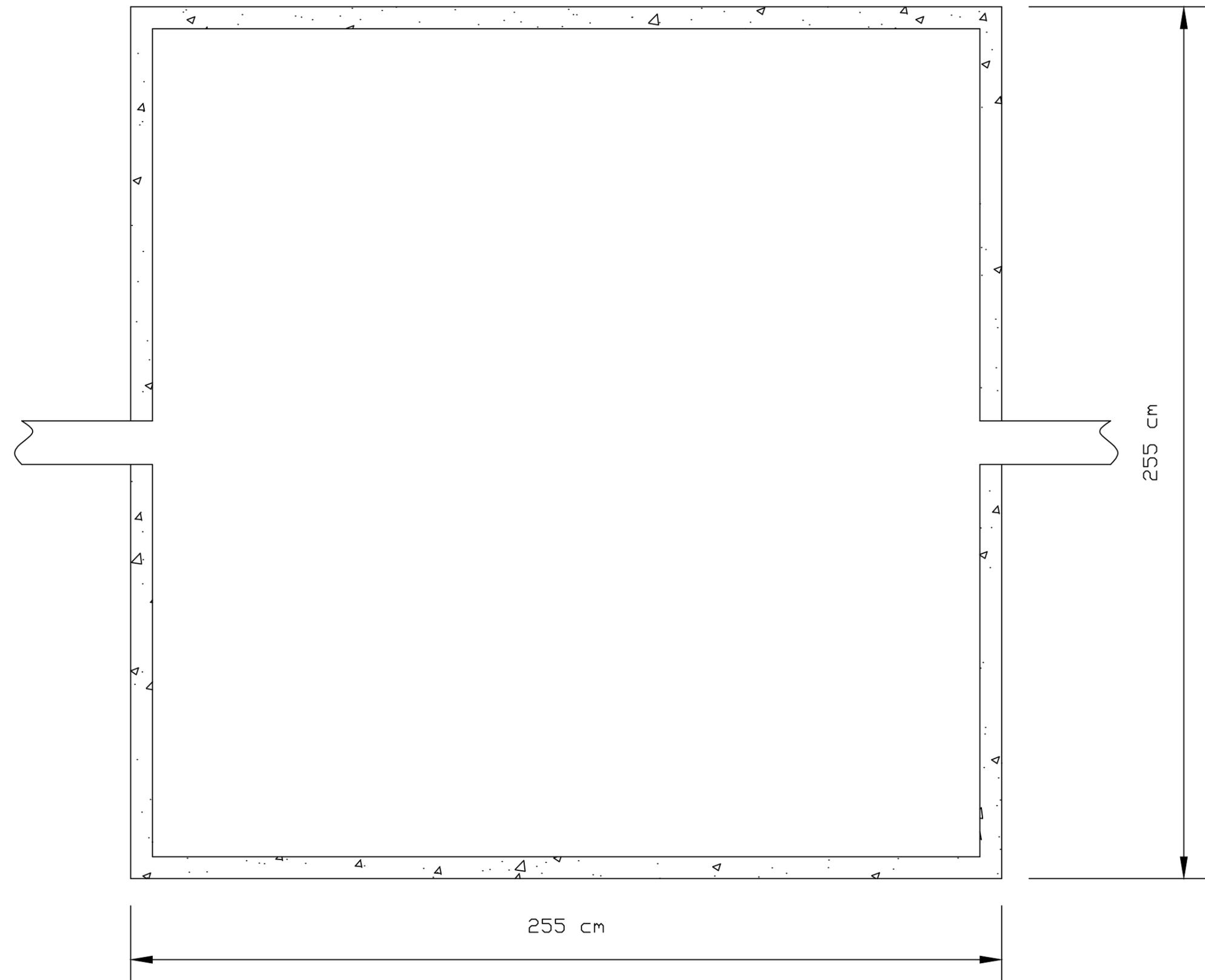
MITRIA WIDIANINGTIAS  
1106005130

TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG  
AIR LIMBAH DOMESTIK  
DI PUSAT PERTOKOAN  
(STUDI KASUS: DEPOK TOWN SQUARE)

SKALA HORIZONTAL	SKALA VERTIKAL	SATUAN
1:12,75	1:12,75	CM
NO. GAMBAR	DIPERIKSA	TANGGAL
4		

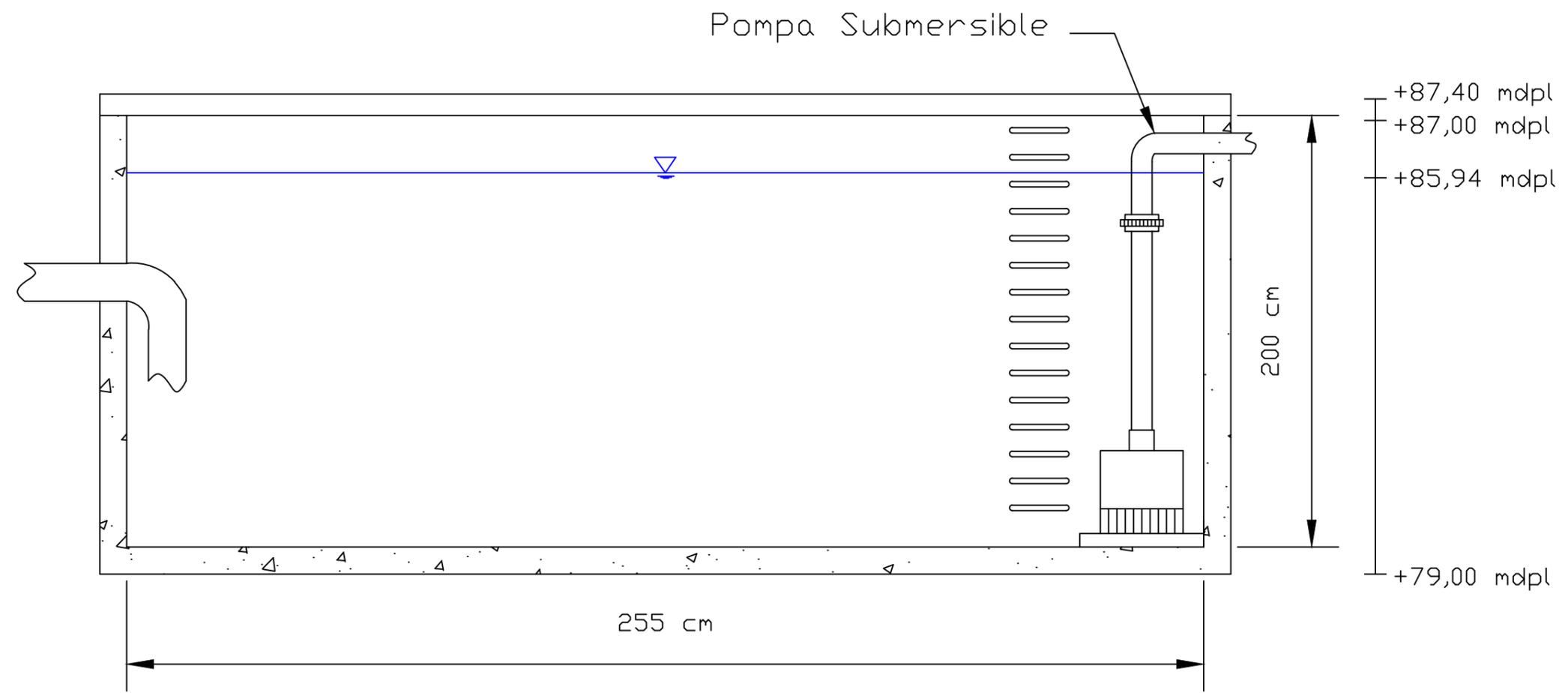
NAMA DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc.

KET.





PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA



Legenda

JUDUL GAMBAR  
TAMPAK SAMPING  
BAK PENAMPUNG  
NAMA DAN NPM  
MITRIA WIDIANINGTIAS  
1106005130  
TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG  
AIR LIMBAH DOMESTIK  
DI PUSAT PERTOKOAN  
(STUDI KASUS: DEPOK TOWN SQUARE)

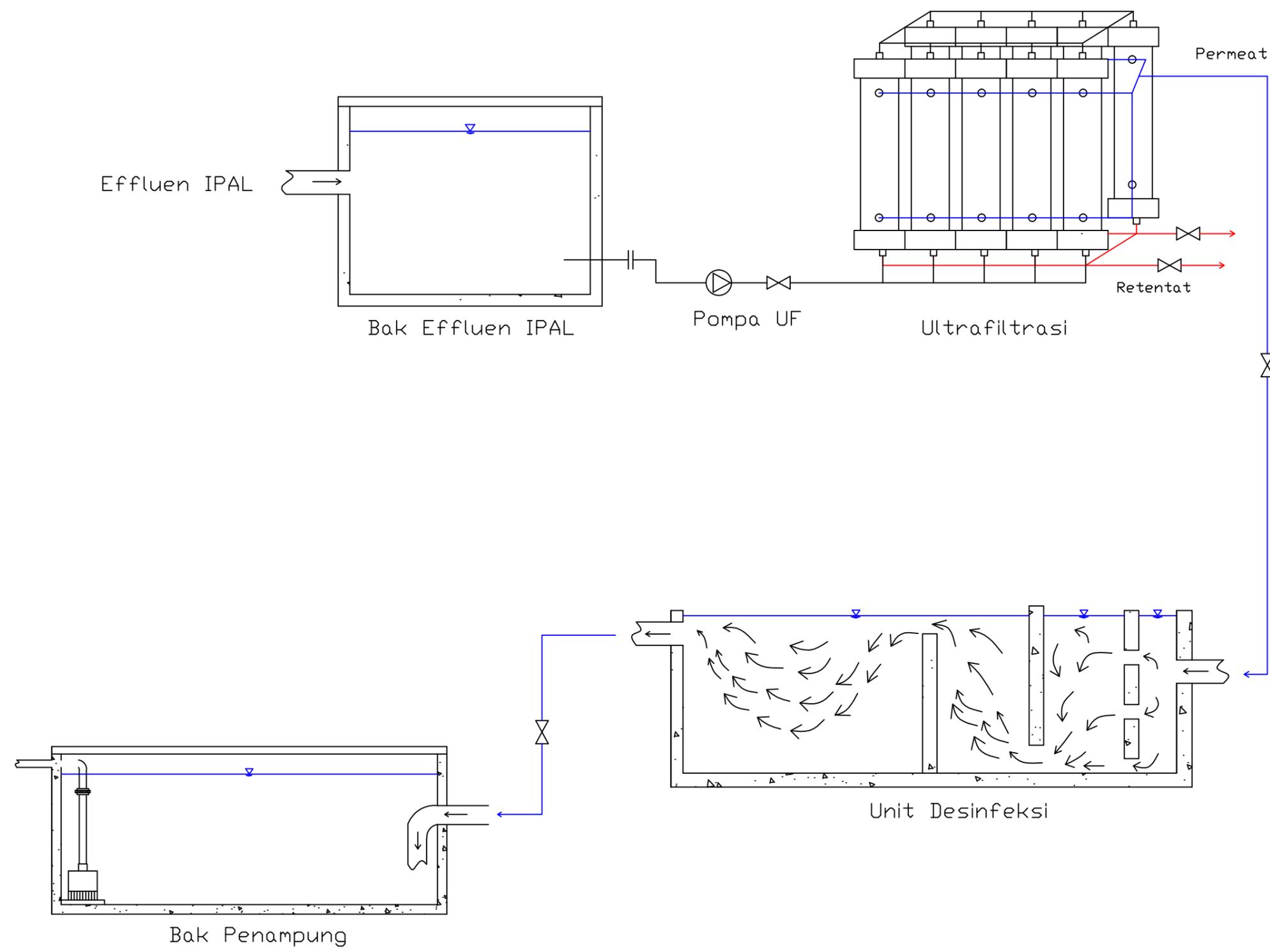
SKALA HORIZONTAL	SKALA VERTIKAL	SATUAN
1:12,75	1:25	CM
NO. GAMBAR	DIPERIKSA	TANGGAL
5		

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc.

KET.



PROGRAM STUDI  
TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA



Legenda

JUDUL GAMBAR  
SKEMA INSTALASI DAUR ULANG  
NAMA DAN NPM  
MITRIA WIDIANINGTIAS  
1106005130  
TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN INSTALASI DAUR ULANG  
AIR LIMBAH DOMESTIK  
DI PUSAT PERTOKOAN  
(STUDI KASUS: DEPOK TOWN SQUARE)

SKALA HORIZONTAL	SKALA VERTIKAL	SATUAN
TANPA SKALA	TANPA SKALA	
NO. GAMBAR	DIPERIKSA	TANGGAL
6		

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc.

KET.