

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DAUR ULANG EFLUEN INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH DOMESTIK PUSAT PRODUKSI MINYAK DAN GAS  
BUMI CNOOC SES Ltd. DI PULAU PABELOKAN,  
KEPULAUAN SERIBU**

**SKRIPSI**

**RIZKI IBTIDA PRASETYANINGTYAS  
0806338891**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**WATER REUSE OF DOMESTIC SEWERAGE TREATMENT  
PLANT EFFLUENT OF OIL AND GAS PRODUCTION  
CENTRE CNOOC SES Ltd. ON PABELOKAN ISLAND,  
KEPULAUAN SERIBU**

**FINAL REPORT**

**RIZKI IBTIDA PRASETYANINGTYAS  
0806338891**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2012**

64/FT.TL.01/SKRIP/7/2012



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DAUR ULANG EFLUEN INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH DOMESTIK PUSAT PRODUKSI MINYAK DAN GAS  
BUMI CNOOC SES Ltd. DI PULAU PABELOKAN,  
KEPULAUAN SERIBU**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Lingkungan**

**RIZKI IBTIDA PRASETYANINGTYAS  
0806338891**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2012**

64/FT.TL.01/SKRIP/7/2012



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**WATER REUSE OF DOMESTIC SEWERAGE TREATMENT  
PLANT EFFLUENT OF OIL AND GAS PRODUCTION  
CENTRE CNOOC SES Ltd. ON PABELOKAN ISLAND,  
KEPULAUAN SERIBU**

**FINAL REPORT**

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

**RIZKI IBTIDA PRASETYANINGTYAS  
0806338891**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas**

**NPM : 0806338891**

**Tanda Tangan : *RI***

**Tanggal : 25 Juni 2012**

## STATEMENT OF ORIGINALITY

**This final report is the result of my own work  
and all sources which are quoted or referred**

**I have stated correctly.**

**Name : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas**

**Student Number : 0806338891**

**Signature : **

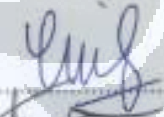
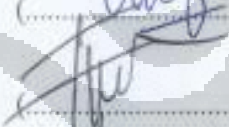


**Date : 25 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas  
NPM : 0806338891  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Daur Ulang Efluen Instalasi Pengolahan Air  
Limbah Domestik (*Sewerage Treatment Plant*)  
Pusat Produksi Minyak dan Gas Bumi CNOOC  
SES Ltd. di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Cindy R. Priadi, S.T., M.Sc. (.....)  
Pembimbing II : Ir. Firdaus Ali, M.Sc., PhD. (.....)  
Penguji I : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M.Eng. (.....)  
Penguji II : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA. (.....)

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

Depok

Tanggal : 25 Juni 2012

## STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report is submitted by :

Name : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas  
Student Number : 0806338891  
Study Program : Environmental Engineering  
Title of Final Report : Water Reuse of Domestic Sewerage Treatment  
Plant Effluent of Oil and Gas Production Centre  
CNOOC SES Ltd. On Pabelokan Island,  
Kepulauan Seribu

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, University of Indonesia.

### COUNCIL EXAMINERS

Counselor I : Dr. Cindy R. Priadi, S.T., M.Sc.

(.....)

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

(.....)

Examiner I : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M.Eng.

(.....)

Examiner II : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA.

(.....)

Approved at : Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,  
University of Indonesia, Depok

Date : June 25<sup>th</sup> 2012



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, akan sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut:

1. Dr. Cindy R. Priadi, ST, MSc., selaku dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Firdaus Ali, MSc., selaku dosen pembimbing 2 yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
3. Kedua orang tua saya, Bapak Ibrahim dan Ibu Eti Purwani, yang berjasa dan berperan dalam hidup saya, atas kasih sayang, dukungan moral dan material yang tak pernah ada habisnya serta ketiga adik saya Thariq, Ilham dan Wafid atas dukungan dan semangat yang diberikan.
4. Bapak Nyoman Darma Adi selaku Head Environment QHSE atas dukungan serta izin dan kemudahan yang diberikan selama penelitian.
5. Bapak Parik Sabungan Sirumapea dan Bapak Arif Rahman Arifin selaku pembimbing selama penelitian di CNOOC SES Ltd. dan Pulau Pabelokan, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi masukan, petunjuk dan penjelasan selama melaksanakan penelitian serta banyak membantu dalam usaha perolehan data yang saya perlukan.
6. Bapak Andhi Setyonugroho, dan Mba Maretha Vilani selaku divisi QHSE CNOOC SES Ltd., atas keramahan dan kesediaannya untuk berdiskusi mengenai penelitian yang saya lakukan.
7. Ibu Banon Madundi dan Bapak Munhami Muntai yang membantu menyediakan fasilitas dan perlengkapan untuk ke Pulau Pabelokan.

8. Bapak Topan Linavaro, Bapak Budi Arsih, Bapak Andri, Bapak Zulkifli Muhiddin atas penjelasan dan kesediaan membantu penulis dalam pengumpulan data mengenai *Sewerage Treatment Plant*, *Water Maker* dan data umum lain selama di Pulau Pabelokan.
  9. Bapak Zain Sandangi, Direktur PT. Inzan Permata yang telah meluangkan waktunya serta mempersilakan saya mengunjungi kantor dan *workshop* untuk berdiskusi mengenai pengolahan daur ulang dan pengaplikasiannya.
  10. Sri Diah Handayani selaku laboran Mikrobiologi Program Studi Teknik Lingkungan FTUI atas bantuan dalam melakukan pengujian sampel air limbah.
  11. Verenia SM, teman seperjuangan penelitian, atas bantuan, kerjasama, diskusi, dan dukungan moral selama setahun ini, sejak persiapan hingga pelaksanaan penelita, serta Syifarahma Ayu dan Maria Winda A., teman satu bimbingan, semoga kita sukses bersama.
  12. Sahabat kos Pondok Putri Asri, Yuliana Sukarmawati, Zahra Aulia Syahidah, Atikah Mutia, Kak Fildzah Izzati, Dwica Wulandari, Maisarah Rizky, dan spesial untuk sahabat TL Rahayu Handayani serta teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan 2008, sebagai keluarga baru saya selama empat tahun yang telah melewati bersama semua fase kehidupan sebagai mahasiswa, atas segala bantuan, semangat dan dukungan moral yang diberikan sejak awal kuliah hingga tahun terakhir.
- Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas  
NPM : 0806338891  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

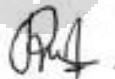
**Daur Ulang Efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Pusat Produksi Minyak dan Gas Bumi CNOOC SES Ltd. di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 25 Juni 2012

Yang menyatakan



( Rizki Ibtida Prasetyaningtyas )

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

---

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

Name : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas  
Student Number : 0806338891  
Study Program : 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:

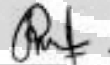
**Water Reuse of Domestic Sewerage Treatment Plant Effluent of Oil and Gas Production Centre CNOOC SES Ltd. On Pabelokan Island, Kepulauan Seribu**

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.

Signed at : Depok  
Date this : June 25<sup>th</sup>, 2012

The Declarer



(Rizki Ibtida Prasetyaningtyas)

## ABSTRAK

Nama : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Daur Ulang Efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik  
Pusat Produksi Minyak dan Gas Bumi CNOOC SES Ltd. di  
Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu

CNOOC SES Ltd. yang merupakan perusahaan minyak lepas pantai dengan pusat produksi di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu memanfaatkan desalinasi air laut sebagai sumber air bersih dengan teknologi *reverse osmosis*. Peningkatan kebutuhan air secara pesat dan penurunan kualitas sumber menuntut adanya usaha untuk mendukung penyediaan air bersih yang berkelanjutan dan salah satunya adalah dengan daur ulang air limbah domestik. Alternatif ini dapat menjadi pemenuhan kebutuhan air di lokasi tersebut untuk mensubstitusi penggunaan air laut dengan tujuan mencegah pencemaran, konservasi air serta menghemat biaya pengolahan. Dari neraca air diperoleh masing-masing konsumsi sebesar 59,3 m<sup>3</sup>/hari, 144 m<sup>3</sup>/hari, dan 34,3 m<sup>3</sup>/hari. Dari hasil pemeriksaan di laboratorium diperoleh kualitas efluen IPAL eksisting untuk beberapa parameter seperti BOD<sub>5</sub> 21,0 mg/l; TDS 243 mg/l; TSS 12,3 mg/l; COD 42,5 mg/l; amonia 6,87 mg/l dan *fecal coliform* lebih dari 1600 MPN/100 ml. Beberapa potensi daur ulang limbah cair domestik di Pulau Pabelokan diantaranya untuk penggelontoran toilet, penyiraman taman, serta tower pendingin (*cooling tower*). Target kualitas air daur ulang mengacu pada kualitas air kelas dua berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, sehingga parameter yang harus diturunkan adalah BOD<sub>5</sub>, COD dan amonia. Untuk mencapai target kualitas tersebut dibutuhkan pengolahan lanjutan sebagai pengolahan daur ulang dengan alternatif unit ultrafiltrasi dan *reverse osmosis*. Berdasarkan metode pembobotan dengan aspek teknis dan biaya unit yang dipilih adalah ultrafiltrasi dengan *pretreatment* filter karbon aktif serta ultraviolet sebagai unit disinfeksi.

Kata Kunci:

Air Limbah Domestik, Daur Ulang, Kualitas Air, Pembobotan, Ultrafiltrasi

## ABSTRACT

Name : Rizki Ibtida Prasetyaningtyas  
Study Program : Environmental Engineering  
Title : Water Reuse of Domestic Sewerage Treatment Plant Effluent of Oil and Gas Production Centre CNOOC SES Ltd. On Pabelokan Island, Kepulauan Seribu.

CNOOC SES Ltd, which is an offshore oil company with production center location in Pabelokan Island, uses seawater as the source of clean water by desalination water using reverse osmosis technology. The rapid increase in water demand and water resource degradation require efforts to support sustainable provision of clean water and one of them is domestic waste water reuse. Water reuse is an alternative to provide the water needs to substitute the use of sea water in order to prevent pollution, water conservation and save on processing costs. Effluent wastewater qualities from laboratory tests for several parameters such as BOD<sub>5</sub> is 21,0 mg/l; TDS is 242 mg/l; TSS is 12,3 mg/l; COD is 42,5 mg/l; ammonia is 6,87 mg/l; and fecal coliform is over 1600 MPN/ 100 ml. The potential of water reuse in Pabelokan Island are for toilets flushing, gardens watering, and cooling water. Consumptions of water reuse obtained from water balance are 59,3 m<sup>3</sup>/day, 144 m<sup>3</sup>/day, and 34,3 m<sup>3</sup>/day. The quality target of water reuse refers to water quality class two based on Government Regulation No. 82 of 2001, so the parameter should be derived are BOD<sub>5</sub>, COD and ammonia. Ultrafiltration and *reverse osmosis* are tertiary treatments alternatives used as water reuse treatment. Weighting parameter consists of technical and cost aspects, the unit chosen as water reuse treatment is ultrafiltration with activated carbon filter as pretreatment and ultraviolet as disinfection.

Keyword:

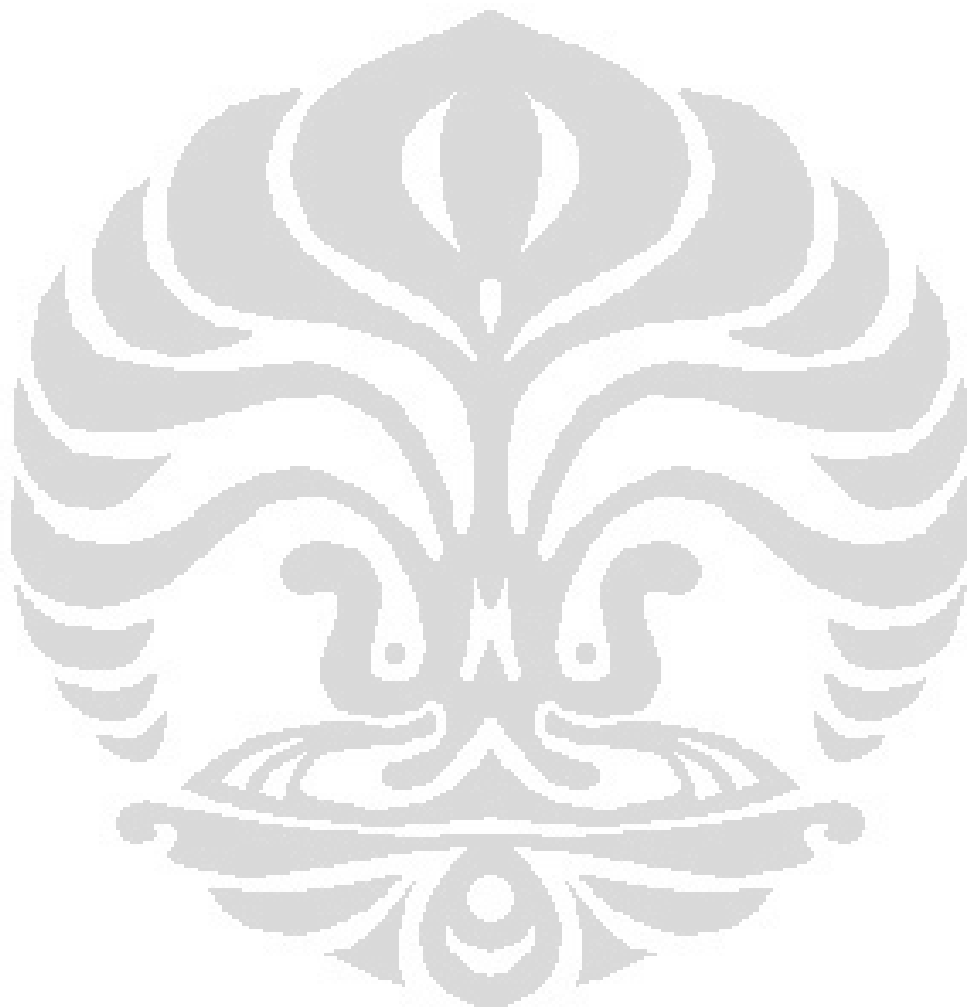
Domestic Waste Water, Water Reuse, Water Quality, Weighting Method, Ultrafiltration



2.4.1.7	Kategori Ketujuh : Kebutuhan <i>Potable</i> .....	24
2.4.2	Daur Ulang di Berbagai Negara .....	24
2.4.2.1	Amerika Serikat .....	25
2.4.2.2	Jepang.....	25
2.4.2.3	Australia .....	26
2.4.2.4	Singapura.....	26
2.5	Desain Daur Ulang Limbah Cair Domestik.....	28
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1	Pendekatan Penelitian.....	31
3.2	Variabel Penelitian .....	31
3.3	Kerangka Penelitian.....	31
3.4	Pengumpulan Data.....	33
3.4.1	Data Sekunder .....	33
3.4.2	Data Primer .....	34
3.4.2.1	Metode Pengambilan Sampel .....	34
3.4.2.2	Waktu Pengambilan sampel .....	34
3.4.2.3	Pengujian Sampel .....	34
3.5	Pengolahan dan Analisis Data.....	35
3.5.1	Kebutuhan Daur Ulang .....	35
3.5.2	Desain Instalasi Pengolahan Daur Ulang.....	37
3.5.3	Analisis Studi Pengolahan Daur Ulang .....	42
3.5.3.1	Parameter Kelayakan .....	42
3.5.3.2	Pembobotan .....	42
3.6	Rekomendasi Aplikasi dan Desain Pengolahan Daur Ulang .....	44
3.7	Lokasi dan Waktu Penelitian .....	44
<b>BAB 4</b>	<b>GAMBARAN UMUM LOKASI.....</b>	<b>46</b>
4.1	Gambaran Umum CNOOC SES Ltd. Pulau Pabelokan .....	46
4.2	Tenaga Kerja .....	49
4.3	Penyediaan Air Bersih .....	50
4.3.1	Instalasi Pengolahan Air bersih.....	50
4.3.2	Pemakaian Air Bersih.....	52
4.4	Pengolahan Limbah Cair Domestik.....	53
4.5	Potensi dan Pertimbangan Daur Ulang .....	58
<b>BAB 5</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>59</b>
5.1	Desalinasi Air Laut Pulau Pabelokan .....	59
5.2	Efluen <i>Sewerage Treatment Plant</i> Pulau Pabelokan .....	62
5.3	Neraca Air .....	67
5.4	Daur Ulang.....	71
5.5	Pengolahan Daur Ulang.....	76
5.6	Pembobotan.....	94
5.7	Rencana Anggaran Biaya Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik.....	98
5.7.1	Biaya Investasi dan Operasional Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik .....	98
5.7.2	Perbandingan Biaya Air Daur Ulang dan Desalinasi Air Laut 100 .....	101
5.8	Potensi Daur Ulang Air Hujan .....	101
<b>BAB 6</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>104</b>
6.1	Kesimpulan .....	104



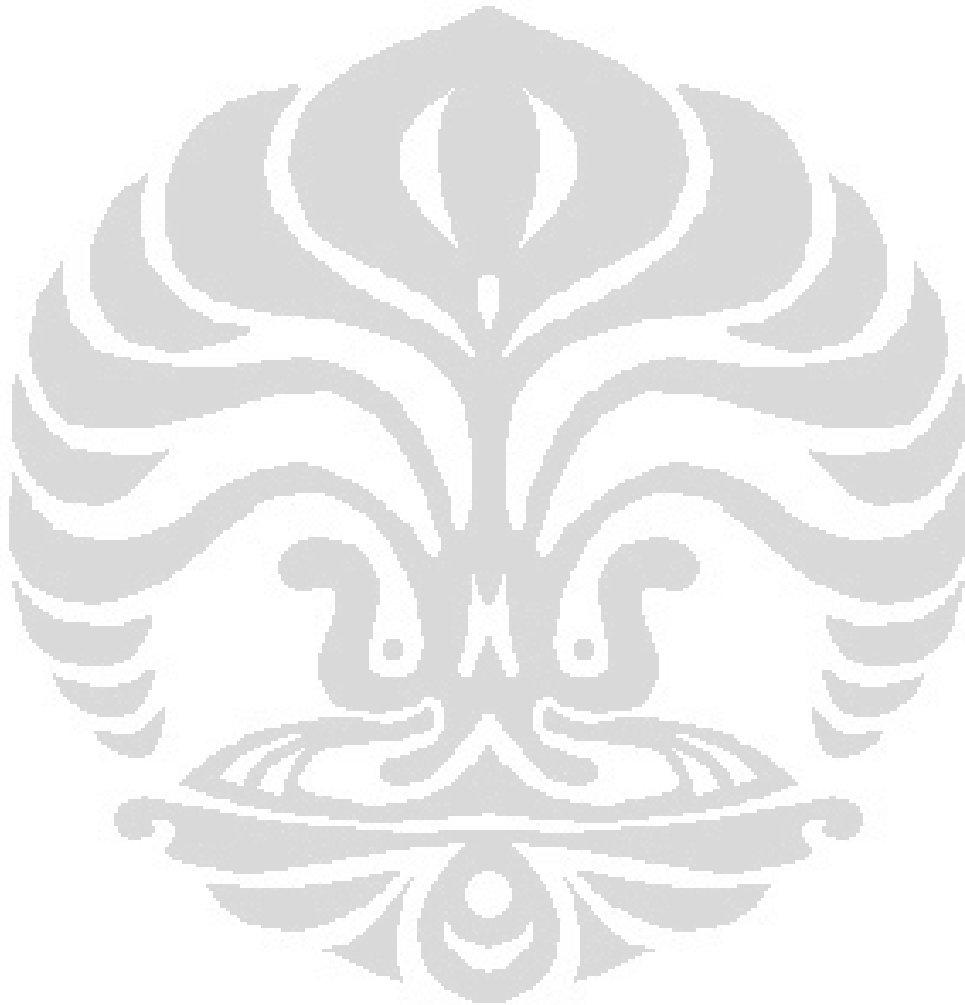
6.2 Saran .....	105
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>106</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>114</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perkiraan Volume Aliran Limbah Cair dan Beban BOD dari Berbagai Jenis Bangunan .....	7
Tabel 2.2	Kualitas Kimia Limbah Cair Domestik.....	10
Tabel 2.3	Konstituen Mineral pada Limbah Cair Domestik.....	11
Tabel 2.4	Baku Mutu Badan Air Penerima.....	12
Tabel 2.5	Kualitas Biologis Limbah Cair Domestik.....	14
Tabel 2.6	Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Irigasi Pertanian .....	19
Tabel 2.7	Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Pengairan Lansekap dan Taman.....	20
Tabel 2.8	Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Industri.....	21
Tabel 2.9	Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Pengisian Air Tanah .....	22
Tabel 2.10	Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Keperluan Rekreasi serta Pemeliharaan Lingkungan.....	23
Tabel 2.11	Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Fungsi Perkotaan ( <i>Nonpotable</i> ).....	24
Tabel 2.12	Daur Ulang Air Limbah di Jepang Tahun 1993 .....	26
Tabel 2.13	Jenis Unit Operasi dan Proses Pengolahan Lanjutan.....	29
Tabel 3.1	Data Sekunder Penelitian .....	33
Tabel 3.2	Metode Pengujian Parameter.....	35
Tabel 3.3	Tabel Opsi Daur Ulang .....	36
Tabel 3.4	Tabel Persentase Penyisihan Konstituen.....	37
Tabel 3.5	Jadwal Penelitian .....	45
Tabel 4.1	Jumlah Tenaga Kerja CNOOC SES Ltd. Tahun 2011 .....	49
Tabel 4.2	Kapasitas Tangki Penyimpanan Air.....	53
Tabel 4.3	Kualitas Air Desalinasi .....	53
Tabel 5.1	Produksi dan Pemakaian Air Bulan Januari 2012 .....	60
Tabel 5.2	Penggunaan Air Bersih Rata-Rata per Hari .....	62
Tabel 5.3	Hasil Pemeriksaan <i>Fecal Coliform</i> .....	66
Tabel 5.4	Kualitas Efluen STP.....	67
Tabel 5.5	Kebutuhan Air Untuk Mandi.....	68
Tabel 5.6	Kebutuhan Air Untuk Penyiraman Taman.....	68
Tabel 5.7	Kebutuhan Air untuk Kebersihan.....	68
Tabel 5.8	Kebutuhan Air Untuk <i>Flushing</i> .....	68
Tabel 5.9	Debit Kebutuhan Air Daur Ulang.....	72
Tabel 5.10	Target Kualitas dan Removal Pengolahan Daur Ulang .....	76
Tabel 5.11	Penentuan Kapasitas Unit Ekuivalen.....	77
Tabel 5.12	Ketentuan Desain kontaktor GAC .....	80
Tabel 5.13	Efisiensi Unit Pengolahan dan Kualitas Efluen.....	82
Tabel 5.14	Absorbansi Air.....	86
Tabel 5.15	Efisiensi Unit Pengolahan dan Kualitas Efluen.....	88
Tabel 5.16	Penentuan Kapasitas Tangki Penampung .....	92
Tabel 5.17	Bobot Parameter .....	95
Tabel 5.18	Skor Kesesuaian Parameter Efisiensi <i>Removal</i> Unit .....	95
Tabel 5.19	Skor Kesesuaian Efisiensi <i>Removal</i> Ultrafiltrasi.....	96

Tabel 5.20 Skor Kesesuaian Efisiensi <i>Removal Reverse Osmosis</i> .....	96
Tabel 5.21 Skor Kesesuaian Biaya Unit.....	97
Tabel 5.22 Ringkasan Pembobotan Parameter Unit.....	98
Tabel 5.23 Perincian Biaya Pengadaan Unit Pengolahan Daur Ulang Air Limbah Domestik .....	99
Tabel 5.24 Biaya Operasional Instalasi Daur Ulang Air Limbah .....	100
Tabel 5.25 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Kepulauan Seribu.....	102

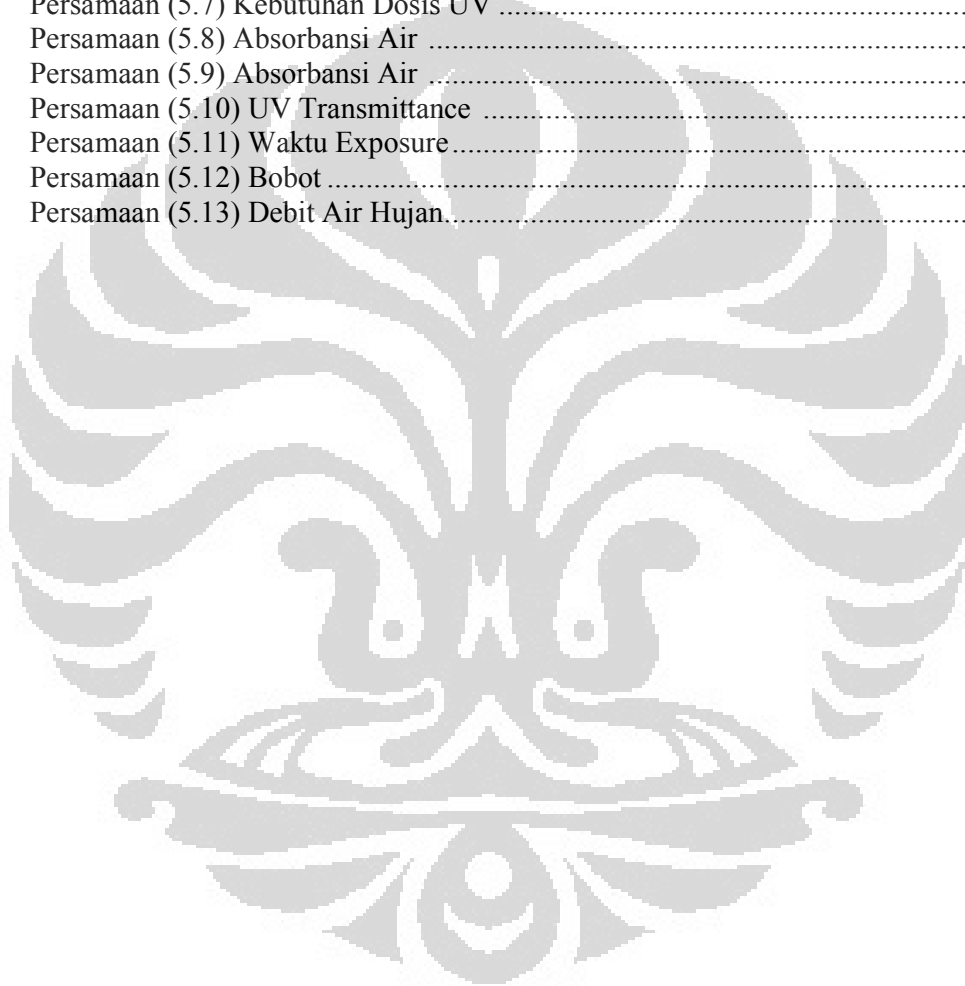


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Alur Pengolahan Daur Ulang Limbah Cair.....	30
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian.....	32
Gambar 3.2	Neraca Air dan Presentase Kebutuhan di <i>Living Quarter</i> CNOOC SES Ltd. ....	36
Gambar 3.3	Alternatif Pengolahan Daur Ulang .....	41
Gambar 4.1	Peta Wilayah Kerja BP Migas – CNOOC SES Ltd.....	46
Gambar 4.2	Pulau Pabelokan Tampak Barat dan Selatan.....	47
Gambar 4.3	Layout Pulau Pabelokan .....	48
Gambar 4.4	Diagram Alir Desalinasi Unit <i>Reverse Osmosis</i> .....	51
Gambar 4.5	Diagram Alir Unit <i>Backwash Reverse Osmosis</i> .....	51
Gambar 4.6	Diagram <i>Sewerage Treatment Plant</i> Pulau Pabelokan.....	54
Gambar 4.7	<i>Grease Trap</i> .....	54
Gambar 4.8	Ash Tank.....	55
Gambar 4.9	Tangki Aerasi .....	56
Gambar 4.10	<i>Abiotech Tank</i> dan Tangki Nutrisi .....	57
Gambar 4.11	<i>Activated Carbon Filter</i> .....	57
Gambar 5.1	Neraca Air Eksisiting.....	70
Gambar 5.2	Neraca Air Daur Ulang.....	73

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (5.1) Massa Jenis Activated Carbon.....	79
Persamaan (5.2) Massa Activated Carbon.....	79
Persamaan (5.3) Laju Penggunaan Karbon .....	79
Persamaan (5.4) Volume Air yang Diolah .....	80
Persamaan (5.5) Umur Bed .....	80
Persamaan (5.6) Daya Pompa per Jam.....	82
Persamaan (5.7) Kebutuhan Dosis UV .....	83
Persamaan (5.8) Absorbansi Air .....	84
Persamaan (5.9) Absorbansi Air .....	84
Persamaan (5.10) UV Transmittance .....	84
Persamaan (5.11) Waktu Exposure.....	85
Persamaan (5.12) Bobot .....	96
Persamaan (5.13) Debit Air Hujan.....	101



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.....	108
LAMPIRAN 2.....	111
LAMPIRAN 3.....	113
LAMPIRAN 4.....	118
LAMPIRAN 5.....	123



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin bertambahnya jumlah populasi mengakibatkan limbah cair domestik menjadi permasalahan yang terus berkembang. Limbah cair domestik jika tidak diolah akan mengakibatkan pencemaran pada badan air sehingga akan kehilangan fungsi sebagai sumber air sekaligus menjadi sumber penyakit epidemik yang berbahaya. Limbah cair domestik mempunyai karakteristik konsentrasi materi organik dan *suspended solid* yang tinggi, mikroorganisme seperti bakteri *faecal* yang tidak terhitung serta kandungan BOD yang tinggi, sehingga sangat berbahaya bagi lingkungan. Limbah harus diolah agar memenuhi persyaratan baku mutu air buangan.

Peningkatan kebutuhan air secara pesat dan penurunan kualitas sumber air akibat dari peningkatan jumlah penduduk, laju urbanisasi dan perkembangan industri, menuntut adanya usaha untuk mendukung penyediaan air bersih yang berkelanjutan. Salah satu teknologi yang dikembangkan dan telah diaplikasikan adalah daur ulang air limbah domestik atau *wastewater reuse*. Menurut Permen PU Nomor 06/PRT/M/2011, daur ulang air limbah adalah upaya pemrosesan air buangan yang berasal dari rumah tangga, kelompok pengguna dalam jumlah besar, hotel, rumah sakit, industri dan penggunaan air lainnya sehingga dapat digunakan kembali sesuai keperluan.

Faktor-faktor berikut dapat menjadi motivasi atau alasan digunakannya air daur ulang (Suprihatin, 2009, h.5):

1. Tidak tersedianya cukup sumber air yang berkualitas tinggi dengan biaya terjangkau.
2. Untuk meminimumkan biaya infrastruktur, termasuk biaya pengolahan dan biaya pembuangan air limbah.
3. Untuk mereduksi dan meminimalisasi biaya pembuangan air limbah (baik yang sudah atau belum diolah) ke lingkungan.
4. Mengurangi air limbah yang dibuang ke badan air.
5. Untuk mengelola sumber air *in-situ*.

6. Untuk memenuhi tuntutan masyarakat, institusi dan politis.

Daur ulang air limbah (*wastewater reuse*) sebenarnya memiliki rentang aplikasi fungsi yang sangat luas. Mulai dari aplikasi paling sederhana, yaitu untuk menyiram tanaman dan irigasi sampai aplikasi paling tinggi yaitu sebagai air minum. Luasnya rentang aplikasi *wastewater reuse* ini membuat rentang teknologi yang bisa digunakan pun cukup luas. Hal ini karena setiap aplikasi *wastewater reuse* membutuhkan standar kualitas air yang tidak sama yang berarti menuntut teknologi pengolahan yang berbeda pula.

Untuk meningkatkan kualitas efluen dibutuhkan pengolahan tambahan, yang dikenal sebagai pengolahan tersier atau pengolahan tingkat lanjut (*advanced wastewater treatment*). Pengolahan tersier umumnya dapat mengurangi lebih dari 99 persen polutan dari air limbah dan dapat menghasilkan efluen dengan kualitas yang baik. Proses pengolahan tersier yang biasa diterapkan antara lain penghilangan fosfor (secara kimia maupun biologis), penghilangan nitrogen, perbaikan efluen dengan koagulasi flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi untuk mendestruksi mikroorganisme patogen.

Penerapan daur ulang perlu memperhatikan beberapa aspek. Menurut perencanaan dan implementasi, pemanfaatan kembali air limbah selalu mempertimbangkan sistem pengolahan limbah yang diperlukan dan keterpercayaannya untuk memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Aspek penting yang ditinjau dalam pemanfaatan kembali air limbah, selain potensi terjadinya pencemaran lingkungan adalah pertimbangan kesehatan. Kemudian perlu dipertimbangkan unit-unit proses yang tepat untuk menekan kemungkinan dampak kesehatan dan pencemaran dari kontaminan yang terbawa dalam air limbah.

Chinese National Oil Offshore Company South East Sumatra Limited (CNOOC SES Ltd.) adalah salah satu perusahaan minyak bumi lepas pantai yang berlokasi di Pulau Seribu. Daur ulang air limbah domestik perlu dikembangkan karena dalam pemenuhan kebutuhan air bersih, CNOOC SES Ltd. melakukan desalinasi air laut dengan *reverse osmosis*. Daur ulang air limbah atau *wastewater reuse* dapat dijadikan alternatif karena dari segi investasi dan biaya jika dibandingkan dengan teknologi proses menawarkan air laut (*sea water*



*desalination*), mendaur ulang air limbah jauh lebih murah dan membutuhkan energi yang lebih rendah.

Dengan usaha daur ulang efluen pengolahan limbah, CNOOC SES Ltd. tidak hanya mewujudkan upaya pencegahan pencemaran lingkungan oleh air limbah, tetapi juga dapat berkontribusi terhadap konservasi sumber daya air.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penelitian ini mencakup beberapa perumusan masalah yang harus diketahui yaitu:

1. Bagaimana kualitas efluen instalasi pengolahan air limbah eksisting di CNOOC SES Ltd. Pulau Pabelokan ?
2. Apa solusi daur ulang air limbah di CNOOC SES Ltd. Pulau Pabelokan berdasarkan pertimbangan kelayakan teknologi dan biaya pengolahan daur ulang?
3. Bagaimana desain pengolahan lanjutan efluen instalasi pengolahan air limbah untuk memenuhi kebutuhan daur ulang?

## **1.1 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengkaji kualitas efluen instalasi pengolahan air limbah eksisting di CNOOC SES Ltd., Pulau Pabelokan.
2. Menawarkan solusi daur ulang air limbah di CNOOC SES Ltd., Pulau Pabelokan.
3. Menentukan desain pengolahan lanjutan efluen instalasi pengolahan air limbah untuk memenuhi kebutuhan daur ulang.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Setelah melakukan penelitian ini, diharapkan agar dapat dilakukan daur ulang terhadap efluen instalasi pengolahan air limbah untuk kepentingan produksi ataupun kebutuhan air domestik sehingga meminimalisir air yang terbuang dan mengurangi pencemaran yang ditimbulkan. Dengan ini, diharapkan CNOOC SES

Ltd. dapat terus menjadi perusahaan yang terdepan dalam pengelolaan lingkungan dan pemberdayaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

#### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Dalam melakukan penelitian, terdapat ruang lingkup yang menjadi batasan-batasannya, yaitu:

1. Penelitian dilakukan di area pusat pengolahan minyak bumi CNOOC SES Ltd. di Pulau Pabelokan.
2. Pengambilan dan pengujian sampel outlet instalasi pengolahan limbah domestik CNOOC SES Ltd. Pulau Pabelokan.
3. Analisa sampel yang diuji untuk parameter pH, TSS, TDS, BOD, COD, amonia dan *fecal coliform*.
4. Analisis pemilihan aplikasi daur ulang menggunakan metode pembobotan dengan mempertimbangkan studi kelayakan.
5. Desain unit instalasi untuk daur ulang efluen pengolahan limbah.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Secara garis besar, sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

##### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

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

Berisi teori-teori yang mendasari penelitian meliputi pengolahan limbah cair dan daur ulang limbah cair. Teori-teori yang dibahas adalah teori mengenai limbah cair domestik yang meliputi definisi, sumber, karakteristik limbah, teori tentang pengolahan limbah meliputi dasar hukum pengolahan limbah, tingkat pengolahan limbah cair domestik, dan teori tentang daur ulang limbah cair meliputi latar belakang daur ulang, aplikasi daur ulang dan standarnya, penerapan daur ulang di berbagai negara serta desain pengolahan daur ulang limbah cair.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Berisi langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari kerangka penelitian, hingga penjelasan untuk tiap tahapan penelitian yang berawal dari pengumpulan data, pengolahan dan analisis data dengan metode pembobotan hingga penentuan daur ulang beserta desain pengolahannya.

### **BAB 4 GAMBARAN UMUM LOKASI**

Dalam bab ini dibahas mengenai gambaran umum Pulau Pabelokan, yang terdiri dari letak atau lokasi, tenaga kerja, pengolahan air bersih yaitu desalinasi air laut, instalasi pengolahan air limbah serta infratraktur lainnya.

### **BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi data hasil penelitian yang diperoleh seperti kebutuhan air bersih dan kualitas air limbah. Pembahasan atau analisis dibagi menjadi analisis kebutuhan air bersih, kualitas air limbah, neraca air, desain dan pemilihan unit daur ulang dengan metode pembobotan, perhitungan biaya perencanaan pembangunan instalasi daur ulang, serta perbandingan biaya air daur ulang dengan air hasil desalinasi air laut.

### **BAB 6 PENUTUP**

Berisi kesimpulan mengenai daur ulang air limbah di Pulau Pabelokan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Limbah Cair Domestik

##### 2.1.1 Definisi Limbah Cair Domestik

Tchobanoglous & Eliassen (1979) membedakan limbah cair menjadi 4 komponen yaitu limbah cair domestik (*domestic wastewater*), limbah cair industri (*industrial wastewater*), rembesan dan luapan (*infiltration and inflow*), dan air hujan (*storm water*).

Berbagai sumber menjelaskan tentang pengertian limbah cair domestik dalam batasan yang berbeda. Berikut adalah definisi limbah cair domestik menurut beberapa sumber:

1. Metcalf & Eddy, 2003  
Limbah yang berasal dari pemukiman, institusi, komersial, dan fasilitas lainnya.
2. Environmental Protection Agency  
Air yang membawa bahan padat terlarut atau suspensi dari tempat tinggal, kebun, bangunan perdagangan, dan industri.
3. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik  
Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restaurant), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama;
4. Kamus Besar Bahasa Indonesia  
Limbah cair yang berasal dari kegiatan rumah tangga dan kegiatan sanitasi manusia yang rutin.

Dari beberapa definisi tersebut, secara garis besar, limbah cair domestik merupakan limbah yang berasal dari kegiatan sanitasi pemukiman, institusi, komersial, industri serta sarana lainnya.

### 2.1.2 Sumber Limbah Cair Domestik

Pertumbuhan jumlah penduduk yang sangat pesat mengakibatkan terjadinya peningkatan jumlah kebutuhan baik berupa kebutuhan pangan dan kebutuhan lahan untuk tempat tinggal dan melakukan aktivitas lain. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, limbah cair domestik merupakan hasil buangan dari perumahan, bangunan perdagangan, perkantoran, komersial, industri serta sarana sejenisnya. Tabel 2.1 berikut memberikan gambaran mengenai volume limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai jenis bangunan beserta beban BOD.

Tabel 2.1 Perkiraan Volume Aliran Limbah Cair dan Beban BOD dari Berbagai Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Volume Limbah Cair (liter/orang/hari)	Beban BOD (gram/orang/hari)
<i>Daerah perumahan</i>		
Rumah besar untuk keluarga tunggal	400	100
Rumah tipe tertentu untuk keluarga tunggal	300	80
Rumah untuk keluarga ganda (rumah susun)	240-300	80
Rumah kecil ( <i>cottage</i> )	200	80
<i>Perkemahan dan motel</i>		
Tempat peristirahatan mewah	400-600	100
Tempat parkir rumah berjalan (mobile home)	200	80
Kemah wisata dan tempat parkir trailer	140	70
Hotel dan motel	200	50
<i>Sekolah</i>		
Sekolah dengan asrama	300	80
Sekolah siang hari dengan kafetaria	80	30
Sekolah siang hari tanpa kafetaria	60	20

Tabel 2.1 Perkiraan Volume Aliran Limbah Cair dan Beban BOD dari Berbagai Jenis Bangunan (Sambungan)

Jenis Bangunan	Volume Limbah Cair (liter/orang/hari)	Beban BOD (gram/orang/hari)
<i>Restoran</i>		
Tiap pegawai	120	50
Tiap langganan	25-40	20
Tiap makanan yang disajikan	15	15
<i>Terminal transportasi</i>		
Tiap pegawai	60	25
Tiap penumpang	20	10
<i>Rumah sakit</i>	600-1200	30
<i>Kantor</i>	60	25
<i>Teater mobil (drive in theatre), per tempat duduk</i>	20	10
<i>Bioskop, per tempat duduk</i>	10-20	10
<i>Pabrik, tidak termasuk limbah cair industri dan cafetaria</i>	60-120	25

Sumber: Hammer, 1977 dalam Soeparman & Suparmin, 2001

### 2.1.3 Karakteristik dan Konstituen Limbah Cair Domestik

Limbah cair domestik mengandung air lebih dari 99,9 persen (Qasim, 1985, h. 23). Selain air, limbah cair domestik mengandung bahan terlarut dan tersuspensi, baik organik dan anorganik serta mikroorganisme. Material yang terkandung tersebut memberikan kualitas fisik, kimia dan biologi yang merupakan karakteristik limbah cair domestik.

#### 2.1.3.1 Kualitas Fisika

Suhu, warna, bau, dan kekeruhan atau turbiditas, merupakan parameter yang memberikan kualitas fisika dari limbah cair domestik.

##### a. Suhu

Suhu akan mempengaruhi aktivitas mikroba, kelarutan gas, viskositas air limbah. Suhu limbah cair bervariasi tergantung musim, normalnya suhu limbah cair lebih tinggi dari pada air bersih, tetapi selama musim panas, limbah cair memiliki suhu lebih rendah daripada air bersih.

b. Warna

Air tawar bersih tidak berwarna, sedangkan air *septictank* atau limbah cair berwarna abu-abu gelap atau hitam.

c. Bau

Limbah cair yang masih baru atau *fresh wastewater* sedikit berbau sabun atau minyak. Semakin lama, akibat pembentukan hidrogen sulfida, indol dan skatol, dan produk dekomposisi lainnya, limbah cair akan menghasilkan bau yang busuk.

d. Kekeruhan (Turbiditas)

Kekeruhan atau turbiditas pada limbah cair umumnya diakibatkan oleh padatan tersuspensi.

### 2.1.3.2 Kualitas Kimia

Kualitas kimia limbah cair dinyatakan dalam konstituen organik dan anorganik. Limbah cair domestik biasanya mengandung 50 persen bahan organik dan 50 persen bahan anorganik (Qasim, 1985, h. 37). Analisis kualitas kimia memberikan informasi yang berkaitan dengan kualitas dan kekuatan limbah cair. Tabel 2.2 berikut memberikan ringkasan mengenai komposisi limbah cair domestik.

Tabel 2.2 Kualitas Kimia Limbah Cair Domestik

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi	
		Rentang	Umumnya
Total Padatan	mg/L	390-1230	720
Total Padatan Terlarut	mg/L	270-860	500
Mengendap	mg/L	160-520	300
Menguap	mg/L	110-340	200
Total Padatan Tersuspensi	mg/L	120-400	210
Mengendap	mg/L	25-85	50
Menguap	mg/L	95-315	160
Padatan Mengendap	mg/L	5-20	10
Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD <sub>5</sub> ), 20 <sup>o</sup> C	mg/L	110-350	190
Total Karbon Organik	mg/L	80-260	140
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	250-800	430
Nitrogen	mg/L	20-70	40
Organik	mg/L	8-25	15
Ammonia bebas	mg/L	12-45	25
Nitrit	mg/L	0	0
Nitrat	mg/L	0	0
Fosfor	mg/L	4-12	7
Organik	mg/L	1-4	2
Anorganik	mg/L	3-10	5
Klorida	mg/L	30-90	50
Sulfat	mg/L	20-50	30
Minyak dan lemak	mg/L	50-100	90
Volatile Organic Compound	mg/L	<100 - >400	100-400

Sumber: Metcalf &amp; Eddy, 2007



Selain parameter kimia di atas, limbah cair domestik juga mengandung beberapa konstituen mineral, rentang kandungannya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Konstituen Mineral pada Limbah Cair Domestik

<b>Konstituen</b>	<b>Rentang, mg/L<sup>a,b</sup></b>
<b>Anion</b>	
Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> )	50-100
Karbonat (CO <sub>3</sub> )	0-10
Klorida (Cl)	20-50
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	15-30
<b>Kation</b>	
Kalsium (Ca)	6-16
Magnesium (Mg)	4-10
Kalium (K)	7-15
Natrium (Na)	40-70
<b>Konstituen lain</b>	
Alumunium (Al)	0,1-0,2
Boron (Bo)	0,1-0,2
Fluor (F)	0,2-0,4
Mangan (Mn)	0,2-0,4
Silika (SiO <sub>2</sub> )	2-10
Alkalinitas total (CaCO <sub>3</sub> )	60-120

<sup>a</sup>Berdasarkan klasifikasi limbah kelas medium

<sup>b</sup>Tidak termasuk komersial dan industri

Sumber: Metcalf & Eddy, 2007

Melalui kedua tabel di atas, dapat dilihat bahwa limbah cair memiliki konsentrasi konstituen sangat tinggi bila dibandingkan dengan baku mutu badan air penerima berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.

Tabel 2.4 Baku Mutu Badan Air Penerima

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	1000	1000	1000	1000
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400
<b>Kimia Organik</b>					
pH		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 sbg 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	(-)	(-)	(-)
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)
Boron	mg/L	1	1	1	1
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Khrom (IV)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1
Mangan	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2
Khlorida	mg/L	600	(-)	(-)	(-)

Tabel 2.4. Baku Mutu Badan Air Penerima (Sambungan)

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)
Khlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)
Belerang sebagai H <sub>2</sub> S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)
<b>Mikrobiologi</b>					
Fecal coliform	jml/100				
	ml	100	1000	2000	2000
Total coliform	jml/100				
	ml	1000	5000	10000	10000

Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

#### 2.1.3.3 Kualitas Biologi

Karakteristik biologis limbah cair domestik merupakan faktor fundamental dalam mengontrol penyakit yang timbul akibat mikroorganisme terutama mikroorganisme patogen, baik yang berasal dari manusia, maupun peranan bakteri dan mikroba lainnya dalam proses dekomposisi dan stabilisasi materi organik pada limbah cair. Bakteri nonpatogen hidup berkoloni di dalam usus manusia dan kemudian ikut dikeluarkan bersama *feces*. Selain bakteri nonpatogen, limbah cair domestik juga mengandung bakteri patogen yang berasal dari *feces* orang yang terinfeksi penyakit. Hal ini menyebabkan air limbah domestik mengandung berbagai jenis bakteri dengan rentang konsentrasi yang berbeda antara bakteri patogen dan nonpatogen.

Bakteri patogen yang paling sering ditemukan pada limbah cair domestik salah satunya adalah genus *Salmonella*. Sedangkan bakteri *Eschericia coli* merupakan bakteri yang paling banyak ditemui pada limbah cair domestik yang berasal dari *feces*. Bakteri *E.coli* dijadikan sebagai indikator pencemaran air oleh

*feces* yang dinyatakan dalam *Total Coliform*. Tabel berikut memperlihatkan rentang kandungan Total Coliform pada limbah cair domestik.

Tabel 2.5. Kualitas Biologis Limbah Cair Domestik

<b>Kontaminan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Rentang</b>	<b>Umumnya</b>
<i>Total Coliform</i>	jumlah/100 mL	$10^6$ - $10^9$	$10^7$ - $10^8$
<i>Fecal Coliform</i>	jumlah/100 mL	$10^3$ - $10^7$	$10^4$ - $10^5$

Sumber: Metcalf & Eddy, 2007

## 2.2 Pengelolaan Limbah Cair Domestik

### 2.2.1 Dasar Hukum Pengolahan Limbah Cair Domestik

Di Indonesia terdapat beberapa dasar hukum, meliputi Undang-undang, Peraturan Pemerintah, dan Keputusan Menteri, yang mengatur tentang pengolahan limbah, khususnya limbah cair. Berikut adalah dasar hukum tentang pengolahan limbah cair tersebut:

1. Undang-Undang RI Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
3. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 06 Tahun 2011 Tentang Pedoman Penggunaan Sumber Daya Air.

Regulasi tersebut mendorong dilakukannya pengolahan terhadap limbah cair dengan jenis dan tingkatan pengolahan yang berbeda sesuai dengan karakteristik dan kekuatan limbah. Dengan pengolahan tersebut diharapkan efluen yang dihasilkan memenuhi persyaratan baku mutu efluen dan badan air penerima, sehingga dapat mencegah pencemaran lingkungan maupun gangguan kesehatan manusia.

### 2.2.2 Tingkat Pengolahan Limbah Cair Domestik

Metode pengolahan limbah dimana pengolahan secara fisika lebih dominan disebut dengan unit operasi. Sedangkan metode pengolahan limbah

dimana penyisihan kontaminan dilakukan dengan reaksi kimia atau biologi disebut dengan unit proses. Unit operasi dan unit proses dikelompokkan secara bersama untuk memberikan tingkat pengolahan limbah. Tingkat pengolahan limbah dibagi menjadi pengolahan pendahuluan (*preliminary treatment*), pengolahan primer (*primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*) dan pengolahan lanjutan (*advanced treatment*).

#### 2.2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Preliminary Treatment*)

Pengolahan pendahuluan ini didefinisikan sebagai proses fisika atau kimia pada instalasi pengolahan limbah cair yang mendahului pengolahan primer. Pengolahan ini menyisihkan materi-materi yang berukuran besar dan benda mengapung. Pengolahan pendahuluan terutama berfungsi untuk melindungi unit pengolahan selanjutnya dan meminimalkan masalah-masalah operasional.

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

Pengolahan sekunder merupakan proses yang menggunakan pengolahan biologi dan sedikit pengolahan kimia untuk menyisihkan materi organik yang bersifat *biodegradable*, padatan tersuspensi dan terlarut, serta nutrisi seperti nitrogen dan fosfor.

#### 2.2.2.3 Pengolahan Lanjutan (*Advanced Treatment*)

Pengolahan lanjutan disebut juga pengolahan tersier merupakan pengolahan yang dibutuhkan untuk mengurangi polutan yang membutuhkan pengolahan setelah pengolahan konvensional, seperti *activated sludge* atau *trickling filter*.

Pengolahan lanjutan memiliki efektivitas yang cukup tinggi jika digunakan untuk memenuhi standar efluen yang tinggi. Penyisihan bahan organik dapat mencapai 90% dengan melakukan kombinasi pengolahan konvensional dan pengolahan tersier. Pengolahan ini dapat menurunkan kandungan fosfor menjadi kurang dari 1 miligram per liter dan nitrogen kurang dari 5 miligram per liter (Guyer, 2010, h.10). Pengolahan yang dilakukan berupa:

- 1) Penghilangan fosfor, secara kimia maupun biologis.

- 2) Penghilangan nitrogen (nitrifikasi dan enitrifikasi).
- 3) Perbaikan efluen dengan koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan filtrasi.
- 4) Disinfeksi untuk mendestruksi mikroorganisme patogen.

Teknologi membran merupakan teknologi pengolahan tersier dalam penjernihan yang saat ini berkembang pesat. Beberapa jenis membran yang digunakan untuk pengolahan air diantaranya mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis. Teknologi membran tersebut dapat menyisihkan partikel dari air, termasuk bakteri dan virus.

### **2.3 Daur Ulang Limbah Cair Domestik**

Secara umum ada tiga jenis sumber air yang selama ini dipergunakan manusia, yaitu air permukaan (sungai dan danau), air bawah tanah dan air laut. Di Indonesia, mayoritas penduduk, industri dan gedung komersial menggunakan air bawah tanah dan PDAM sebagai sumber air bersih. PDAM sendiri lebih banyak menggunakan air permukaan dan hanya di beberapa daerah yang menggunakan sumber air bawah tanah. PDAM hanya melayani sebagian kecil masyarakat, sedangkan sebagian besar lainnya memanfaatkan air tanah untuk memenuhi kebutuhan. Saat ini masyarakat yang terlayani secara perpipaan dan mayoritas oleh perusahaan daerah air minum (PDAM) baru mencapai 25,56 persen (Analisdaily, 2012).

Pertumbuhan populasi yang terus meningkat, kontaminasi air permukaan dan air tanah, distribusi air bersih yang tidak merata dan kekeringan secara periodik menyebabkan ketersediaan air bersih tidak seimbang dengan jumlah permintaan. Hal ini terkait dengan fakta bahwa jumlah cadangan air bawah tanah yang menjadi sumber air bersih mayoritas di Indonesia merupakan yang paling kecil jumlahnya dibandingkan sumber air permukaan dan air laut. Eksplorasi air tanah dalam jumlah besar dan tidak terkendali dapat mengakibatkan penurunan permukaan tanah dan intrusi air laut ke air tanah.

Sementara itu, air laut yang jumlahnya mendominasi permukaan bumi masih jarang dimanfaatkan sebagai sumber air terutama karena banyaknya kendala dalam kaitannya jika akan digunakan sebagai solusi sumber air bersih. Kendala utama yang dihadapi adalah tingginya biaya dan investasi teknologi

pengolahan air laut atau desalinasi. Teknologi desalinasi air laut yang tersedia dan digunakan saat ini adalah *Thermal Evaporation* (Evaporasi Termal) dan *Reverse Osmosis*. Dalam praktiknya, kedua teknologi tersebut membutuhkan konsumsi energi yang sangat tinggi. Reverse osmosis membutuhkan tekanan 60-70 bar untuk melakukan pengolahan air laut menjadi air tawar. Tekanan yang tinggi dibutuhkan untuk mengurangi TDS (*total dissolved solid*) laut yang kadarnya sangat tinggi sekitar 40.000 ppm. Untuk memberikan tekanan yang tinggi dibutuhkan pompa dengan kebutuhan energi yang besar pula. Pada tahun 2010, biaya mengolah air laut menjadi air tawar dengan Reverse Osmosis, umumnya berkisar antara Rp. 5000 – Rp. 7000 per m<sup>3</sup> (Pengantar *Wastewater Reuse*, 2010). Pengolahan menggunakan *Thermal evaporation* membutuhkan konsumsi energi yang jauh lebih besar lagi dibandingkan *Reverse osmosis*.

Melihat kondisi yang telah dijelaskan, perlu adanya solusi bagaimana mendapatkan alternatif sumber air yang tersedia secara luas dan terjangkau secara ekonomis, seperti air limbah. Daur ulang air limbah, merupakan salah satu solusi sebagai sumber air bersih alternatif. Daur ulang dapat dilakukan dengan pengolahan lanjut air limbah seperti *reverse osmosis*, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dan penukar ion. Sebagai ilustrasi, air limbah yang dihasilkan berkisar antara 80-90% dari total pemakaian air bersih. Jika air limbah tersebut diolah kembali menjadi air bersih, konsumsi air tanah dapat ditekan setidaknya untuk penggunaan *nonpotable* perkotaan, industri maupun penyiram dan irigasi tanaman (Pengantar *Wastewater Reuse*, 2010).

Menurut Metcal&Eddy (2007), upaya daur ulang air limbah sebagai sumber alternatif air bersih didukung oleh beberapa alasan yang rasional, diantaranya:

1. Air merupakan sumber daya terbatas.
2. Pengetahuan tentang daur ulang air sudah ada dan tinggal mengembangkannya.
3. Kualitas air daur ulang sesuai untuk aplikasi *non-potable*.
4. Untuk mencapai tujuan sumber daya air yang berkelanjutan, perlu untuk menggunakan air secara efisien.
5. Produksi air daur ulang membutuhkan energi yang efisien.

6. Air daur ulang mendukung upaya perlindungan lingkungan dengan mengurangi jumlah efluen air limbah yang dibuang ke badan air.

Daur ulang air limbah tidak hanya mengatasi permasalahan pemenuhan kebutuhan air, tetapi juga dapat mencapai beberapa keuntungan sekaligus. Berikut adalah keuntungan yang cukup potensial dengan dilakukannya daur ulang air limbah:

1. Konservasi suplai air bersih.
2. Meningkatkan perlindungan lingkungan perairan yang sensitif dengan mengurangi debit efluen.
3. Keuntungan ekonomi dengan mengurangi kebutuhan sumber air dan infrastruktur, terutama di daerah dengan harga air bersih yang tinggi.
4. Air daur ulang mengandung nutrisi yang dapat mengurangi penggunaan pupuk, terutama jika air digunakan untuk keperluan irigasi.

## **2.4 Penerapan Daur Ulang Limbah Cair**

### **2.4.1 Aplikasi dan Standar Daur Ulang Limbah Cair**

Dalam perencanaan serta pengimplementasian daur ulang dan reklamasi air, aplikasi dari penggunaan air merupakan hal yang penting dalam penentuan tingkat pengolahan limbah cair yang diperlukan untuk melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan. Selain itu juga menentukan tingkat yang dibutuhkan untuk pengolahan dan pengoperasiannya. Terdapat beberapa prinsip dari pengaplikasian air daur ulang yang dibagi menjadi tujuh kategori.

#### **2.4.1.1 Kategori Pertama : Irigasi Lahan pertanian**

Aplikasi air daur ulang untuk irigasi pertanian merupakan pemanfaatan paling besar yang diterapkan. Kategori ini merupakan pemanfaatan air hasil daur ulang limbah cair yang paling besar. Pertimbangan dalam pemanfaatan air daur ulang untuk irigasi lahan pertanian, yaitu:

- a. Kontaminasi langsung dan tidak langsung terhadap hasil pertanian.
- b. Patogen yang masih bertahan hidup.
- c. Pemrosesan hasil panen sebelum didistribusikan untuk menghilangkan kontaminan.



- d. Konstituen kimia yang mungkin terserap oleh akar tanaman.
- e. Tingkat pengolahan tergantung pada kualitas air limbah, jenis tanaman dan metode irigasi.

Tabel 2.6 Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Irigasi Pertanian

Jenis Daur Ulang	Pengolahan*	Standar Daur Ulang EPA*	Pengawasan*	Kualitas Air Kelas 2**
Irigasi bukan tanaman pangan	- Sekunder - Disinfeksi	- pH = 6-9 - BOD $\leq$ 30 mg/L - TSS $\leq$ 30 NTU - Fecal Coliform / 100 mL $\leq$ 200 - Residu Cl <sub>2</sub> $\leq$ 1 mg/L	- pH - mingguan - BOD – mingguan - TSS harian - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/100 mL = 1000

Sumber: \*Metcalf & Eddy, 2007, \*\*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

#### 2.4.1.2 Kategori Kedua: Pengairan Lansekap dan Taman

Kategori ini termasuk pengairan lahan, lapangan golf, taman di sekitar pemukiman, komersial, perkantoran dan industri. Beberapa proyek irigasi terdiri dari sistem dual distribusi yaitu jaringan distribusi untuk air *potable* dan lainnya untuk air daur ulang.

Pertimbangan penggunaan air daur ulang untuk pengairan lahan, yaitu:

- a. Tingkat akses oleh publik sehingga dapat mengakibatkan kontak langsung terhadap manusia.
- b. Akumulasi konstituen kimia yang dapat bermigrasi ke air tanah yang menjadi sumber air minum.
- c. Kontrol penggunaan lahan, misalnya melakukan pengairan bukan pada jam aktif kegiatan manusia atau memberi peringatan bahwa air yang digunakan adalah air daur ulang.

Tabel 2.7 Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Pengairan Lansekap dan Taman

Jenis Daur Ulang	Pengolahan*	Standar Daur Ulang EPA*	Pengawasan*	Kualitas Air Kelas 2**
Pengairan lansekap, taman, keperluan estetika	- Sekunder - Disinfeksi	- BOD $\leq$ 30 mg/L - TSS $\leq$ 30 mg/L - Tidak terdapat fecal coli/ 100 mL - Residu Cl <sub>2</sub> $\leq$ 1 mg/L	- pH – mingguan - BOD – mingguan - TSS - harian - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/ 100mL = 1000

Sumber: \*Metcalf & Eddy, 2007, \*\*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

#### 2.4.1.3 Kategori Ketiga: Aktivitas Industri

Penggunaan air hasil daur ulang lainnya yang cukup banyak dilakukan adalah untuk keperluan industri, terutama untuk pendingin dan kebutuhan proses industri lainnya. Kebutuhan air untuk kegiatan industri sangat besar, sehingga pemanfaatan air hasil daur ulang dibutuhkan. Untuk memenuhi standar kualitas, dilakukan pengolahan lanjutan setelah pengolahan sekunder.

Pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk industri diantaranya:

- Timbulnya aerosol dari tower pendingin yang membawa mikroorganisme patogen.
- Keamanan produk manufaktur, air daur ulang dengan kualitas rendah tidak dapat digunakan dalam kegiatan manufaktur.

Tabel 2.8 Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Industri

Jenis Daur Ulang	Pengolahan*	Standar Daur Ulang EPA*	Pengawasan*	Kualitas Air Kelas 2**
Tower pendingin resirkulasi	- Sekunder - Disinfeksi - Koagulasi dan filtrasi jika dibutuhkan	- Tergantung rasio resirkulasi - pH = 6 – 9 - BOD ≤ 30 mg/L - TSS ≤ 30 mg/L - Fecal coli/ 100 mL ≤ 200 - Residu Cl <sub>2</sub> ≤ 1 mg/L	- pH – mingguan - BOD – mingguan - TSS – harian - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/ 100mL = 1000
Tower pendingin	Sekunder	- pH = 6 – 9 - BOD ≤ 30 mg/L - TSS ≤ 30 mg/L - Fecal coli/ 100 mL ≤ 200 - Residu Cl <sub>2</sub> ≤ 1 mg/L	- pH – mingguan - BOD – mingguan - TSS – harian - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/ 100mL = 1000
Penggunaan industri lain	Tergantung penggunaan	Tergantung penggunaan tertentu	Tergantung penggunaan tertentu	- pH = 6-9 - BOD = 2 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform / 100 mL = 100

Sumber: \*Metcalf & Eddy, 2007, \*\*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun

2001

#### 2.4.1.4 Kategori Keempat: Pengisian Kembali Air Tanah (*Groundwater Recharge*)

*Groundwater recharge* dilakukan melalui bak penyebar, atau diinjeksi secara langsung ke bagian *aquifer* air tanah. Beberapa hal yang perlu dipertimbangan dalam pengisian air tanah menggunakan air daur ulang yaitu:

- Pengkarakteristikan *aquifer*, sehingga dapat diketahui bagian *aquifer* yang dimanfaatkan untuk air minum (*potable*) dan *non-potable*.

- b. Pengisian aquifer *nonpotable*, memastikan bahwa air tidak berpindah ke bagian aquifer *potable*.
- c. Pengisian aquifer *potable*, tingkat pengolahan harus disesuaikan sehingga aman untuk dikonsumsi.
- d. Desain proses pengolahan tanah-aquifer.
- e. Hal-hal yang berkaitan dengan injeksi aquifer secara langsung.

Tabel 2.9 Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Pengisian Air Tanah

Jenis Daur Ulang	Pengolahan*	Standar Daur Ulang EPA*	Pengawasan*	Kualitas Air Kelas 2**
Pengisian air tanah ke aquifer <i>nonpotable</i>	- Sesuai dengan penggunaan air tanah - Sekunder - Filtrasi - Disinfeksi	Sesuai penggunaan air tanah dan kondisi lokasi	Tergantung pengolahan yang dilakukan dan penggunaan air tanah	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform / 100 mL = 1000
Pengisian air tanah ke aquifer <i>potable</i>	- Sekunder dan disinfeksi - Filtrasi dan pengolahan lanjutan	Sesuai dengan standar air minum	- pH – harian - Coliform – harian - Residu C <sub>12</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform / 100 mL = 1000

Sumber: \*Metcalf & Eddy, 2007, \*\*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

#### 2.4.1.5 Kategori Kelima: Rekreasi dan Pemeliharaan Lingkungan

Kategori ini berhubungan dengan penggunaan air daur ulang untuk keperluan *nonpotable* yang berhubungan dengan rekreasi dan pemeliharaan lingkungan. Contoh dari penggunaannya adalah untuk pemenuhan kebutuhan air dalam pengembangan danau buatan, peningkatan debit aliran sungai dan pemeliharaan rawa serta lahan basah. Untuk penggunaan ini hal yang menjadi pertimbangan adalah kualitas air daur ulang yang sesuai dengan penggunaan sehingga mencegah dampak terhadap kesehatan akibat kontak secara langsung.

Tabel 2.10 Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Keperluan Rekreasi serta Pemeliharaan Lingkungan

Jenis Daur Ulang	Pengolahan*	Standar Daur Ulang EPA*	Pengawasan*	Kualitas Air Kelas 2**
Keperluan rekreasi, seperti air untuk kolam pemancingan, danau	- Sekunder - Filtrasi - Disinfeksi	- pH = 6-9 - BOD $\leq$ 10 mg/L - TSS $\leq$ 2 mg/L - Fecal Coliform / 100 mL $\leq$ 200 - Residu Cl <sub>2</sub> $\leq$ 1 mg/L	- pH – mingguan - BOD – mingguan - TSS - harian - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/ 100mL = 1000
Penggunaan air daur ulang untuk keperluan lingkungan seperti rawa, habitat hewan, dan sebagainya	- Sekunder - Disinfeksi	- BOD $\leq$ 30 mg/L - TSS $\leq$ 30 mg/L - Fecal Coliform / 100 mL $\leq$ 200 - Residu Cl <sub>2</sub> $\leq$ 1 mg/L	- BOD – mingguan - TSS - harian - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/ 100mL = 1000

Sumber: \*Metcalf & Eddy, 2007, \*\* Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

#### 2.4.1.6 Kategori Keenam: Kebutuhan *Nonpotable*

Pengaplikasian dari air hasil daur ulang limbah untuk kebutuhan *nonpotable* meliputi air pemadam kebakaran, pendingin mesin *air conditioner*, pembersih toilet, air untuk keperluan konstruksi, dan penyiram saluran sanitasi. Sebagai pertimbangan ekonomi, penggunaan ini tergantung pada lokasi pengolahan daur ulang air limbah dan apakah dapat diaplikasikan secara bersamaan dengan aplikasi air daur ulang lain seperti air untuk penyiraman lahan.

Pertimbangan dalam penggunaan air daur ulang untuk kebutuhan *nonpotable*:

- Identifikasi jalur atau pipa yang membawa air daur ulang.
- Pengontrolan sambungan yang berpotongan dengan air minum (*cross connection*).
- Kualitas air daur ulang.

d. Desain dan konstruksi sistem distribusi.

Tabel 2.11 Ketentuan Daur Ulang Air Limbah untuk Fungsi Perkotaan  
(*Nonpotable*)

Jenis Daur Ulang	Pengolahan*	Standar Daur Ulang EPA*	Pengawasan*	Kualitas Air Kelas 2**
Air pencuci kendaraan, penyiram toilet, sistem pemadam kebakaran, air pendingin ruangan	- Sekunder - Filtrasi - Disinfeksi	- pH = 6-9 - BOD $\leq$ 10 mg/L - Kekeruhan $\leq$ 2 NTU - Tidak terdapat fecal coli/ 100 mL - Residu Cl <sub>2</sub> $\leq$ 1 mg/L	- pH – mingguan - BOD – mingguan - Kekeruhan - terus-menerus - Coliform – harian - Residu Cl <sub>2</sub> - terus-menerus	- pH = 6-9 - BOD = 3 mg/L - TSS = 50 mg/L - Fecal Coliform/ 100mL = 1000

Sumber: \*Metcalf & Eddy, 2007, \*\* Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

#### 2.4.1.7 Kategori Ketujuh: Kebutuhan *Potable*

Aplikasi terakhir dari air daur ulang adalah untuk keperluan *potable* atau untuk konsumsi. Air daur ulang dimanfaatkan sebagai campuran air pada reservoir atau digunakan secara langsung sebagai input pada sistem distribusi air bersih.

#### 2.4.2 Daur Ulang di Berbagai Negara

Penggunaan air daur ulang sebagai pelengkap sumber air bersih tidak hanya dilakukan oleh negara kering yang cenderung memiliki sedikit cadangan air tanah dan air permukaan. Di beberapa negara yang cukup hujan, daur ulang juga menjadi pilihan sumber air alternatif. Negara seperti Jepang memanfaatkan daur ulang air limbah karena terkait dengan pengaruh positif daur ulang air pada reduksi biaya pengolahan air limbah dan pasokan air bersih, serta untuk mereduksi biaya pemonpaan dan sistem distribusi. Berikut ini merupakan pengaplikasian air daur ulang yang dilakukan oleh beberapa negara.

#### 2.4.2.1 Amerika Serikat

Penduduk kota Altamonte Springs, menggunakan air daur ulang untuk keperluan *nonpotable* dengan sistem retikulasi ganda yang sudah diaplikasikan sejak tahun 1989 (Suprihatin, 2009). Retrikulasi ganda merupakan sistem distribusi air yang terdiri dari dua jalur pasokan air, satu untuk air minum atau air yang kontak dengan manusia, dan yang kedua memasok air untuk keperluan *nonpotable* dan tidak kontak dengan manusia.

Distribusi air daur ulang ini memanfaatkan sistem perpipaan dengan diameter relatif kecil yang melayani sekitar 45.000 penduduk. Salah satu faktor yang mendorong sistem daur ulang di kota ini adalah untuk menjaga kualitas air danau yang digunakan sebagai badan air penerima efluen pengolahan air limbah serta membatasi pemakaian air tanah. Pengolahan untuk keperluan daur ulang tersebut meliputi:

- Pengolahan primer menggunakan sedimentasi.
- Pengolahan sekunder berupa pengolahan secara biologis termasuk nitrifikasi.
- Pengolahan tersier dengan koagulasi, filtrasi, re-aersi dan disinfeksi dosis tinggi.
- Deklorinasi dan pengendalian pH.

Air hasil daur ulang tersebut digunakan untuk penyiraman halaman tanaman, irigasi, serta dialirkan ke bangunan perkantoran dan apartemen untuk pembersihan toilet bahkan untuk air pendingin industri. Selain itu air hasil daur ulang limbah cair tersebut juga dimanfaatkan untuk pengendalian air danau dan pencucian mobil.

#### 2.4.2.2 Jepang

Jepang memiliki kebijakan yang maju dalam hal penggunaan ulang air yang bertujuan untuk pengendalian pencemaran serta perlindungan lingkungan. Salah satu bentuk kebijakan yang dilakukan pemerintah Jepang terhadap air daur ulang adalah memberikan insentif ekonomi berupa reduksi harga air 20% untuk air daur ulang.

Efluen dari instalasi pengolahan air limbah sekunder diolah lebih lanjut dengan sistem pengolahan yang terdiri atas filtrasi pasir, fasilitas pemompaan, reservoir, dan jaringan distribusi. Air daur ulang di Jepang dimanfaatkan sebagai air pencuci kereta api, pembersihan toilet di gedung bertingkat yang juga memanfaatkan sistem retrikulasi ganda. Tabel berikut memperlihatkan status penggunaan air daur ulang di Jepang pada tahun 1993.

Tabel 2.12 Daur Ulang Air Limbah di Jepang Tahun 1993

<b>Instalasi Pengolahan Air</b>	<b>Aplikasi</b>	<b>Kuantitas (1000m<sup>3</sup>/ tahun)</b>
Shibaura	Pencucian kereta	111
Sunamachi	Pengendalian debu dengan air	6
Morigasaki	Air untuk instalasi insinerasi sampah	386
Mikawashima	Air Industri	8835
Ochiai	Pembersih toilet	970
Tamagawa – Joyu	Penambahan pembangkit uap ( <i>steam</i> )	12.370

Sumber: Suprihatin, 2009

#### 2.4.2.3 Australia

Di Australia, daur ulang air limbah dan air hujan sudah dimanfaatkan dalam jumlah yang besar, dimana penggunaannya untuk keperluan *non-potable* memiliki potensi mereduksi kebutuhan air rata-rata mencapai 40-50 persen. Sistem daur ulang untuk skala komersial dilakukan di Rouse Hill dan New Haven di South Australia. Model daur ulang air di Rouse Hill adalah aplikasi skala besar pertama di Australia dengan sistem sistem retrikulasi ganda. Untuk mencapai kualitas air olahan yang memenuhi persyaratan pengolahan dilakukan penambahan unit pengolahan pada tahapan pengolahan sekunder yaitu koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, disinfeksi dan pengendalian pH. Sebelum didistribusikan, air hasil olahan tersebut dipompakan dan ditampung di dalam reservoir yang ditempatkan di ketinggian tertentu. Kemudian distribusi air hasil daur ulang dilakukan secara gravitasi melalui jaringan distribusi.



#### 2.4.2.4 Singapura

Singapura memiliki kebijakan politik untuk memastikan bahwa konsumsi air dapat dipenuhi secara mandiri tanpa bergantung pada Malaysia. Singapura dengan luas wilayah 700 km<sup>2</sup>, memiliki jumlah penduduk mencapai 5 juta. Dengan luas wilayah tersebut, Singapura hanya memiliki sedikit daerah tangkapan air, ditambah lagi dengan rendahnya curah hujan Singapura, yaitu 2400 mm/tahun. Pada tahun 1961 dan 1962, Singapura mengadakan perjanjian *import* air jangka panjang dengan Johor, Malaysia. Di bawah perjanjian tersebut, Singapura dapat mentransfer air dari Malaysia dengan harga 1 cent per 1000 gallon sampai tahun 2011 (Tortajada, 2006, h.227).

Kesulitan dalam mencapai kesepakatan bersama terkait perpanjangan perjanjian, pemerintah Singapura mengembangkan rencana baru untuk meningkatkan keamanan dan kemandirian air setelah periode 2011 dengan pengefisienan pengelolaan air, perumusan kebijakan air yang baru, investasi dalam desalinasi air laut sampai daur ulang air limbah.

Dihadapkan dengan masalah strategis keamanan air, Singapura mulai mencoba daur ulang air limbah sejak tahun 1970, tetapi percobaan pertama daur ulang dihentikan pada tahun 1975 karena terbukti tidak ekonomis dan tidak dapat diandalkan. Pada tahun 1998, Kementerian Lingkungan Hidup Singapura melakukan studi reklamasi pada prototipe pabrik yang terletak di hilir Instalasi Reklamasi Air Bedok yang mulai beroperasi pada Mei 2000 dan menghasilkan 10.000 m<sup>3</sup> air per hari. Kualitas air yang dihasilkan memenuhi standar kualitas air Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat dan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO).

Kesuksesan tersebut mendorong pemerintah Singapura untuk mengumpulkan dan mengolah air limbah sebagai air daur ulang. Setelah pengolahan sekunder, air limbah diolah dengan teknologi *dual-membrane* dan ultraviolet. Air daur ulang dengan tingkat kualitas yang cukup tinggi digunakan untuk keperluan industri seperti industri manufaktur dan komersial. Pada tahun 2002, 2 mgd air daur ulang dicampur dengan air baku di reservoir yang kemudian diolah untuk keperluan domestik dan pada tahun 2005 meningkat menjadi 5mgd.

## 2.5 Desain Daur Ulang Limbah Cair Domestik

Untuk memenuhi standar pengaplikasian air daur ulang, air limbah harus melalui pengolahan mulai dari pengolahan primer, sekunder, tersier sampai pengolahan lanjutan jika diperlukan. Pentingnya kualitas air dalam pengolahan dan pengaplikasian daur ulang air limbah diperlukan teknologi yang berbeda maupun kombinasi teknologi untuk mencapai tingkat penyisihan konstituen yang diharapkan. Pemilihan jenis teknologi yang digunakan perlu memperhatikan faktor-faktor penting berikut (Metcalf & Eddy, 2007):

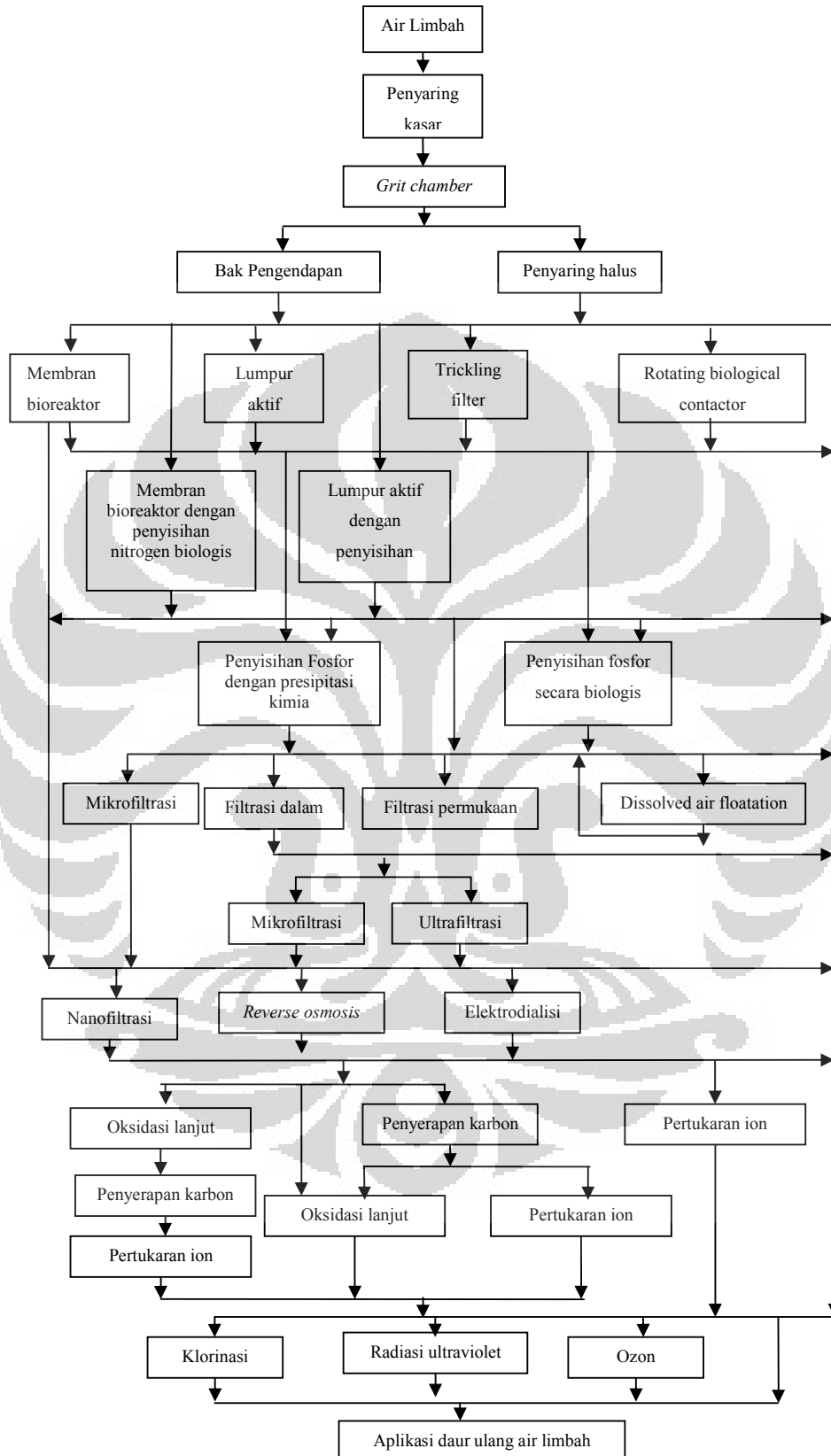
1. Jenis pengaplikasian air daur ulang
2. Karakteristik air limbah
3. Target dan persyaratan air daur ulang
4. Konstituen pencemar
5. Operasional dan perawatan
6. Energi yang dibutuhkan
7. Membutuhkan operator atau dilakukan secara otomatis

Setiap unit pengolahan memiliki fungsi yang berbeda dan mampu menyisihkan komponen yang berbeda pula. Tabel di bawah memperlihatkan unit proses dan operasi utama dalam aplikasi daur ulang air limbah sesuai dengan jenis konstituen yang disisihkan.

Tabel 2.13 Jenis Unit Operasi dan Proses Pengolahan Lanjutan

Unit operasi dan proses	Konstituen										
	Padatan tersuspensi	Padatan Koloid	Materi organik	Materi organik terlarut	Nitrogen	Fosfor	Konstituen sisa	TDS	Bakteri	Protozoa	Virus
Pengolahan sekunder	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
<i>Dissolved air floatation</i>	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			
<i>Penyerapan karbon</i>				x			x				
Pertukaran ion					x		x	x			
Oksidasi lanjut			x	x			x		x	x	x
Adsorpsi	x	x	x	x							
<i>Air stripping</i>					x						
Distilasi	x	x	x	x					x	x	x
Disinfeksi				x					x	x	x

Sumber: Metcalf &amp; Eddy, 2007



Gambar 2.1 Alur Pengolahan Daur Ulang Limbah Cair

Sumber: Metcalf& Eddy, 2007

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Pendekatan Penelitian

Pada dasarnya terdapat dua pendekatan penelitian yaitu pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pada pendekatan kualitatif, peneliti bekerja dengan informasi-informasi yang ada mengenai objek studi. Sedangkan penelitian kuantitatif, peneliti melakukan pengembangan model matematis atau menitikberatkan pada angka-angka yang diperoleh selama penelitian.

Penelitian ini merupakan gabungan dari pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif dilakukan dalam menganalisis kebutuhan daur ulang dan pertimbangan kelayakan dalam menentukan daur ulang yang paling tepat. Pendekatan kuantitatif dilakukan dalam menganalisis hasil pengujian parameter sampel air limbah, pembobotan dalam penentuan daur ulang dan desain instalasi daur ulang dimana peneliti akan bekerja dengan angka-angka.

### 3.2 Variabel Penelitian

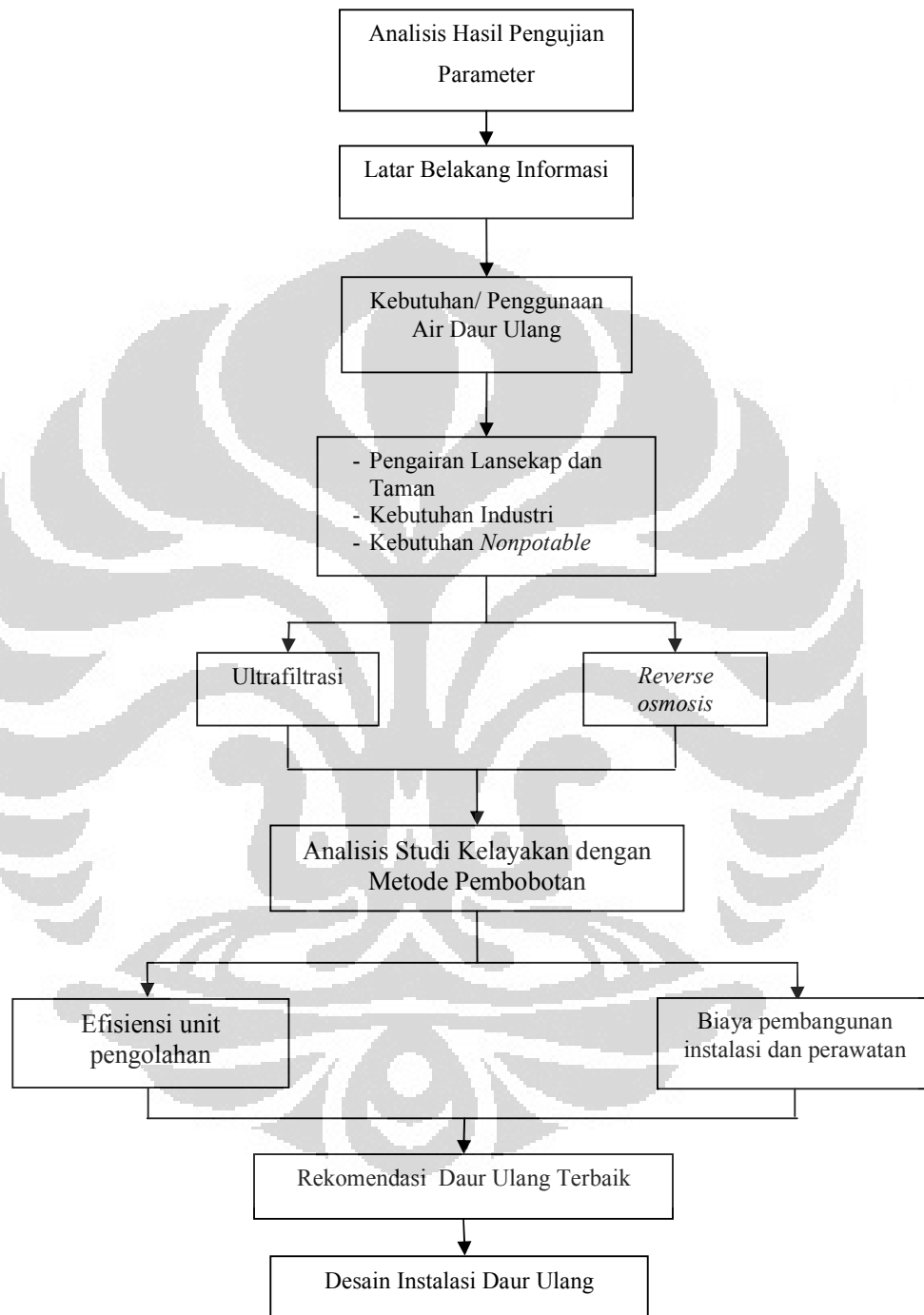
Variabel merupakan keadaan, faktor, kondisi, perlakuan, atau tindakan yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Variabel-variabel dalam penelitian ini meliputi:

1. Data kualitas air limbah pada influen dan efluen pengolahan eksisting yang meliputi kualitas parameter pH, TSS, TDS, BOD, COD, amonia dan *fecal coliform*.
2. Pertimbangan kelayakan daur ulang dan analisis dengan metode pembobotan.
3. Jenis-jenis pengolahan daur ulang.

### 3.3 Kerangka Penelitian

Tujuan akhir dari pengolahan data dan analisis data adalah untuk menentukan aplikasi daur ulang beserta desain instalasi pengolahan daur ulang limbah cair. Secara umum, alur kerangka penelitian untuk menentukan jenis

pemanfaatan daur ulang yang paling tepat dan desain instalasi daur ulang akan diaplikasikan dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

### 3.4 Pengumpulan Data

#### 3.4.1 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang telah disediakan oleh pihak lain yang dapat langsung digunakan oleh peneliti. Tabel 3.1 menunjukkan data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian.

Tabel 3.1 Data Sekunder Penelitian

No.	Data	Uraian Informasi Data	Sumber Data
1	Karakteristik lokasi	Letak dan luas	Survei identifikasi, data perusahaan, wawancara, literatur
		Peta lokasi	
		Denah lokasi penelitian	
2	Demografi	Jumlah karyawan	Data perusahaan, wawancara
		Jumlah pengguna bangunan	
3	Kebutuhan Air Bersih	Data mengenai sumber air bersih	Data perusahaan, survei, wawancara, survei identifikasi, literatur
		Pengolahan air bersih	
		Volume dan debit kebutuhan air bersih	
		Neraca air	
		Kapasitas pelayanan	
4	Air Limbah Domestik	Kualitas efluen air limbah	Data perusahaan, survei, wawancara, survei identifikasi, literatur
		Volume air limbah	
		Debit efluen	
		Fluktuasi air limbah	
5	Instalasi pengolahan limbah eksisting	Unit pengolahan dan kapasitas pengolahan	Data perusahaan, survei, wawancara, survei identifikasi, literatur
		Skema dan Detail unit pengolahan	
6	Daur Ulang	Kebutuhan daur ulang	Wawancara, survei identifikasi
		Pengolahan daur ulang eksisting	
7	Pembiayaan	Harga unit pengolahan	Produsen unit pengolahan

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

### 3.4.2 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti dari sumber-sumber asli. Pada penelitian ini data primer meliputi kualitas sampel air limbah pada instalasi pengolahan untuk parameter *fecal coliform*.

#### 3.4.2.1 Metode Pengambilan Sampel

Sampel air berasal dari outlet instalasi pengolahan limbah cair *living quarter* CNOOC SES Ltd. di Pulau Pabelokan Kepulauan Seribu. Sampel dari outlet diambil pada lokasi setelah IPAL atau titik dimana air limbah yang mengalir sebelum memasuki badan air penerima. Pengambilan sampel hanya dilakukan pada outlet IPAL karena unit daur ulang berfungsi untuk mengolah efluen dari IPAL eksisting untuk meningkatkan kualitas efluen. Setelah pengambilan sampel dilakukan pengujian parameter yang telah ditentukan di laboratorium.

#### 3.4.2.2 Waktu Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 08.00, yang merupakan debit puncak produksi limbah yang masuk ke IPAL. Tujuannya adalah untuk mengetahui konsentrasi parameter air limbah yang paling tinggi dan kualitas air limbah yang paling buruk.

#### 3.4.2.3 Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan di laboratorium, dengan standar pengujian untuk masing-masing parameter sebagai berikut:



Tabel 3.2 Metode Pengujian Parameter

Parameter	Standar Pengujian
pH	SNI 06-6989.11:2004 Air dan air limbah - Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter
BOD	SNI 06-6989.72:2009 Air dan air limbah – Bagian 72: Cara uji kebutuhan Oksigen Biokimia ( <i>Biochemical Oxygen Demand/</i> BOD)
COD	SNI 6989.2:2004 Air dan air limbah - Bagian 2: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi ( <i>Chemical Oxygen Demand/COD</i> ) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri
TSS	SNI 06-6989.3-2004 Air dan air limbah - Bagian 3: Cara uji kadar padatan total secara gravimetri
TDS	SNI 06-6989.27-2004
Amonia	SNI 06-6989.30-2005 Air dan air limbah - Bagian 30: Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer
<i>Fecal Coliform</i>	<i>Multiple Tube Fermentation (MTF)</i>

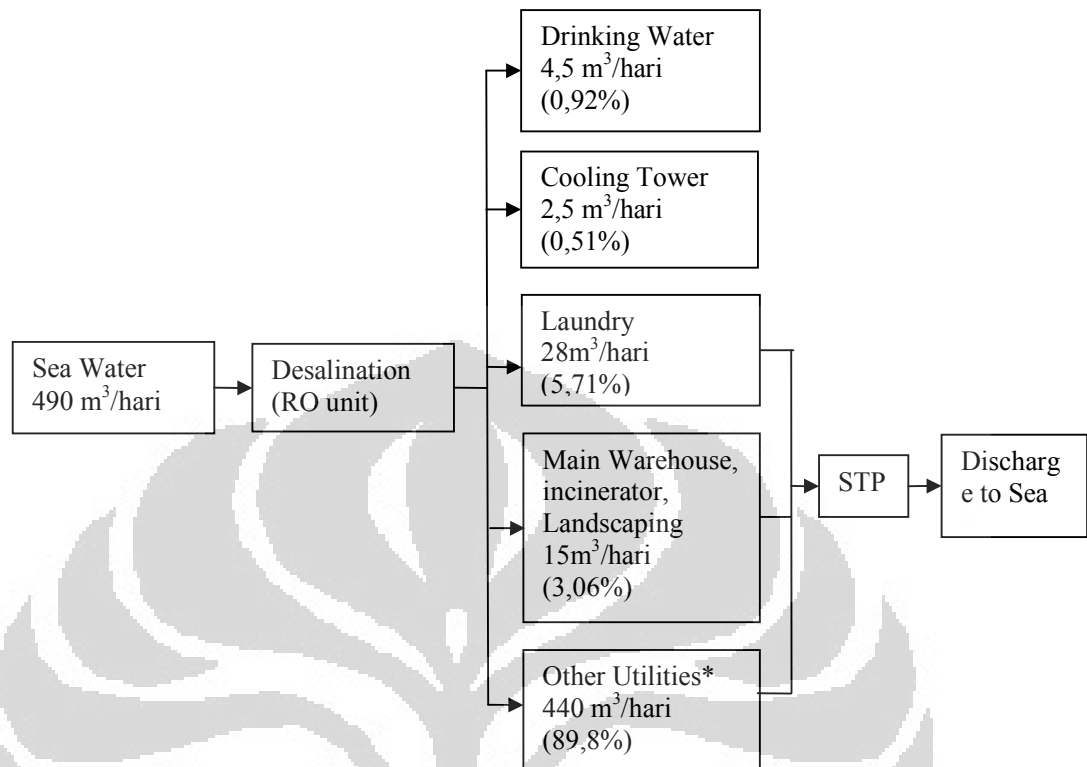
Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Pengujian sampel dilakukan di laboratorium milik CNOOC SES Ltd. untuk paramter kimia dan laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI untuk pengujian *fecal coliform*. Dari hasil pengujian di laboratorium dilakukan penghitungan konsentrasi tiap parameter yang diukur untuk mengetahui kualitas air limbah.

### 3.5 Pengolahan dan Analisis Data

#### 3.5.1 Kebutuhan Daur Ulang

Secara umum kebutuhan air beserta presentasenya di pusat produksi minyak dan gas bumi CNOOC SES Ltd, Pulau Pabelokan dapat dilihat pada bagan neraca air berikut.



\* Hotel, klinik, kantor, dapur

Gambar 3.2 Neraca Air dan Presentase Kebutuhan di *Living Quarter* CNOOC SES Ltd.

Sumber: Data Sekunder CNOOC SES Ltd., 2010

Pemilihan aplikasi daur ulang didasarkan pada persentase kebutuhan air paling besar tetapi tidak membutuhkan persyaratan kualitas yang tinggi. Berdasarkan bagan neraca air di atas serta standar kualitas air, maka daur ulang akan digunakan untuk pengairan lansekap dan taman, *cooling tower* serta kebutuhan *nonpotable* khususnya *flushing toilet*.

Tabel 3.3 Tabel Opsi Daur Ulang

Opsi Daur Ulang	Pemenuhan Kebutuhan	Presentase (%)
Lansekap dan Taman	Pengairan Lansekap	3,06
Industri	<i>Cooling Tower</i>	0,51
Kebutuhan <i>Nonpotable</i>	Laundry dan Kebutuhan hotel, kantor, dapur	95,51

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Agar dapat digunakan kembali, air limbah hasil daur ulang tersebut harus memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, target kualitas air daur ulang adalah sampai memenuhi kriteria untuk air kelas 1 berdasarkan PP No. 82 tahun 2008 dengan kualitas efluen IPAL memenuhi standar Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 tahun 2005.

Tabel 3.4 Tabel Persentase Penyisihan Konstituen

Parameter	Kualitas Efluen IPAL/ Influen Instalasi Daur Ulang*	Industri		Lansekap dan Taman		Kebutuhan Nonpotable	
		Standar Air Kelas 2	Penyisihan	Standar Air Kelas 2	Penyisihan	Standar Air Kelas 2	Penyisihan
pH	-	6-9	0	6-9	0	6-9	0
BOD	50 mg/l	3 mg/l	94%	3 mg/l	94%	3 mg/l	94%
TSS	50 mg/l	50 mg/l	0	50 mg/l	0	50 mg/l	0
TDS	-	1000 mg/l	-	1000 mg/l	-	1000 mg/l	-
COD	80 mg/l	25 mg/l	68,75%	25 mg/l	68,75%	25 mg/l	68,75%
Amonia	20 mg/l	-	-	-	-	-	-
<i>Fecal Coliform/</i> 100ml	1000	1000	0	1000	0	1000	0

Sumber: \*Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 tahun 2005, \*\*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001

### 3.5.2 Desain Instalasi Pengolahan Daur Ulang

Setiap opsi daur ulang dapat memerlukan desain instalasi pengolahan yang berbeda sesuai dengan standar target yang diinginkan. Jika dibandingkan dengan sistem pengolahan air limbah konvensional yang memproduksi efluen dengan kualitas untuk dibuang. Pengolahan daur ulang memiliki tingkat pengolahan yang lebih tinggi karena standar kualitas air lebih ketat, air produksi dengan tingkat kualitas yang berbeda untuk berbagai penggunaan, dan menjamin

kehatan publik. Pertimbangan pemilihan desain instalasi pengolahan daur ulang meliputi tingkat atau persentase penyisihan, efisiensi tempat serta kemudahan dalam pengoperasian dan perawatan.

Dilihat dari kualitas efluen IPAL yang merupakan influen pengolahan daur ulang, parameter yang masih berada di atas standar dan harus diturunkan adalah BOD, COD dan *fecal coliform*. BOD dapat turun bersamaan dengan berkurangnya konsentrasi padatan. Unit pengolahan tersier yang memanfaatkan teknologi membran memiliki efisiensi pengurangan padatan yang tinggi. Selain itu, teknologi membran juga sudah digunakan secara luas dalam pengaplikasian daur ulang air limbah. Karena alasan tersebut, maka unit yang dipilih sebagai opsi pengolahan daur ulang adalah ultrafiltrasi dan *reverse osmosis*.

#### 1. Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi memiliki rentang ukuran pori 0,005 sampai 0,1  $\mu\text{m}$  yang dapat menghilangkan senyawa terlarut seperti koloid, protein dan karbohidrat. Membran ultrafiltrasi juga memiliki kemampuan untuk menghailangkan beberapa sel bakteri, dan virus. Secara umum, ultrafiltrasi dapat mencapai tingkat pemisahan yang lebih tinggi daripada mikrofiltrasi. Dalam reklamasi air limbah, ultrafiltrasi dapat memberikan tingkat pengolahan yang sesuai untuk berbagai aplikasi daur ulang.

#### 2. *Reverse Osmosis*

Proses pemisahan membran bertekanan tinggi, lebih dari 10 bar atau 1000 kPa. Reverse osmosis terutama digunakan untuk menyisihkan materi organik dan garam dari air laut atau desalinasi air laut menjadi air tawar. *Reverse osmosis* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan ultrafiltrasi. *Reverse osmosis* biasanya dapat menghilangkan 95-99,5 persen dari total padatan terlarut dan 95-97 persen bahan organik terlarut.

Tabel 3.5 Efisiensi Pengolahan Unit untuk Daur Ulang

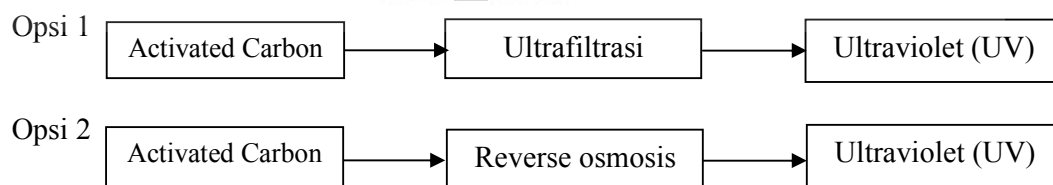
Parameter	Activated Carbon	Ultrafiltrasi	Reverse Osmosis	Ultraviolet (UV)
BOD	75%	85%	60%	-
COD	75%	80%	90%	-
NH <sub>3</sub>	50%	15%	95%	-
TDS	-	2%	90%	-
TSS	60%	95%	95%	-
<i>Fecal Coliform</i>	50%	-	-	95%

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003 dan 2007

Untuk meningkatkan efisiensi unit dan memperpanjang umur membran dibutuhkan unit *pretreatment*. Dalam penelitian ini, unit yang dimanfaatkan sebagai *pretreatment* adalah *carbon adsorption* menggunakan *activated carbon* atau karbon aktif. *Carbon Adsorption* atau penyerapan karbon merupakan teknologi yang mengikuti pengolahan sekunder dan dapat diaplikasikan untuk pengolahan daur ulang. Penyerapan karbon dipilih sebagai unit pengolahan daur ulang untuk menyisihkan padatan terlarut yang masih terdapat pada efluen IPAL eksisting.

Selain unit daur ulang utama dan *pretreatment*, dibutuhkan unit ekualisasi untuk menyeragamkan kualitas dan debit yang akan diolah. Di akhir pengolahan, instalasi juga dilengkapi dengan unit disinfeksi yang memanfaatkan *ultraviolet* (UV).

### Opsi Instalasi Pengolahan



Gambar 3.3 Opsi Instalasi Pengolahan Daur Ulang

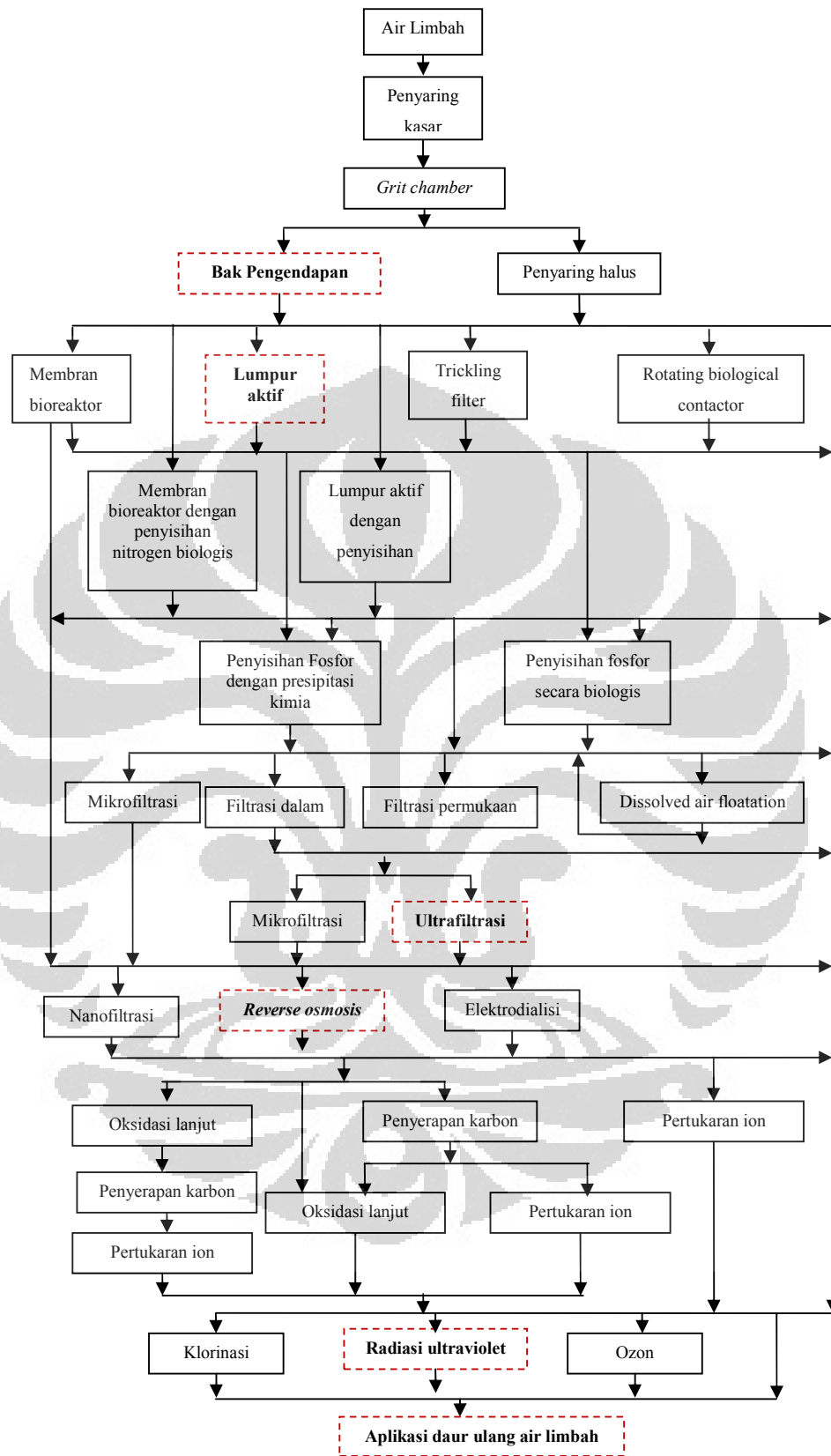
Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Instalasi pengolahan di atas dapat diaplikasikan untuk semua jenis opsi daur ulang yang ditawarkan, karena prosentase penyisihannya memenuhi persyaratan yang dibutuhkan. Untuk menentukan desain instalasi pengolahan yang dipilih, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Efisiensi penyisihan dari masing-masing opsi pengolahan
2. Analisis biaya yang dibutuhkan untuk masing-masing desain pengolahan dan kebutuhan daur ulang yang akan dipenuhi.

Skema berikut ini menunjukkan alur alternatif unit pengolahan daur ulang yang ditawarkan di Pulau Pabelokan.





Gambar 3.3 Alternatif Pengolahan Daur Ulang

Sumber: Metcalf &amp; Eddy, 2007

### 3.5.3 Analisis Studi Kelayakan

Analisis studi kelayakan daur ulang air limbah dalam penelitian ini menggunakan metode pembobotan. Menurut Mutaqin, 2006, metode pembobotan merupakan metode analisis yang bersifat kuantitatif sehingga data yang digunakan harus bersifat kuantitatif. Jika pengolahan dan hasil yang diperoleh dari pengumpulan data primer berupa data kualitatif, maka data tersebut harus dikonversi ke dalam bentuk data kuantitatif. Berdasarkan penjelasan tersebut, digunakan analisis pembobotan untuk mengkuantifikasi parameter dalam studi kelayakan sehingga dapat ditentukan tingkatan opsi daur ulang dalam skala tertentu. Parameter kelayakan yang dianalisis meliputi neraca air dan pembiayaan.

#### 3.5.3.1 Parameter Kelayakan

##### ***Efisiensi Removal Unit***

Analisis efisiensi removal unit merupakan analisis dengan mempertimbangkan kemampuan unit dalam menyisihkan parameter tertentu yang merupakan polutan di dalam air. Semakin tinggi efisiensi *removal* unit, maka potensi untuk memenuhi kualitas air daur ulang yang dipersyaratkan akan semakin besar.

##### ***Biaya***

Instalasi pengolahan yang berbeda seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya membutuhkan biaya yang berbeda pula. Dalam penelitian ini, analisis biaya lebih dititikberatkan pada harga pembelian unit pengolahan yang ditawarkan.

#### 3.5.3.2 Pembobotan

Dalam metode pembobotan, setiap parameter diperhitungkan dengan pembobotan yang berbeda. Menurut Pramono *et al.*, (2005), Suryanto *et al.*, (2005) dan Cornelia *et al.*,(2005) dalam Hartami (2008) menjelaskan terdapat tahapan untuk menetapkan pembobotan. Berikut adalah langkah dalam pembobotan dan disesuaikan dengan penelitian:



### 1) Pembobotan parameter

Merupakan pembobotan untuk setiap parameter. Hal ini karena setiap parameter memiliki peran yang besar akan memberikan nilai. Setiap parameter memiliki bobot yang berbeda sesuai dengan pengaruh yang diberikan. Dalam penelitian ini, bobot yang diberikan untuk biaya lebih rendah daripada bobot neraca air. Hal ini karena biaya dapat menjadi batasan dalam pengaplikasian daur ulang, sedangkan kebutuhan merupakan pendorong adanya daur ulang, sehingga diberikan bobot yang lebih tinggi.

Tabel 3.6 Bobot Parameter Kelayakan

Parameter	Bobot
Efisiensi <i>Removal</i>	2
Biaya	3

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

### 2) Pembobotan kesesuaian

Merupakan pembobotan untuk membedakan nilai pada tingkat kesesuaian. Skor yang diberikan akan semakin besar untuk tingkat kesesuaian yang tinggi.

#### *Pembobotan Kesesuaian Efisiensi Unit*

Pemberian skor berdasarkan kemampuan *removal* unit pengolahan. Semakin tinggi efisiensi *removal* unit, maka skor yang diberikan pun semakin besar.

#### *Pembobotan Kesesuaian Biaya*

Pemberian skor berdasarkan harga pembelian unit pengolahan. Skor yang diberikan untuk desain pengolahan akan semakin kecil jika biaya yang dibutuhkan semakin tinggi.

### 3) Pembobotan *scoring*

Pembobotan *scoring* merupakan penghitungan bobot akhir berdasarkan pembobotan kesesuaian dan parameter, sehingga diperoleh bobot masing-masing opsi daur ulang beserta desain pengolahannya. Untuk menghitung bobot, digunakan persamaan berikut:

$$Bobot = \frac{(Bobot \times skor)_{efisiensi\ unit} + (Bobot \times skor)_{biaya}}{Bobot_{efisiensi\ unit} + Bobot_{biaya}} \quad (3.1)$$

### 3.6 Rekomendasi Aplikasi dan Desain Pengolahan Daur Ulang

Hasil akhir dari penelitian ini adalah aplikasi daur ulang beserta desain instalasi pengolahan daur ulang yang telah ditentukan melalui metode analisis pembobotan. Daur ulang dan desain pengolahan yang akan diaplikasikan adalah opsi dengan bobot perhitungan paling tinggi, sehingga daur ulang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air dengan tingkat kebutuhan yang tinggi tetapi dengan biaya yang paling efisien.

### 3.7 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di kantor pusat CNOOC SES Ltd. di Jakarta dan pusat produksi minyak bumi CNOOC SES Ltd. di Pulau Pabelokan Kepulauan Seribu. Adapun waktu pengambilan data primer di lokasi penelitian dimulai pada minggu kedua Januari sampai minggu kedua Februari 2012.

Tabel 3.5 Jadwal Penelitian

No.	Rencana Kerja	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengambilan Data																								
2	Perhitungan kebutuhan air																								
3	Pentuan potensi daur ulang																								
4	Analisis kualitas air limbah																								
5	Penyusunan neraca air																								
6	Menentukan alternatif unit pengolahan lanjutan																								
7	Rekomendasi daur ulang dan desain instalasi daur ulang																								
8	Penyusunan RAB dan perbandingan dengan desalinasi (RO)																								
10	Penyusunan laporan tugas akhir																								
11	Presentasi tugas akhir																								
12	Proses Revisi																								
13	Hasil final laporan tugas akhir																								

- Pelaksanaan Kegiatan
- Ujian Tengah Semester Genap 2011/2012
- Ujian Akhir Semester Genap 2011/2012

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

## BAB 4

### GAMBARAN UMUM LOKASI

#### 4.1 Gambaran Umum CNOOC SES Ltd. Pulau Pabelokan

Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) CNOOC SES Ltd. sebagai salah satu Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) BPMIGAS, telah melakukan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi sejak tahun 1968. WKP CNOOC SES Ltd. ini memiliki luas 5851,11 km<sup>2</sup> dan berada di Pantai Tenggara Sumatera dan Pantai Utara Banten. Kegiatan pengoperasian lapangan Migas CNOOC SES Ltd. terdiri dari tiga bisnis unit, yaitu bagian Utara (*North Business Unit-NBU*), Selatan (*South Business Unit-SBU*), dan Tengah (*Central Business Unit-CBU*). Lokasi kegiatan eksploitasi lapangan Migas CNOOC SES Ltd. terletak di wilayah perairan lepas pantai Tenggara Sumatera yang meliputi Kabupaten Serang di Provinsi Banten, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung Timur dan Lampung Selatan di Provinsi Lampung serta Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu di Provinsi DKI Jakarta.



Gambar 4.1 Peta Wilayah Kerja BP Migas – CNOOC SES Ltd

Sumber: Laporan Pelaksanaan RKL-RPL CNOOC Ltd., 2012

Selain Wilayah Kerja Pertambangan (WKP), CNOOC SES Ltd. memanfaatkan Pulau Pabelokan sebagai wilayah pendukung operasional aktivitas produksi minyak dan gas bumi. Pulau Pabelokan merupakan pulau koral yang terletak sekitar 55 mil di barat laut Jakarta dengan koordinat  $05^{\circ}28'37''$  S –  $106^{\circ}23'5''$  E.



Gambar 4.2 Pulau Pabelokan Tampak Barat dan Selatan

Sumber: Laporan Pelaksanaan RKL-RPL CNOOC Ltd., 2012

Pulau Pabelokan memiliki luas keseluruhan mencapai 12 hektar dengan 40 persen dari luas pulau dikelola sebagai area hijau.



## 4.2 Tenaga Kerja

Aktivitas tenaga kerja di Pulau Pabelokan meliputi kegiatan produksi dan domestik. Berdasarkan data per Juni 2011, untuk kegiatan produksi jumlah karyawan total yang bekerja di CNOOC SES Ltd. adalah 3357 orang. Untuk *onshore*, jumlah karyawan tetap 407 orang dan karyawan kontrak 361 orang, sedangkan *offshore*, karyawan tetap 271 orang dan karyawan kontraktor 2.318 orang. Sedangkan untuk kegiatan domestik di Pulau Pabelokan, jumlah tenaga kerja lokal (Sekitar Pulau Seribu) yang digunakan berjumlah 44 orang. Tabel berikut menunjukkan jumlah tenaga kerja

Tabel 4.1 Jumlah Tenaga Kerja CNOOC SES Ltd. Tahun 2011

Fungsi	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni			
	CNOOC	Contractor	CNOOC	Contractor	CNOOC	Contractor	CNOOC	Contractor	CNOOC	Contractor	CNOOC	Contractor		
ONSHORE	Pengeboran (Drilling)	17	8	20	10	23	11	23	11	23	10	23	10	
	Eksplorasi	79	6	79	6	79	6	79	6	79	6	79	6	
	PGF	27	15	27	16	30	14	30	14	29	14	29	14	
	QHSE	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	
	LMO	49	153	49	153	49	153	49	153	49	153	49	153	
	SBU	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	
	CBU	12	1	11	1	12	1	12	1	12	1	12	1	
	NBU	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	
	Keamanan	4	96	4	96	4	96	4	96	4	96	4	96	
	Lain-lain	177	76	177	76	177	76	177	76	177	76	177	76	
	<b>Total</b>	<b>399</b>	<b>360</b>	<b>401</b>	<b>363</b>	<b>408</b>	<b>362</b>	<b>408</b>	<b>362</b>	<b>407</b>	<b>361</b>	<b>407</b>	<b>361</b>	
	OFFSHORE	Pengeboran (Drilling)	9	552	11	500	12	437	12	437	10	466	10	466
		Eksplorasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PGF		84	681	85	475	79	499	77	656	77	597	76	593	
QHSE		4	24	4	24	4	24	4	24	4	24	4	24	
LMO		36	744	34	700	34	700	34	700	34	700	34	700	
SBU		35	130	39	135	70	135	70	185	70	185	70	185	
CBU		43	164	45	144	44	135	43	139	44	138	42	150	
NBU		33	138	30	128	30	122	30	110	30	110	30	110	
Keamanan		2	60	2	60	2	60	2	60	2	60	2	60	
Lain-lain		3	30	3	30	3	30	3	30	3	30	3	30	
<b>Total</b>		<b>249</b>	<b>2523</b>	<b>253</b>	<b>2196</b>	<b>278</b>	<b>2142</b>	<b>275</b>	<b>2341</b>	<b>274</b>	<b>2310</b>	<b>271</b>	<b>2318</b>	

Sumber: Laporan Pelaksanaan RKL-RPL CNOOC Ltd., 2012

Untuk mendukung kegiatan yang berlangsung, disediakan fasilitas berupa hotel untuk tempat tinggal karyawan baik *onshore* maupun *offshore*. Total kamar yang disediakan adalah 184 kamar dengan jumlah tempat tidur 627. Selain itu juga terdapat fasilitas olahraga, *laundry* dan fasilitas pendukung lainnya. Kebutuhan air dipenuhi dengan desalinasi air laut menggunakan unit *Reverse Osmosis* yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

### 4.3 Penyediaan Air Bersih

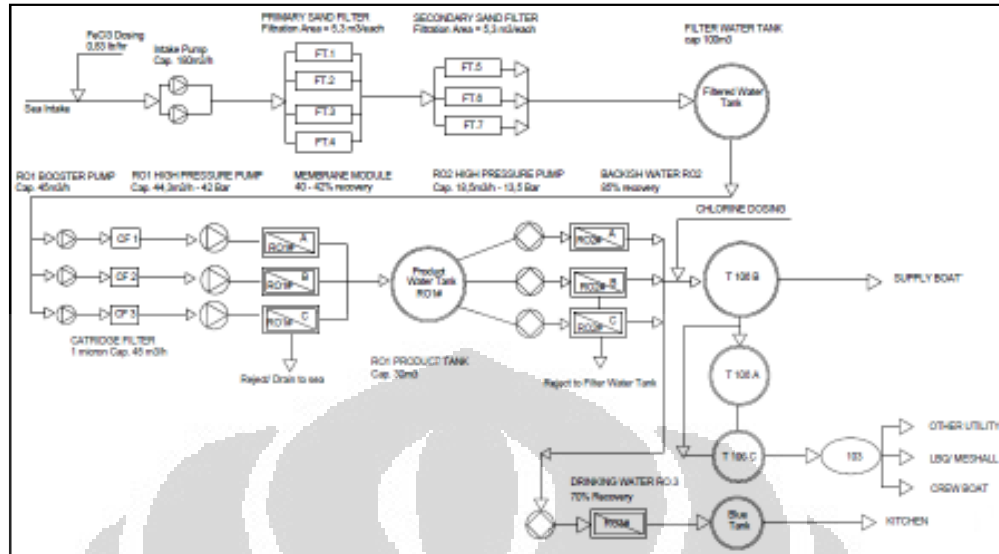
#### 4.3.1 Instalasi Pengolahan Air Bersih

Air merupakan kebutuhan primer manusia yang sangat penting. Sistem penyediaan dan pengelolaan air bersih sangat dibutuhkan agar kebutuhan air manusia dapat terpenuhi. Kepulauan Seribu memanfaatkan air laut untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Begitu juga dengan lokasi pusat produksi migas CNOOC SES Ltd. di Pulau Pabelokan yang melakukan desalinasi air laut. Air laut tersebut diolah menjadi air tawar menggunakan teknologi *reverse osmosis* dengan kapasitas 180 m<sup>3</sup>/jam.

Reverse osmosis merupakan proses yang berkebalikan dengan osmosis. Pada osmosis, jika air tawar dan air laut dipisahkan dengan membran semipermeable, maka air tawar akan terdifusi ke air laut sampai terjadi keseimbangan. Daya penggerak yang mengakibatkan terjadinya aliran dari air tawar ke air laut tersebut disebut dengan tekanan osmosis. Apabila dalam sistem osmosis diberikan tekanan yang lebih besar daripada tekanan osmosis, aliran akan berbalik yaitu dari air asin ke air tawar, melalui membran semi permeabel, sedangkan garam tetap tertinggal sehingga akan semakin pekat. Proses inilah yang disebut dengan *reverse osmosis*.

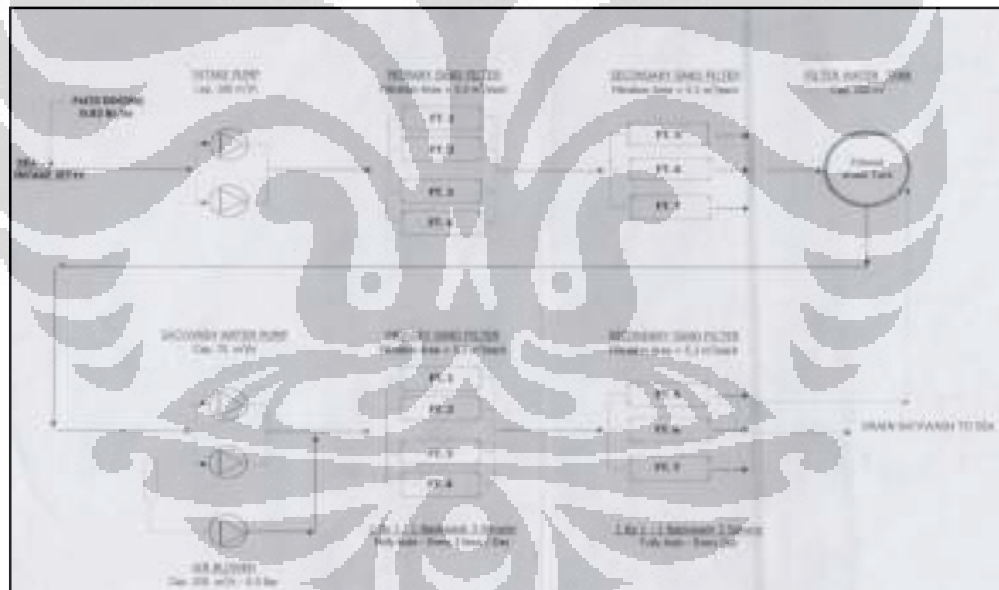
Gambar berikut menunjukkan skema pengolahan *reverse osmosis* di Pulau Pabelokan.





Gambar 4.4 Diagram Alir Desalinasi Unit *Reverse Osmosis*

Sumber: Dokumen PT. Adiprotek Envirodunia, 2012



Gambar 4.5 Diagram Alir Unit *Backwash Reverse Osmosis*

Sumber: Dokumen PT. Adiprotek Envirodunia, 2012

Unit *reverse osmosis* tersebut memiliki beberapa jenis pompa yaitu:

1. *Well Intake Pump* : 2 unit - 2 X 22 kw
2. *Booster Pump* : 3 unit - 3 X 7,5 kw
3. *Sea Water High pressure Pump* : 3 unit - 3 X 75 kw

4. *Brackish Water High Pressure Pump* : 3 unit - 3 X 11 kw

Perlengkapan lain yang digunakan pada proses desalinasi ini diantaranya sistem intake air laut, saringan kasar dan saringan halus, perpipaan air laut, perpipaan air hasil proses (air tawar), tangki penampungan, dan sistem distribusi. Harga air desalinasi ini berdasarkan kontrak adalah \$1,69 per ton. Biaya operasional perbulan yang dibutuhkan kurang lebih 175 juta dengan rincian, 75 juta untuk gaji tenaga kerja yang berjumlah 16 orang dan 100 juta untuk biaya perawatan dan alat.

4.3.2 Pemakaian Air Bersih

Air hasil desalinasi dari proses reverse osmosis yang telah dijelaskan sebelumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan dan fasilitas di Pulau Pabelokan diantaranya

1. Kebutuhan air minum
2. Kolam renang
3. *Gas plant*
4. LQB meliputi kebutuhan hotel, kantor, penyiraman taman dan kebersihan
5. *Laundry*
6. *Warehouse* dan kantor
7. *Cooling tower*
8. *Supplied Boat*

Air yang telah melalui proses desalinasi ditampung pada tangki penyimpanan sebelum didistribusikan sesuai dengan penggunaannya.

Tabel 4.2 Kapasitas Tangki Penyimpanan Air

Tangki Penyimpanan	Kapasitas	Distribusi
T – 106	230 m <sup>3</sup>	Messhall, laundry, cooling tower LQB, kantor, warehouse
T – 106 A	460 m <sup>3</sup>	Gas Plant
T – 106 B	1600 m <sup>3</sup>	Supply Boat
Blue Tank (Drinking)	10 m <sup>3</sup>	Air Minum

Sumber: Dokumen *Report Analysis January* dan pengolahan penulis, 2012

Air hasil desalinasi di dalam tangki penyimpanan memiliki kualitas yang berbeda sesuai dengan pemanfaatannya.

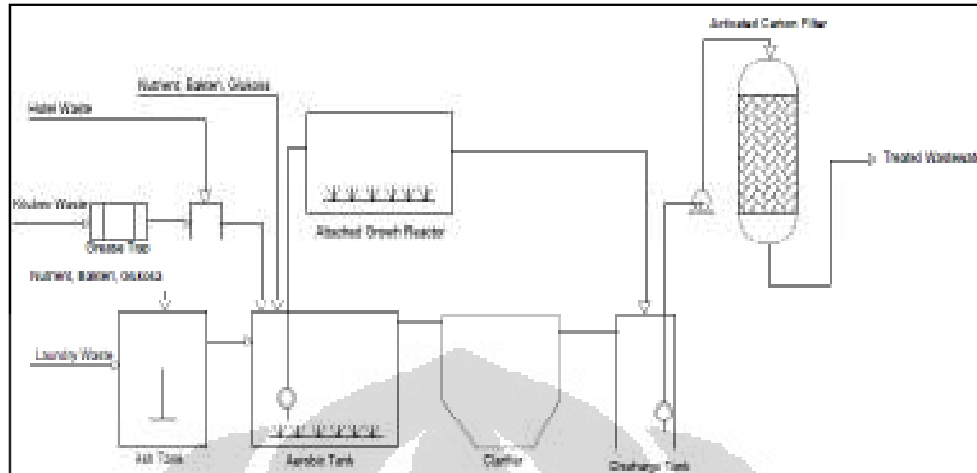
Tabel 4.3 Kualitas Air Desalinasi

Tangki Penyimpanan	Parameter						
	Konduktivitas	TDS	pH	Klorida	Kesadahan	Coliform	E-coli
T-106	307-388	163-392	7,4-7,9	92-126	5-8	-	-
T-106A	70-88	37-47	7,2-7,92	19-28	0	-	-
T-106B	310-397	164-210	7-7,94	92-128	5-8	-	-
Blue Tank	11-37	6-20	7,2-7,8	2-6	0	0	0

Sumber: Dokumen *Report Analysis January* dan pengolahan penulis, 2012

#### 4.4 Pengolahan Limbah Cair Domestik

Seluruh aktivitas manusia tidak terlepas dari produksi limbah sebagai hasil sampingan kegiatan yang dilakukan, baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Pulau Pabelokan telah memiliki instalasi pengolahan limbah cair domestik atau disebut juga dengan *Sewerage Treatment Plant* (STP). Standar kualitas efluen hasil pengolahan STP ini mengacu kepada baku mutu Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi DKI Jakarta. STP menerima air limbah dari hotel, dapur serta *laundry*. Alur pengolahan limbah di pulau Pabelokan dapat dilihat pada berikut.



Gambar 4.6 Diagram *Sewerage Treatment Plant* Pulau Pabelokan

Sumber: Dokumen CNOOC SES Ltd.

STP tersebut terdiri dari beberapa unit pengolahan. Berikut dijelaskan mengenai fungsi masing-masing unit beserta spesifikasinya.

### 1. *Grease Trap*

*Grease trap* menampung limbah dari dapur sebelum dialirkan menuju tangki aerasi. *Grease trap* berfungsi menyaring kandungan lemak yang cukup tinggi dari limbah dapur.



Gambar 4.7 *Grease Trap*

Sumber: STP Pulau Pabelokan

### 2. *Ash Tank*

Limbah yang berasal dari laundry atau pencuci memiliki tingkat pH yang cukup tinggi dengan kata lain bersifat basa. Oleh karena itu, limbah tersebut

diolah terlebih dahulu di dalam *ash tank* untuk menurunkan pH sehingga dapat dicampur dengan limbah lainnya dan diolah di dalam tangki aerasi. Penetralkan pH di dalam *ash tank* dilakukan dengan menambahkan bakteri anaerob beserta nutrisi.



Gambar 4.8 Ash Tank

Sumber: STP Pulau Pabelokan

### 3. Tangki Aerasi (*Aeration Tank*) dan *Clarifier*

Efluen limbah *laundry* dari *grease trap* dan limbah *laundry* dari *ash tank* bercampur dengan limbah hotel di dalam tangki aerasi. Limbah hotel yang sebagian besar berasal dari toilet langsung diolah di dalam tangki aerasi. Pada tangki aerasi, dilakukan penambahan bakteri aerob serta nutrisi untuk bakteri dan gula. Berikut adalah spesifikasi unit aerasi.

Jumlah tangki	= 1
Dimensi (m)	= 7 (W) x 3,73 (L) x 3,5 (D)
Kapasitas	= 78,8 m <sup>3</sup>
Kedalaman Air	= 3 m
Waktu Detensi	= 25 jam

Lumpur yang terbentuk dari proses di unit aerasi, dikumpulkan di dalam tangki pengendapan atau disebut juga dengan *settling tank/ clarifier*.

Jumlah Tangki	= 1
Dimensi (m)	= 1,75 (W) x 3,5 (L) x 3,5 (D)
Kapasitas	= 14,8 m <sup>3</sup>
Kedalaman Air	= 2,9 m

Waktu Detensi = 4,7 jam



Gambar 4.9 Tangki Aerasi

Sumber: STP Pulau Pabelokan

#### 4. *Attached Growth Reactor* (Abiotech Process Tank)

Untuk meningkatkan kapasitas STP eksisting, dilakukan penambahan unit *attached growth reactor*. Unit dengan nama *brand* Abiotech model AB-30 yang diaplikasikan dapat mencapai kapasitas sebanyak 250 m<sup>3</sup>/hari. Selain meningkatkan kapasitas, penambahan unit ini juga meningkatkan kualitas efluen air limbah terutama dalam menurunkan parameter BOD.

##### Spesifikasi *Attached Growth Reactor* (*Abiotech Process Tank*)

Jenis = Rectangular

Dimensi (m) = 2,6 (W) x 8,7 (L) x 2,85 (H)

Ketebalan = 3 mm

Material = SS 304

Struktur tangki merupakan beton dengan media tumbuh bakteri sarang tawon.



Gambar 4.10 *Abiotech Tank* dan Tangki Nutrisi

Sumber: STP Pulau Pabelokan

#### 5. *Discharge Tank*

*Discharge tank* berfungsi untuk menampung air limbah sebelum dialirkan ke unit *activated carbon filter*.

#### 6. *Activated Carbon Filter*

*Activated carbon* adalah adsorben primer yang digunakan dalam proses adsorpsi jenis yang merupakan pengolahan lanjutan. *Activated Carbon* dapat digunakan untuk menurunkan parameter organik, residu anorganik seperti nitrogen dan sulfida serta senyawa yang menyebabkan bau.



Gambar 4.11 *Activated Carbon Filter*

Sumber: Pulau Pabelokan

#### 4.5 Potensi dan Pertimbangan Daur Ulang

Pada bagian sebelumnya telah disebutkan bahwa pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan menerapkan konsep minimasi air limbah melalui kegiatan 3R. Kembali mengingat bahwa daur ulang air limbah lebih ekonomis daripada desalinasi menggunakan *reverse osmosis*, daur ulang tampaknya perlu dikembangkan sehingga dapat digunakan untuk memenuhi sebagian kebutuhan air.

Dengan memanfaatkan pengolahan lanjutan, kualitas efluen air limbah dapat ditingkatkan sesuai dengan aplikasi daur ulang yang diinginkan. Dari tujuh kategori aplikasi air daur ulang yang ditetapkan oleh US EPA, terdapat tiga kategori dapat dilakukan oleh CNOOC SES Ltd. yaitu daur ulang air limbah untuk

1. pengairan lansekap dan taman,
2. aktivitas Industri (*cooling tower*),
3. kebutuhan *nonpotable* (*flushing toilet*),

Pemilihan daur ulang air limbah dilakukan dengan metode pembobotan serta melihat tingkat kebutuhan dan analisis biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan proyek daur ulang.



## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Desalinasi Air Laut Pulau Pabelokan

Setiap hari dilakukan monitoring untuk mengukur jumlah air yang diproduksi serta pemakaian untuk masing-masing kebutuhan. Selain itu juga dilakukan pemeriksaan kualitas air di laboratorium. Jumlah produksi dan pemakaian air selama bulan Januari 2012 dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 menunjukkan air yang digunakan di Pulau Pabelokan. Kebutuhan air untuk LQB merupakan kebutuhan paling besar yaitu sebesar 37,36% dari kebutuhan total. LQB menunjukkan kebutuhan hotel yang memiliki 184 kamar dengan 627 tempat tidur, meliputi kebutuhan untuk mandi, penyiraman toilet dan taman. *Messhal* menunjukkan air yang digunakan untuk kebutuhan di dapur. Pada bulan ini tidak dilakukan pengisian kolam renang, sehingga tidak ada kebutuhan untuk kolam renang. Penggunaan air di *gas plant* adalah yang paling fluktuatif dibandingkan dengan kebutuhan lainnya. Air pada *gas plant* digunakan untuk pemisahan gas dan cairan. Air desalinasi ini tidak digunakan untuk sistem pemadam kebakaran. Air untuk keperluan pemadam kebakaran diambil langsung dari laut, tanpa pengolahan terlebih dulu.

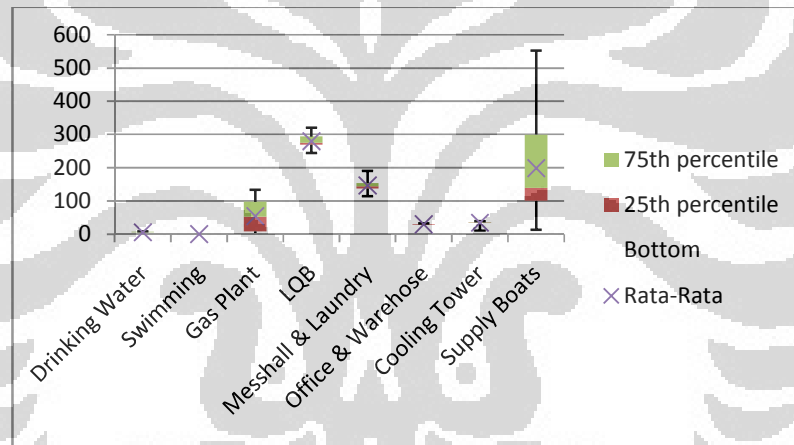
Tabel 5.1 Produksi dan Pemakaian Air Bulan Januari 2012

Date	Previous Stock @ 0:00	PRODUCTION			Calculate Present Stock @ 0:00	Pabelokan CONSUMPTION										Supply Boats		Present Stock @ 0:00
		RO # 1-2	RO # 4	Total		Drinking Water	Swimming	Gas Plant	LQB	Messhall & Laundry	Office & Warehouse	Cooling Tower	Total	Supplied	Total			
1	1.794,00	669,00	170,00	839,00	2.633,00	4,00	0,00	0,00	245,00	143,00	30,00	36,00	608,00	194,00	652,00	1.981,00		
2	1.981,00	629,00	168,00	797,00	2.778,00	9,00	134,00	0,00	273,00	133,00	28,00	31,00	632,00	24,00	632,00	2.146,00		
3	2.146,00	446,00	121,00	567,00	2.713,00	3,00	4,00	0,00	244,00	140,00	31,00	34,00	456,00	137,00	593,00	2.120,00		
4	2.120,00	630,00	173,00	803,00	2.923,00	8,00	55,00	0,00	297,00	142,00	30,00	35,00	567,00	396,00	963,00	1.960,00		
5	1.960,00	635,00	175,00	810,00	2.770,00	1,00	78,00	0,00	270,00	160,00	28,00	35,00	572,00	120,00	692,00	2.078,00		
6	2.078,00	608,00	165,00	773,00	2.851,00	5,00	2,00	0,00	294,00	144,00	32,00	35,00	512,00	217,00	729,00	2.122,00		
7	2.122,00	623,00	173,00	796,00	2.918,00	6,00	116,00	0,00	268,00	157,00	28,00	35,00	610,00	375,00	985,00	1.933,00		
8	1.933,00	632,00	166,00	798,00	2.731,00	5,00	29,00	0,00	250,00	142,00	30,00	39,00	495,00	354,00	849,00	1.882,00		
9	1.882,00	451,00	169,00	620,00	2.502,00	6,00	50,00	0,00	265,00	135,00	28,00	38,00	529,00	104,00	626,00	1.876,00		
10	1.876,00	610,00	170,00	780,00	2.656,00	7,00	70,00	0,00	256,00	137,00	28,00	31,00	529,00	100,00	629,00	2.027,00		
11	2.027,00	651,00	171,00	822,00	2.849,00	5,00	9,00	0,00	287,00	144,00	28,00	34,00	507,00	432,00	939,00	1.910,00		
12	1.910,00	623,00	172,00	795,00	2.705,00	6,00	108,00	0,00	259,00	129,00	28,00	36,00	566,00	13,00	579,00	2.126,00		
13	2.126,00	346,00	45,00	391,00	2.517,00	2,00	8,00	0,00	273,00	136,00	28,00	34,00	481,00	124,00	605,00	1.912,00		
14	1.912,00	678,00	170,00	848,00	2.760,00	7,00	98,00	0,00	271,00	122,00	28,00	35,00	561,00	142,00	703,00	2.057,00		
15	2.057,00	598,00	163,00	761,00	2.818,00	5,00	20,00	0,00	274,00	140,00	28,00	35,00	502,00	101,00	603,00	2.215,00		
16	2.215,00	552,00	116,00	668,00	2.883,00	7,00	90,00	0,00	285,00	123,00	30,00	35,00	570,00	356,00	926,00	1.957,00		
17	1.957,00	599,00	182,00	781,00	2.738,00	4,00	7,00	0,00	270,00	147,00	30,00	36,00	494,00	300,00	794,00	1.944,00		
18	1.944,00	713,00	202,00	915,00	2.859,00	6,00	92,00	0,00	320,00	154,00	32,00	38,00	642,00	41,00	683,00	2.176,00		
19	2.176,00	514,00	181,00	695,00	2.871,00	6,00	7,00	0,00	281,00	158,00	33,00	36,00	521,00	54,00	575,00	2.296,00		
20	2.296,00	409,00	117,00	526,00	2.822,00	8,00	98,00	0,00	303,00	160,00	29,00	39,00	637,00	97,00	734,00	2.088,00		
21	2.088,00	631,00	214,00	845,00	2.933,00	7,00	8,00	0,00	293,00	170,00	30,00	36,00	544,00	552,00	1.096,00	1.837,00		
22	1.837,00	697,00	201,00	898,00	2.735,00	7,00	96,00	0,00	269,00	190,00	30,00	32,00	624,00	124,00	748,00	1.987,00		
23	1.987,00	502,00	199,00	701,00	2.688,00	4,00	6,00	0,00	303,00	114,00	30,00	33,00	490,00	299,00	789,00	1.899,00		
24	1.899,00	673,00	137,00	810,00	2.709,00	5,00	101,00	0,00	292,00	152,00	28,00	36,00	614,00	210,00	824,00	1.885,00		
25	1.885,00	723,00	42,00	765,00	2.650,00	5,00	11,00	0,00	309,00	148,00	30,00	35,00	538,00	127,00	665,00	1.985,00		
26	1.985,00	681,00	77,00	758,00	2.743,00	4,00	92,00	0,00	285,00	154,00	28,00	31,00	594,00	50,00	644,00	2.099,00		
27	2.099,00	641,00	184,00	825,00	2.924,00	5,00	9,00	0,00	298,00	149,00	30,00	35,00	526,00	178,00	704,00	2.220,00		
28	2.220,00	441,00	46,00	487,00	2.707,00	5,00	112,00	0,00	272,00	142,00	28,00	38,00	597,00	20,00	617,00	2.090,00		
29	2.090,00	505,00	146,00	651,00	2.741,00	7,00	13,00	0,00	276,00	147,00	30,00	36,00	509,00	515,00	1.024,00	1.717,00		
30	1.717,00	591,00	179,00	770,00	2.487,00	5,00	100,00	0,00	305,00	180,00	30,00	11,00	631,00	201,00	832,00	1.655,00		

Sumber: Morning Report Januari 2012

Pengisian air untuk kolam renang merupakan kebutuhan kondisional dan tidak dilakukan setiap bulan. Frekuensi pengisian juga tidak teratur dan tidak memiliki jadwal yang tetap. Air akan diganti apabila secara visual tampak kotor, air ini kemudian digunakan untuk menyiram tanaman. Jika dilakukan pengisian kolam renang, dibutuhkan air sebanyak 250 m<sup>3</sup>.

Data yang ditampilkan pada tabel di atas menunjukkan penggunaan air selama satu bulan. Oleh karena itu perlu ditentukan satu data untuk masing-masing penggunaan air yang dapat mewakili dan menggambarkan penggunaan air. Penentuan data dilakukan dengan menganalisis secara statistika untuk mengetahui rentang data, nilai maksimum dan minimum, nilai rata-rata serta nilai tengah yang dapat dilihat pada grafik plot box berikut.



Grafik 5.1 Plot Box Penggunaan Air Pulau Pabelokan Januari 2012

Sumber: Pengolahan penulis, 2012

Grafik boxplot menggambarkan distribusi sampel secara grafik yang menggambarkan distribusi data dan ukuran penyebaran data pengamatan. Grafik Plot Box merupakan representasi nilai kunci statistika data yang biasanya terdiri dari lima bagian utama yaitu nilai minimum, 25<sup>th</sup> persentile data persentil 75% (75<sup>th</sup> persentil), nilai tengah atau median dan nilai maksimum dimana 50% data terletak di dalamnya (Originlab, 2012). Panjang kotak adalah selisih 75<sup>th</sup> persentile dengan 25<sup>th</sup> persentile, semakin panjang grafik plotbox menunjukkan bahwa data semakin menyebar.

Grafik *plot box* menunjukkan bahwa nilai rata-rata untuk air minum, *gas plant*, LQB, *office & warehouse* serta *cooling tower* mendekati nilai tengah. Nilai rata-rata dan nilai tengah yang cukup jauh hanya ditunjukkan oleh penggunaan untuk *supply boat*, karena rentang data yang terlalu jauh atau selisih data minimum dan maksimum cukup besar. Namun demikian nilai rata-rata secara umum mendekati nilai tengah, selain itu penggunaan air setiap harinya juga cukup seragam. Oleh karena itu, selanjutnya penggunaan air akan diwakili oleh nilai rata-rata.

Tabel 5.2 Penggunaan Air Bersih Rata-Rata per Hari

Penggunaan	Kebutuhan (m <sup>3</sup> /hari)	Persentase
Air Minum	5,47	0,73%
<i>Gas Plant</i>	54,1	7,23%
LQB	279,57	37,4%
<i>Laundry</i> dan dapur	146,4	19,6%
<i>Warehouse</i> dan kantor	29,67	3,97%
<i>Cooling Tower</i>	34,44	4,60%
<i>Supply Boat</i>	198,57	26,5%
Kolam Renang*	0	0%

\*Tidak ada pengisian kolam renang

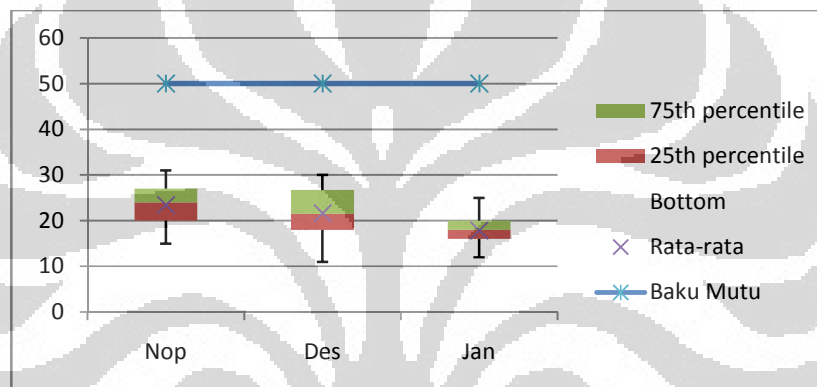
Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

## 5.2 Efluen Sewerage Treatment Plant Pulau Pabelokan

*Sewerage Treatment Plant* Pulau Pabelokan, seperti telah disebutkan pada bagian sebelumnya, menerima influen dari dapur, *laundry* dan limbah *black water* dari hotel, *warehouse* serta kantor. Monitoring terhadap efluen STP dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada pukul 08.00 WIB dan 16.00 WIB. Selain itu, juga diadakan pemeriksaan badan air penerima efluen secara berkala untuk mencegah pencemaran terhadap biota laut. Pada penelitian ini, data yang digunakan untuk analisis adalah hasil monitoring pagi selama 3 bulan yaitu, bulan November 2011, Desember 2011 dan Januari 2012. Data tersebut sudah mewakili

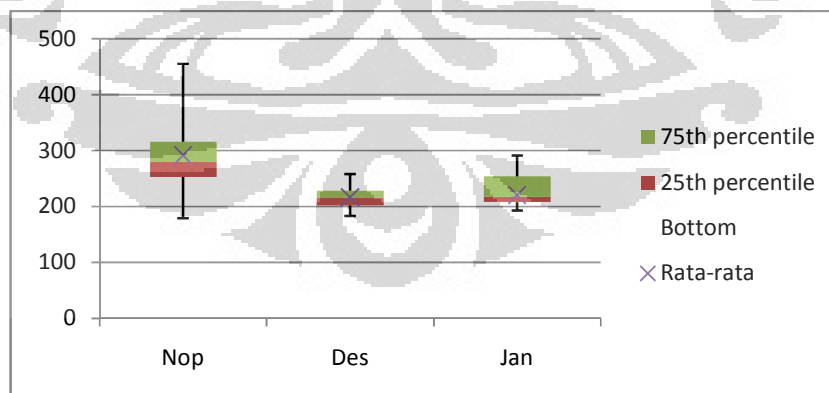
data kualitas efluen STP karena kualitas STP untuk setiap parameter memiliki rentang nilai yang cenderung seragam untuk setiap bulannya.

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa kualitas efluen STP untuk setiap parameter telah berada jauh dibawah standar Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 122 tahun 2005. Sama halnya dengan penggunaan air bersih, penentuan data yang mewakili dan menggambarkan kualitas efluen STP dilakukan melalui analisis secara statistika. Berikut adalah grafik *plot box* kualitas efluen untuk setiap parameter yang diujikan dan debit STP beserta jumlah tenaga kerja yang ada di Pulau Pabelokan.



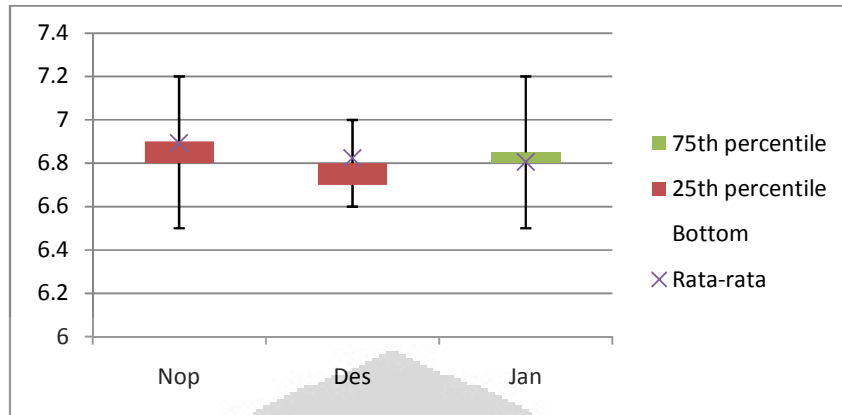
Grafik 5.2 BOD Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



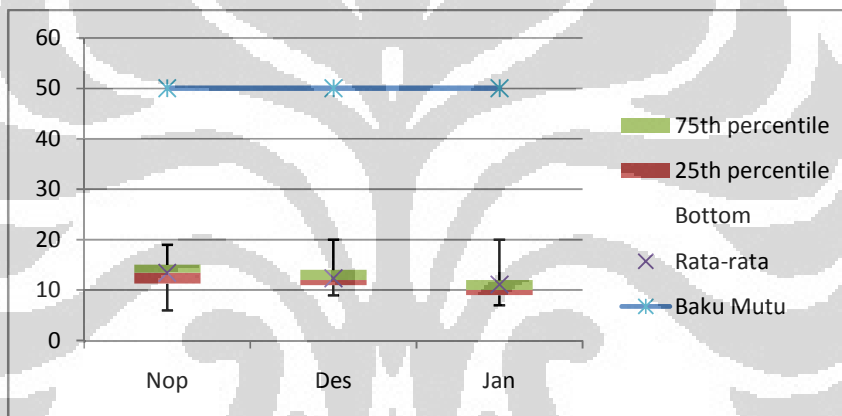
Grafik 5.3 TDS Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



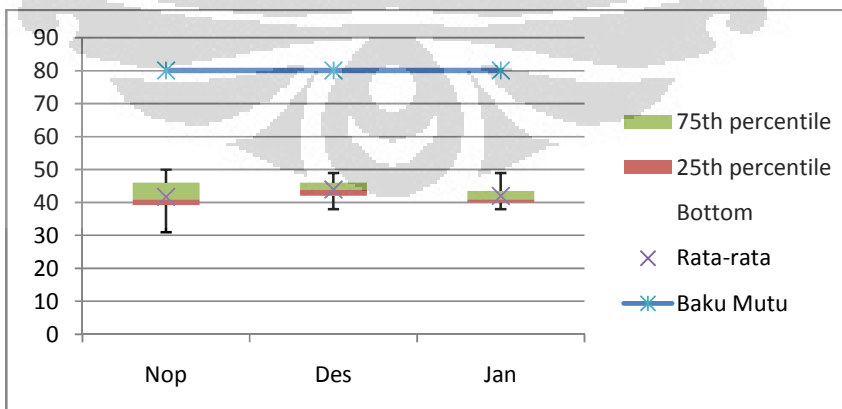
Grafik 5.4 pH Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



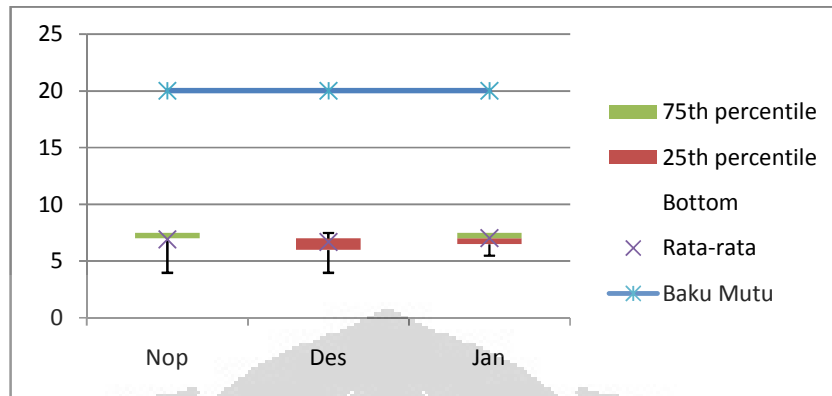
Grafik 5.5 TSS Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

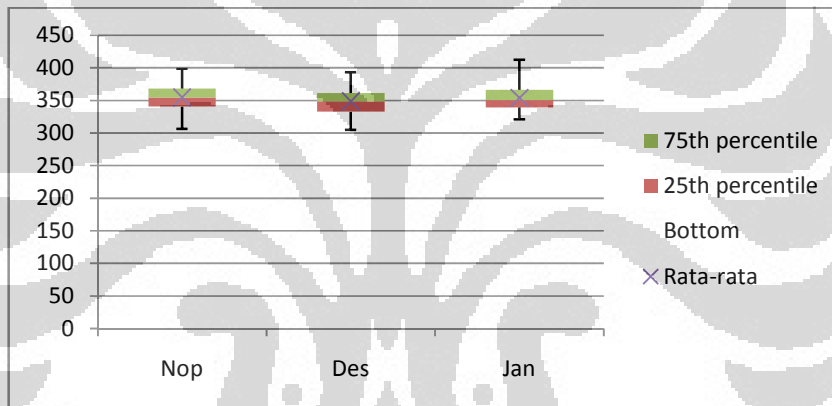


Grafik 5.6 COD Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

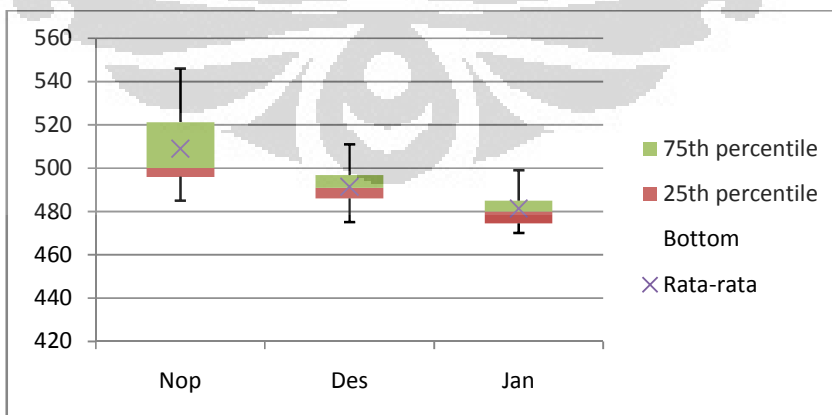
Grafik 5.7 N-NH<sub>3</sub> Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



Grafik 5.8 Flowrate Efluen STP

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



Grafik 5.9 Jumlah Tenaga Kerja di Pulau Pabelokan

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Grafik *plot box* tersebut menunjukkan bahwa nilai rata-rata seluruh parameter mendekati bahkan berimpit dengan nilai tengah dan seragam untuk setiap bulannya. Persebaran data juga seragam meskipun tidak begitu presisi. Oleh karena itu, nilai rata-rata dapat menggambarkan dan mewakili kualitas efluen STP. Untuk selanjutnya digunakan nilai rata-rata kualitas selama 3 bulan untuk menunjukkan kualitas efluen STP secara umum.

Selain parameter fisika dan kimia diatas, juga dilakukan pemeriksaan kualitas biologis efluen STP yaitu *fecal coliform*. Pemeriksaan parameter ini berguna untuk menentukan kebutuhan disinfeksi di akhir pengolahan daur ulang.

Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan *Fecal Coliform*

Waktu pengambilan	Sampel	Jumlah	Satuan
07.21	1	>1600	MPN/100 ml
	2	>1600	MPN/100 ml
09.30	1	>1600	MPN/100 ml
	2	>1600	MPN/100 ml

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Hasil pengujian tersebut menunjukkan efluen STP memiliki konsentrasi *fecal coliform* lebih dari 1600 MPN/100 ml. Konsentrasi *fecal coli* yang besar ini karena tidak terdapat unit disinfeksi yang berfungsi membunuh mikroorganisme. Tabel berikut menunjukkan nilai rata-rata kualitas efluen STP Pabelokan.



Tabel 5.4 Kualitas Efluen STP

Parameter	Satuan	Pergub No. 122/2005	Kualitas Limbah
BOD5	mg/l	50	20,95
Minyak dan lemak	mg/l	20	-
TDS	mg/l	-	242,71
pH	mg/l	-	6,84
TSS	mg/l	50	12,28
COD	mg/l	80	42,53
N (amonia)	mg/l	10	6,87
Fecal coliform	MPN/100ml	-	1600,00
Debit Efluen	m <sup>3</sup> /hari	352,29	

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

### 5.3 Neraca Air

Produksi rata-rata unit *reverse osmosis* yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air adalah sebesar 748 m<sup>3</sup>/hari, dengan kapasitas pompa 180 m<sup>3</sup>/jam. Air hasil desalinasi didistribusikan secara terpisah sehingga masing-masing memiliki pembacaan meteran yang berbeda. Air minum memiliki jaringan distribusi yang berbeda dengan penggunaan lain, begitu juga dengan *gas plant* dan *cooling tower*. *Laundry* dan dapur, serta *warehouse* dan kantor masing-masing memiliki jaringan yang sama. LQB yang meliputi seluruh penggunaan air untuk hotel memiliki jaringan tersendiri. Berbeda dengan penggunaan air lainnya yang sudah spesifik, air untuk LQB mencakup beberapa kebutuhan yang berbeda. Kebutuhan LQB ini terdiri meliputi kebutuhan untuk mandi dan penggelontoran toilet, kebersihan hotel, serta penyiraman taman. Untuk menghitung setiap bagian kebutuhan di dalam LQB, maka dapat diambil beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Kebutuhan air untuk mandi.  
Mandi dengan shower : 30-50 liter (Ditjen Cipta Karya, 2006)
2. Kebutuhan untuk penyiraman taman 3-5 liter/m<sup>2</sup> (Ditjen Cipta Karya, 2006).
3. Kebutuhan kebersihan 10% dari total LQB.

4. Kebutuhan Flushing = LQB – Kebutuhan Mandi – Kebutuhan Penyiraman Taman – Kebutuhan Kebersihan.

Tabel 5.5 Kebutuhan Air Untuk Mandi

<b>Kebutuhan Air Untuk Higien (Mandi)</b>		
POB maks (sesuai jumlah <i>bed</i> )	483	Orang
Debit Air Higien (Mandi)	50	l/orang. hari
<b>Total Air Higien (Mandi)</b>	<b>48,3</b>	<b>m<sup>3</sup>/hari</b>

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 5.6 Kebutuhan Air Untuk Penyiraman Taman

<b>Kebutuhan Air Untuk Penyiraman Taman</b>		
Luas Total	12	Ha
Luas Total	120000	m <sup>2</sup>
Luas Taman	40%	Luas total
Luas Taman	48000	m <sup>2</sup>
Kebutuhan Air Untuk Penyiraman Taman	3	l/m <sup>2</sup>
<b>Total Air Penyiram Taman</b>	<b>144</b>	<b>m<sup>3</sup>/hari</b>

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 5.7 Kebutuhan Air untuk Kebersihan

<b>Kebutuhan Air Untuk Kebersihan</b>		
Kebutuhan	10%	LQB
<b>Total Air Kebersihan</b>	<b>27,96</b>	<b>m<sup>3</sup>/hari</b>

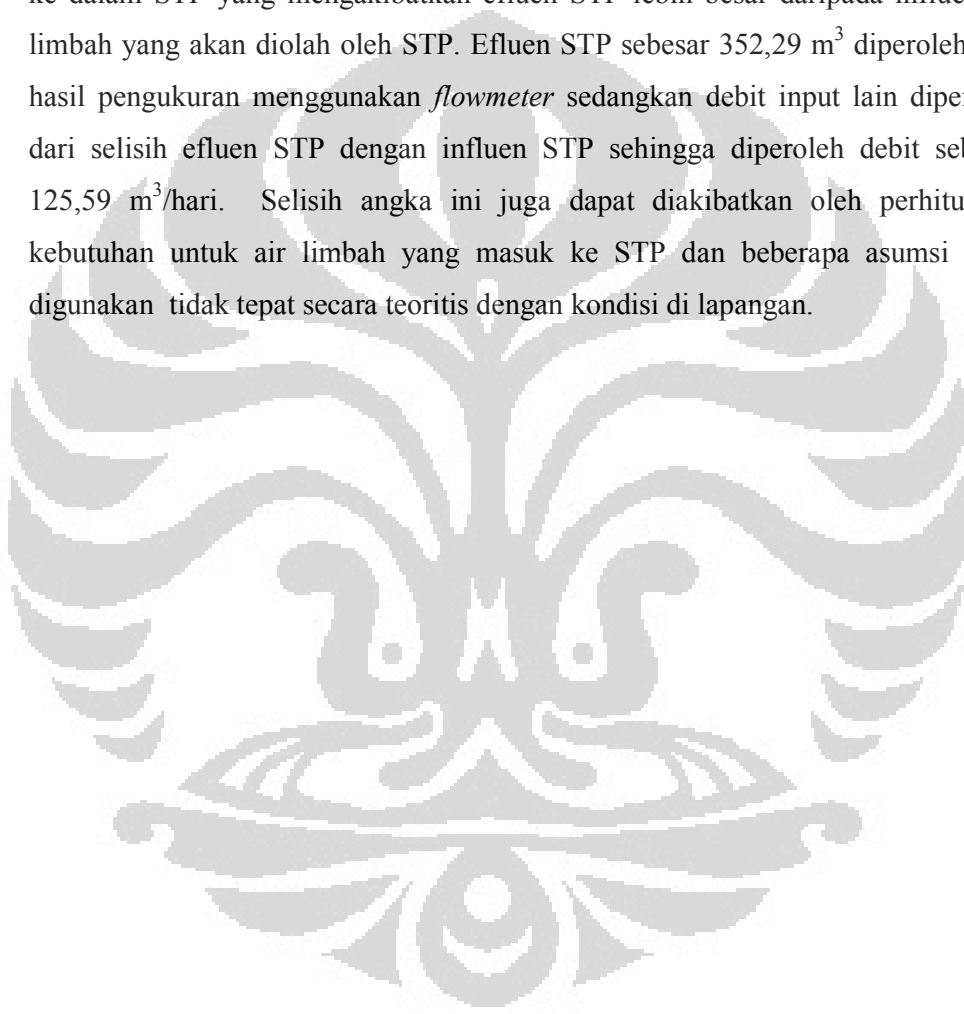
Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

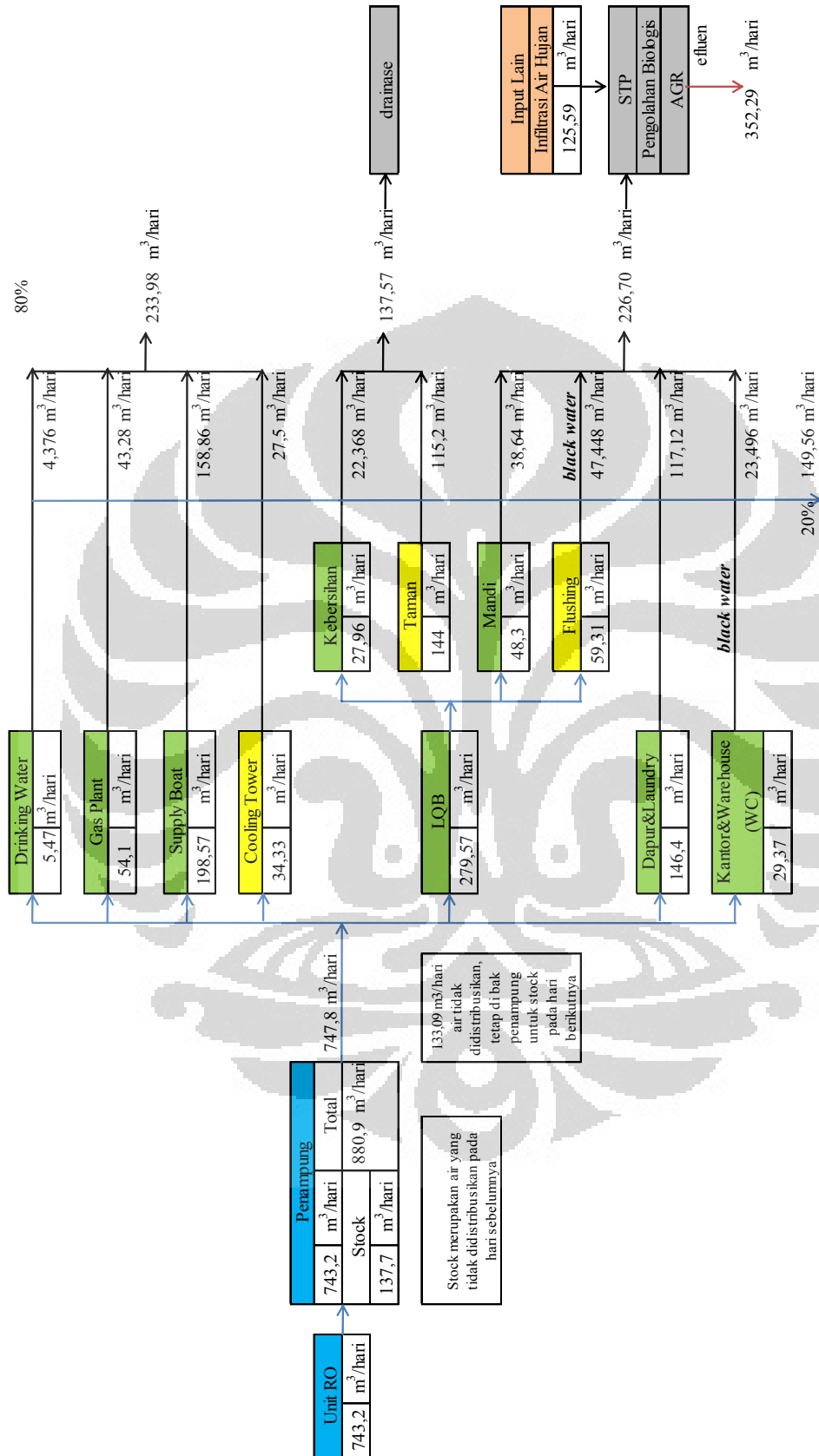
Tabel 5.8 Kebutuhan Air Untuk *Flushing*

<b>Kebutuhan Air Untuk <i>Flushing</i></b>		
<b>Total Air Flushing (hotel)</b>	<b>59,31</b>	<b>m<sup>3</sup>/hari</b>

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Dengan asumsi bahwa 80% air yang digunakan menjadi limbah (Metcalf & Eddy, 2003), dapat dihitung debit limbah yang masuk ke STP serta saluran drainase. Air limbah sisa kebersihan dan penyiraman taman, dialirkan ke saluran drainase. Influen STP sebesar  $226,7 \text{ m}^3/\text{hari}$  berasal dari kamar mandi (mandi dan *flushing* toilet) baik hotel maupun kantor dan warehouse, *laundry* serta dapur. Selain limbah tersebut, terdapat potensi infiltrasi atau input lain terutama air hujan ke dalam STP yang mengakibatkan efluen STP lebih besar daripada influen air limbah yang akan diolah oleh STP. Efluen STP sebesar  $352,29 \text{ m}^3$  diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *flowmeter* sedangkan debit input lain diperoleh dari selisih efluen STP dengan influen STP sehingga diperoleh debit sebesar  $125,59 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Selisih angka ini juga dapat diakibatkan oleh perhitungan kebutuhan untuk air limbah yang masuk ke STP dan beberapa asumsi yang digunakan tidak tepat secara teoritis dengan kondisi di lapangan.





Gambar 5.1 Neraca Air Eksisting  
 Sumber: Dokumen PT. Adiprotek Envirodunia, 2011-2012

Keterangan:

- : Air Bersih Desalinasi
- : Air limbah
- : Efluen STP

#### 5.4 Daur Ulang

Telah dijelaskan sebelumnya, bahwa air bersih di Pulau Pabelokan selama ini diproduksi dari desalinasi air laut menggunakan unit *reverse osmosis*. Dalam pengoperasiannya, dibutuhkan tekanan yang tinggi untuk memisahkan garam dengan air yang artinya kebutuhan energi juga tinggi. Air tersebut digunakan untuk berbagai keperluan dan sisanya akan menjadi limbah yang kemudian diolah lalu dibuang ke laut sebagai badan air penerima. Daur ulang merupakan salah satu usaha peningkatan nilai ekonomis air limbah sehingga dapat digunakan kembali.

Daur ulang efluen limbah cair yang akan menjadi rekomendasi merupakan pemanfaatan kembali efluen hasil olahan STP, dengan pengolahan lanjutan sehingga memenuhi kualitas tertentu sesuai dengan tujuan penggunaannya. Untuk beberapa aplikasi daur ulang seperti irigasi pertanian dan *flushing* toilet, efluen dari pengolahan limbah sekunder sebenarnya sudah cukup memenuhi. Namun demikian, pertimbangan kesehatan dan kelayakan secara estetika mendorong adanya pengolahan lanjutan, terutama untuk penggunaan dengan tingkat paparan yang tinggi terhadap manusia.

Berdasarkan hasil pengamatan dan diskusi, peruntukan daur ulang yang paling potensial untuk dilakukan di Pulau Pabelokan adalah untuk kebutuhan penggelontoran atau *flushing* toilet, penyiraman taman dan *cooling tower*. Air hasil daur ulang ini dapat menambah atau menggantikan penggunaan air hasil desalinasi. *Flushing* toilet dan penyiraman taman membutuhkan air dengan persyaratan yang tidak terlalu tinggi, sehingga bisa dipenuhi dengan air daur ulang. Kebutuhan untuk *cooling tower* juga dapat dipenuhi oleh daur ulang karena tingkat kesadahan air hasil desalinasi rendah yaitu berkisar 5 – 8 ppm  $\text{CaCO}_3$ , dan pada aliran limbah tidak terjadi kontak dengan tanah yang mengakibatkan meningkatnya kesadahan air limbah.

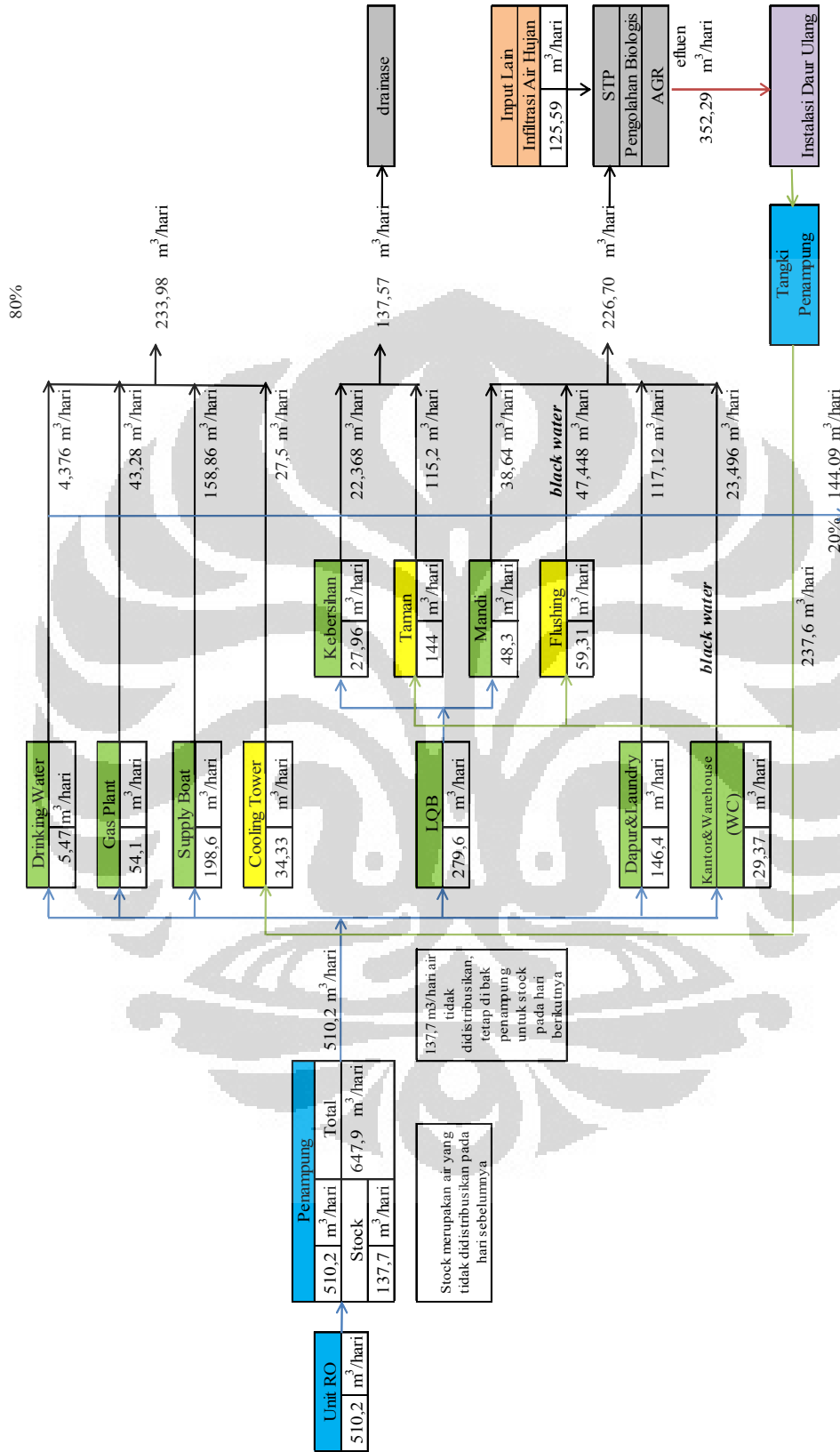
Berdasarkan hasil diskusi dan analisis, diperoleh kebutuhan air untuk daur ulang sebagai berikut.

Tabel 5.9 Debit Kebutuhan Air Daur Ulang

Penggunaan	Debit	Presentase
Penggelontoran ( <i>flushing</i> ) toilet	59,31 m <sup>3</sup> /hari	24,96%
Penyiraman taman	144 m <sup>3</sup> /hari	60,59%
<i>Cooling tower</i>	34,33 m <sup>3</sup> /hari	14,45%
<b>Total</b>	237,64 m <sup>3</sup> /hari	100%
<b>Efluen STP</b>	352,29 m <sup>3</sup> /hari	

Sumber: Neraca Air Pulau Pabelokan, 2011-2012

Air hasil daur ulang menggantikan pemakaian air desalinasi untuk penggelontoran (*flushing*) toilet, penyiraman taman dan *cooling tower*. Dengan demikian, desalinasi air laut dengan *reverse osmosis* berkurang dari 743,2 m<sup>3</sup>/hari menjadi 510,2 m<sup>3</sup>/hari. Berkurangnya air yang diolah akan menurunkan kebutuhan energi untuk pengoperasian unit *reverse osmosis*. Gambar berikut menunjukkan neraca air dilengkapi dengan pemakaian hasil daur ulang efluen STP.



Gambar 5.2 Neraca Air Daur Ulang

Sumber: Neraca Air Pulau Pabelokan, 2011-2012

Keterangan:

- : Air Bersih Desalinasi
- : Air limbah
- : Efluen STP
- : Daur Ulang

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut sebelum melakukan daur ulang terdapat beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Tingkat kebutuhan
2. Biaya daur ulang

Dibandingkan dengan sistem pengolahan air limbah konvensional yang menghasilkan efluen dengan kualitas tunggal untuk pembuangan, tantangan untuk daur ulang lebih besar karena

1. Tujuan kualitas air akan lebih ketat dengan sedikit atau tidak terdapat margin untuk melebihi batas yang ditentukan.
2. Produk air dengan tingkat kualitas yang berbeda dibutuhkan untuk memenuhi berbagai penggunaan.
3. Proteksi kesehatan masyarakat.

Atas dasar pertimbangan tersebut ditentukan target pengolahan untuk daur ulang.

Indonesia belum memiliki kebijakan dan standar khusus yang mengatur tentang daur ulang air limbah. Oleh karena itu, peraturan yang digunakan sebagai standar daur ulang untuk kebutuhan *flushing* toilet, penyiraman taman, dan *cooling tower* ini adalah kualitas air kelas dua sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air. Air kelas dua merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air. Kualitas air kelas dua menurut PP No. 82 tahun 2001 dapat dilihat pada tabel 5.10. Pemilihan air kelas dua ini didasarkan pada jenis pemanfaatan air daur ulang diantaranya penggelontoran toilet, penyiraman taman dan *cooling tower* yang dapat dikategorikan ke dalam air kelas dua dan untuk



pemanfaatan tersebut tidak memerlukan kualitas setinggi air kelas satu yang diperuntukkan sebagai air baku minum.

Parameter penting yang dapat menjadi pertimbangan tetapi tidak dipersyaratkan dalam kualitas air kelas dua adalah amonia. Amonia menjadi pertimbangan karena merupakan salah satu faktor penyebab korosi pada *cooling tower*. Namun, air kelas dua tetap dapat dijadikan sebagai target kualitas daur ulang dengan mempertimbangkan penggunaan air kelas dua lainnya seperti sebagai sarana rekreasi. Pemanfaatan air untuk *cooling tower* dapat dibandingkan dengan pemanfaatan air sebagai sarana rekreasi karena adanya pemanfaatan fasilitas dengan material berupa logam pada keduanya. *Environmental Protection Agency* yang telah menetapkan peraturan daur ulang air limbah untuk berbagai kategori penggunaan secara spesifik termasuk *cooling tower* juga tidak menentukan standar kualitas parameter amonia. Meskipun tidak dipersyaratkan, konsentrasi amonia tetap harus diturunkan dari kondisi awal efluen STP yaitu 6,87 mg/l dengan memanfaatkan unit pengolahan pada instalasi daur ulang yang memiliki kemampuan *removal* amonia tetapi tetap layak untuk diaplikasikan, baik secara teknis maupun ekonomi. Sistem pada *cooling tower* itu sendiri pun dapat mengurangi konsentrasi amonia melalui *blowdown*. Atas dasar pertimbangan yang telah disebutkan tersebut maka air kelas dua dapat dijadikan sebagai target kualitas daur ulang air limbah untuk penyiraman taman, *flushing* toilet dan *cooling tower*. Parameter lain yang menjadi pertimbangan pemakaian air untuk *cooling tower* adalah kesadahan yang berpotensi menyebabkan *scaling*. Jika dilihat dari kesadahan air bersih yang digunakan 5 – 8 CaCO<sub>3</sub>, sedangkan National Academy of Science (NAS) di dalam Metcalf & Eddy, 2003 menetapkan standar kesadahan air daur untuk *cooling tower* adalah sebesar 650 CaCO<sub>3</sub>. Jika dilihat dari standar tersebut maka air limbah yang akan didaur ulang telah memenuhi standar. Potensi peningkatan signifikan kesadahan pada air kecil karena tidak terjadi kontak air limbah dengan tanah yang merupakan salah satu faktor penyebab kesadahan.

Target kualitas dan efisiensi *removal* yang harus dicapai dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.10 Target Kualitas dan Removal Pengolahan Daur Ulang

Parameter	Satuan	Pergub No. 122/2005	Kualitas Limbah	Kelas 2 (PP No. 82/ 2001)	Removal
BOD <sub>5</sub>	mg/l	50	20,95	3	85,68 %
Minyak dan lemak	mg/l	20	-	-	-
TDS	mg/l	-	242,71	-	-
pH	mg/l	-	6,84	6-9	-
TSS	mg/l	50	12,28	50	-
COD	mg/l	80	42,53	25	45,09 %
Amonia	mg/l	10	6,87	-	-
Fecal coliform	MPN/100ml	-	1600,00	1000	37,5 %

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

### 5.5 Pengolahan Daur Ulang

Setelah menentukan target kualitas air daur ulang dan parameter yang harus diturunkan, maka dapat dilakukan pemilihan unit pengolahan yang tepat. Berdasarkan kualitas efluen STP yang akan menjadi influen pada pengolahan daur ulang, parameter yang masih cukup tinggi dan harus diturunkan adalah BOD<sub>5</sub>, COD, amonia, dan *fecal coliform*. Unit pengolahan daur ulang yang dipilih adalah ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* dengan *pretreatment activated carbon*.

Sebelum masuk ke unit daur ulang, perlu dilakukan penyeragaman kualitas serta debit efluen STP yang akan diolah. Oleh karena itu, dibutuhkan unit ekualisasi.

#### Bagian 1

#### Desain Unit Ekualisasi

Unit ekualisasi berfungsi untuk menyeragamkan kualitas dan debit air dan mengantisipasi terjadinya debit maksimum.

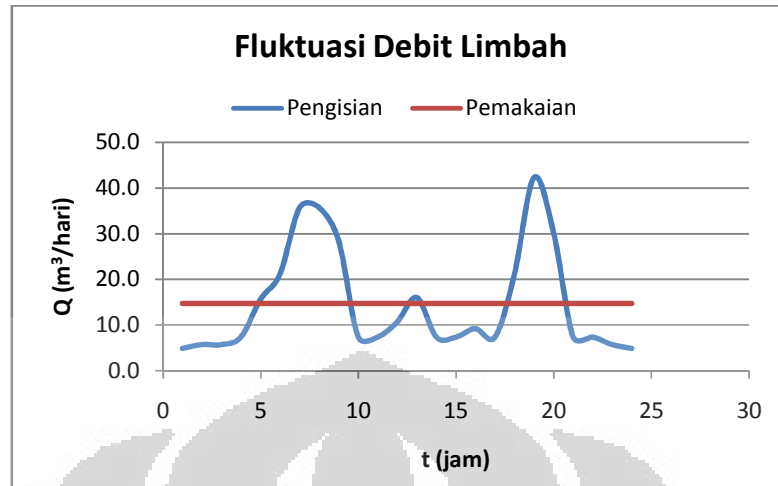
Tabel 5.11 Penentuan Kapasitas Unit Ekuivalensi

Pukul	Pengisian (m <sup>3</sup> /hari)		Pemakaian (m <sup>3</sup> /hari)		Selisih
	Tiap Jam	Akumulasi	Tiap Jam	Akumulasi	
00.00 - 01.00	4,9	4,9	14,7	14,7	-9,8
01.00 - 02.00	5,7	10,6	14,7	29,4	-18,8
02.00 - 03.00	5,7	16,3	14,7	44,0	-27,7
03.00 - 04.00	7,4	23,7	14,7	58,7	<b>-35,0</b>
04.00 - 05.00	15,6	39,4	14,7	73,4	-34,0
05.00 - 06.00	21,2	60,6	14,7	88,1	-27,5
06.00 - 07.00	35,7	96,3	14,7	102,8	-6,5
07.00 - 08.00	35,7	132,0	14,7	117,4	14,6
08.00 - 09.00	28,4	160,4	14,7	132,1	28,3
09.00 - 10.00	7,4	167,8	14,7	146,8	21,0
10.00 - 11.00	7,4	175,2	14,7	161,5	13,7
11.00 - 12.00	10,7	185,9	14,7	176,1	9,7
12.00 - 13.00	16,0	201,9	14,7	190,8	11,1
13.00 - 14.00	7,4	209,3	14,7	205,5	3,8
14.00 - 15.00	7,4	216,6	14,7	220,2	-3,6
15.00 - 16.00	9,2	225,8	14,7	234,9	-9,0
16.00 - 17.00	7,4	233,2	14,7	249,5	-16,4
17.00 - 18.00	21,2	254,4	14,7	264,2	-9,8
18.00 - 19.00	42,3	296,7	14,7	278,9	17,8
19.00 - 20.00	30,2	326,9	14,7	293,6	<b>33,4</b>
20.00 - 21.00	7,4	334,3	14,7	308,3	26,1
21.00 - 22.00	7,4	341,7	14,7	322,9	18,8
22.00 - 23.00	5,7	347,4	14,7	337,6	9,8
23.00 - 00.00	4,9	352,3	14,7	352,3	0,0

\*Berdasarkan pengamatan terhadap aktivitas di lapangan

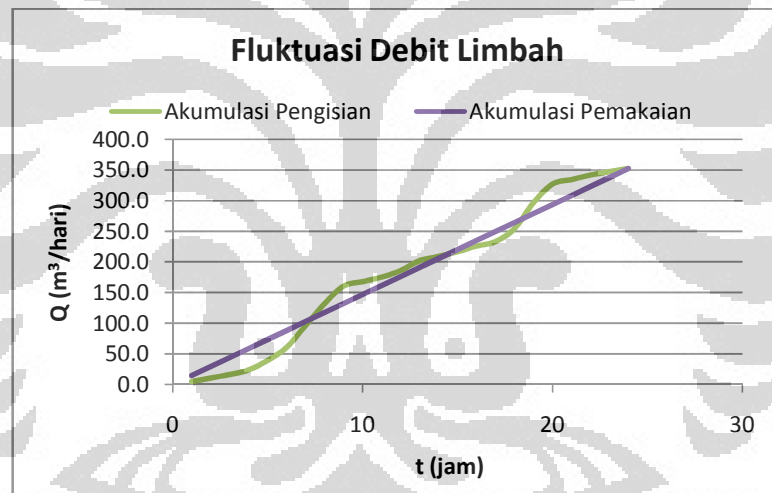
Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Grafik berikut menunjukkan fluktuasi debit air limbah yang diterima unit ekualisasi.



Grafik 5.10 Grafik Fluktuasi Debit Limbah

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



Grafik 5.11 Grafik Akumulatif Debit Limbah

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

#### Kriteria Desain

- Bak ekualisasi didesain sebanyak 1 bak.
- Waktu detensi minimum adalah 4 – 8 jam.

#### Selisih debit akumulatif

- Maksimum =  $33,4 m^3/hari$
- Minimum =  $-34 m^3/hari$

- Debit total =  $352,29 \text{ m}^3/\text{hari}$

$$\text{Kapasitas unit ekualisasi} = |33,4 + (-35)| = 68,4 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Volume (V)} = 68 \text{ m}^3$$

$$\text{Dalam (H)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = \frac{68 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} = 34 \text{ m}^2$$

$$\text{Lebar} = \text{Panjang} = \sqrt{34 \text{ m}^2} = 5,8 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Waktu detensi (t)} = \frac{68 \text{ m}^3}{352,29 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}} = 4,6 \text{ jam}$$

Struktur Influen

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

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

*Bagian 2*

### **Pretreatment – Carbon Adsorbtion**

Untuk mencegah *clogging* yang terlalu cepat pada membran yang dapat memperpendek umur membran, diperlukan *pretreatment*. Unit *pretreatment* yang dipilih adalah *carbon adsorbtion* dengan *activated carbon*. *Activated Carbon* dapat mengurangi konsentrasi partikel yang secara bersamaan dapat menurunkan konsentrasi BOD dan COD. Selain itu *activated carbon* juga dapat menurunkan konsentrasi amonia dan *coliform* pada air yang diolah serta menghilangkan bau dan warna pada air.

*Desain Filter Activated Carbon*

Jenis Activated Carbon : Granular Activated Carbon

Tabel 5.12 Ketentuan Desain kontaktor GAC

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Volum	V	m <sup>3</sup> /h	50-400
Volum Bed	V <sub>b</sub>	m <sup>3</sup> /h	10-50
Luas Potongan Melintang	A <sub>b</sub>	m <sup>2</sup>	5-30
Panjang	D	M	1,8-4
Fraksi void	A	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0,38-0,42
Massa jenis GAC	P	kg/m <sup>3</sup>	350-550
Iodine Number			600-1100
Kecepatan	v <sub>f</sub>	m/h	5-15
Waktu kontak efektif	t	menit	2-10
<i>Empty bed contact time</i>	EBCT	menit	5-30
Waktu operasi	t	hari	100-600
<i>Troughput volume</i>	V <sub>I</sub>	m <sup>3</sup>	10-100
<i>Specific throughput</i>	V <sub>sp</sub>	m <sup>3</sup> /kg	50-200

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

1) Mencari jumlah filter GAC

$$Q = 352,29 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Waktu operasi unit 20 jam, sehingga debit per jam,

$$Q = \frac{352,29 \text{ m}^3/\text{hari}}{20 \text{ jam}/\text{hari}} = \frac{17,61 \text{ m}^3}{\text{jam}}$$

$$\text{Kapasitas Tabung Filter} = 1,5 \text{ m}^3/\text{jam} \text{ (} 1,4 \text{ m}^3/\text{jam} - 1,8 \text{ m}^3/\text{jam} \text{)}$$

$$\text{Kebutuhan Filter} = \frac{Q}{\text{Kapasitas Filter}} = \frac{17,61 \text{ m}^3/\text{jam}}{1,5 \text{ m}^3/\text{jam}} = 11,7 \text{ unit}$$

$$\approx 12 \text{ unit}$$

Menambah 2 filter cadangan, sehingga disediakan 14 filter karbon aktif.

## 2) Mencari Waktu Kontak

*Ukuran Tabung Filter*

Diameter tabung filter = 12 inch = 0,305 m

Tinggi tabung filter = 1,5 m

Tinggi *Activated Carbon* pada tabung filter = 0,9 m

$$\begin{aligned} \text{Volume Activated Carbon} &= \frac{3,14\pi d^2}{4} \times t \\ &= \frac{3,14\pi \times 0,3048^2}{4} \times 0,9 = 0,0656\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Debit air per tabung filter} = \frac{17,61\text{m}^3/\text{jam}}{14} = 1,258\text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu kontak} = \frac{\text{Volume}}{\text{Debit}} = \frac{0,0656\text{m}^3}{1,258\text{m}^3/\text{jam}} = 0,0522\text{ jam} = 3,13\text{ menit}$$

Waktu kontak memenuhi persyaratan waktu kontak efektif *activated carbon* yaitu 2 – 10 menit. (Tabel 5.12)

## 3) Mencari massa GAC yang dibutuhkan

Jenis *Activated Carbon* : Arang (Kelapa)

Massa 2 liter karbon = 1 kg (PT. Inzan Permata, 2012)

$$\rho_{GAC} = 500\text{ g/l} = 500\text{ kg/m}^3$$

$$V_{AC} = 0,0656\text{ m}^3$$

$$\rho_{GAC} = \frac{m_{GAC}}{V_b} \quad (5.1)$$

$$m_{GAC} = \rho_{GAC} \cdot V_b \quad (5.2)$$

$$m_{GAC} = \frac{500\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,0656\text{ m}^3 = 32,8\text{ kg/tabung}$$

Massa *activated carbon* yang dibutuhkan untuk satu tabung filter adalah 32,8 kg, sehingga untuk 14 tabung filter dibutuhkan 459 kg atau 459.000 gram.

## 4) Mencari Laju Penggunaan Karbon (CUR)

Waktu penggunaan karbon = t = 100 hari

$$CUR = \frac{m_{GAC}}{Q \cdot t} \quad (5.3)$$

$$CUR = \frac{m_{GAC}}{Q \cdot t} = \frac{459480 \text{ kg GAC}}{352290 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} \cdot 100 \text{ hari}} = 0,013 \text{ gram GAC/liter}$$

### 5) Mencari Umur Bed

Volume Air yang diolah (V) selama 100 hari

$$V = \frac{m_{GAC}}{CUR} = \frac{459480 \text{ gram GAC}}{0,013 \text{ gram GAC/liter}} = 35.229.000 \text{ liter} \quad (5.4)$$

Umur Bed (d)

$$d = \frac{V_{water}}{Q} \quad (5.5)$$

$$d = \frac{V_{water}}{Q} = \frac{35.229.000 \text{ liter}}{352290 \text{ liter/hari}} = 100 \text{ hari}$$

### Bagian 3

### Alternatif Unit Daur Ulang

#### 1. Ultrafiltrasi

Tabel 5.13 Efisiensi Unit Pengolahan dan Kualitas Efluen

Parameter	Influen	Activated Carbon*	Efluen AC	Ultrafiltrasi **	Efluen UF	UV **	Efluen Akhir	Baku Mutu***
BOD <sub>5</sub>	20,95	75%	5,24	85%	0,79	-	0,79	3
COD	42,53	75%	10,63	80%	2,13	-	2,13	25
NH <sub>3</sub>	6,87	50%	3,43	15%	2,92	-	2,92	-
TDS	242,71	-	242,71	2%	237,86	-	237,86	-
TSS	12,28	60%	4,91	95%	0,25	-	0,25	50
Fecal Coli	1600	50%	800,00	-	800,00	95%	40,00	1000

Sumber: \*Qasim, 1985, \*\*Metcalf & Eddy, 2003, \*\*\*PP No. 82 Tahun 2001 (Air Kelas 2)

#### a. Ultrafiltrasi

Menghitung *Filter Cartridge*



*Filter cartridge* merupakan penyaring pelengkap dengan ukuran pori 0,5 mikron untuk menjamin air yang masuk ke unit ultrafiltrasi memenuhi persyaratan membran.

- Waktu operasi unit = 20 jam/hari
- $Q$  = 352,29 m<sup>3</sup>/hari = 294 liter/menit
- Kapasitas filter = 30 liter/menit

$$\text{Kebutuhan modul membran} = \frac{294 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}}{30 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}} = 9,79 \text{ unit} = 10 \text{ unit}$$

### Desain Ultrafiltrasi

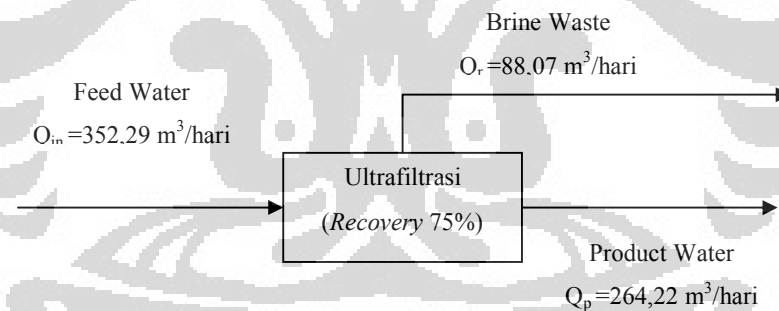
#### 1) Menghitung Debit *Product Water*

$$\text{Debit Feed Water } (Q_{in}) = 352,29 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Asumsi efisiensi ultrafiltrasi} = 75\% (70\% - 80\%)$$

$$\text{➤ Product water } (Q_p) = 264,22 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{➤ Brine Waste } (Q_r) = 88,07 \text{ m}^3/\text{hari}$$



Debit *product water* memenuhi kebutuhan daur ulang yaitu sebesar = 237,64 m<sup>3</sup>/hari.

#### 2) Menghitung Modul Membran Ultrafiltrasi

- Waktu operasi unit = 20 jam/hari
- $Q_p$  = 264,22 m<sup>3</sup>/hari = 13211 liter/jam
- Kapasitas modul membran = 1250 – 1500 liter/jam
- Dimensi modul membran = Diameter 6 inch x panjang 60 inch

$$\text{Kebutuhan modul membran} = \frac{13210,888 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}}{1500 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}} = 8,8 \text{ unit}$$

Menambah 2 membran modul sebagai cadangan, sehingga total membran 10 unit.

### 3) Menghitung Konsumsi Daya

$$\text{Tekanan Operasi Pompa} = 0,25 \text{ kW/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Pompa per jam} &= \text{desain tekanan operasi} \times \text{debit} & (5.6) \\ &= 0,25 \text{ kW/m}^3 \times 13,211 \text{ m}^3 = 3,30 \text{ kW} \end{aligned}$$

Asumsi efisiensi pompa 95%

$$\text{Daya Pompa} = \frac{3,303 \text{ kW}}{0,95} = 3,48 \text{ kW}$$

Asumsi efisiensi motor 90%

$$\text{Daya Motor} = \frac{3,477 \text{ kW}}{0,90} = 3,86 \text{ kW}$$

### Disinfeksi

#### Desain Ultra Violet (UV)

Desain disinfeksi menggunakan unit ultraviolet (UV). Beberapa kelebihan UV sebagai disinfeksi dibandingkan dengan disinfeksi kimiawi yaitu:

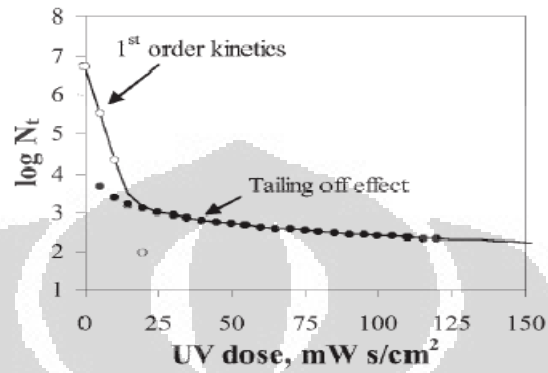
- Menghasilkan lebih sedikit produk sampingan
- Efektif membunuh bakteri dan virus serta patogen
- Ekonomis serta pemasangan dan operasi yang mudah
- Waktu kontak singkat
- Tidak dibutuhkan penyimpanan disinfektan

Unit pengolahan daur ulang ini menghindari penggunaan bahan kimia seperti klorin. Selain sebagai disinfektan, klorin juga dapat mengurangi amonia melalui *breakpoint chlorination*, tetapi untuk mencapai *removal* amonia yang tinggi dibutuhkan klorin dalam jumlah yang besar sehingga justru kurang efektif jika digunakan.

## 1) Dosis UV

Target pengolahan : *fecal coliform* > 100 MPN/100ml

Agar bakteri menjadi 100 MPN/ 100 ml, dosis UV yang dibutuhkan = 150 mW s/cm<sup>2</sup>.



Gambar 5.14 Respon Bakteri terhadap Dosis UV

Sumber: Lawrence K. Wang, et all, 2006

## 2) Safety factor

*Safety factor* untuk dosis UV yang dibutuhkan berkaitan dan umur lampu dan *fouling*.

Safety factor = 1,2

Reduksi UV akibat umur = 25%

Reduksi UV akibat *fouling* = 35%

$$\text{Kebutuhan Dosis UV} = \frac{\text{Dosis UV}}{(1 - \text{Reduksi UV akibat umur}) \times (1 - \text{Reduksi UV akibat fouling})} \quad (5.7)$$

$$\text{Kebutuhan Dosis UV} = \frac{150 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2}{(1 - 0,25) \times (1 - 0,35)} \times 1,2 = 308 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2$$

## 3) Intensitas UV

Tabel 5.14 Absorbansi Air

Jenis Air	Absorbansi (cm <sup>-1</sup> )
Efluen Primer	0,5 - 0,8
Efluen Sekunder	0,17 - 0,5
Efluen Sekunder Nitrifikasi	0,25 - 0,45
Efluen Sekunder Filtrasi	0,2 - 0,4
Efluen Sekunder Mikrofilter	0,158 - 0,3
Efluen Reverse Osmosis	0,05 - 0,2
Air Distilasi	10 <sup>-6</sup>
Air Tanah Kualitas Baik	0,005 - 0,01
Air Distribusi Kualitas Baik	0,01 - 0,11
Ion Karbonat (50 mg/L)	4 x 10 <sup>-6</sup>
Asam Humus Alami Air	0,07 - 0,16
Air Tanah dengan Konsentrasi Asam Humus	0,11 - 0,5

Sumber: Lawrence K. Wang, et all, 2006

$$\text{Absorbansi air (A)} = 0,2 \text{ cm}^{-1} \text{ (secondary effluen)}$$

$$\text{Panjang gelombang UV yang diinginkan (I}_t\text{)} = 254 \text{ nm} = 254 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$A = \log_{10} \frac{I_o}{I_t} \quad (5.8)$$

$$A = \log_{10} I_o - \log_{10} I_t \quad (5.9)$$

$$0,2 = \log_{10} I_o - \log_{10} (254 \times 10^{-7})$$

$$0,2 = \log_{10} I_o + 4,595$$

$$\log_{10} I_o = -4,395$$

$$I_o = 4,025 \times 10^{-5} \text{ cm} = 402 \text{ nm}$$

## 4) Transmittance

$$UVT(\%) = \frac{I_t}{I_o} \times 100 \quad (5.10)$$

$$UVT (\%) = \frac{254}{402} \times 100 = 63\%$$

Nilai transmittence tersebut menunjukkan dibutuhkan pengolahan sebelum disinfeksi dengan UV.

5) Menghitung waktu *exposure*

$$\text{Intensitas UV} = 6 \text{ mW/cm}^2$$

$$\text{Waktu exposure} = \frac{\text{Kebutuhan Dosis UV}}{\text{Intensitas UV}} \quad (5.11)$$

$$\text{Waktu exposure} = \frac{307,69 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2}{6 \text{ mW/cm}^2} = 51,3 \text{ s}$$

6) Volume air yang didisinfeksi berdasarkan waktu *exposure* dan debit

Debit influen UV = Debit *permeate* ultrafiltrasi

$$Q = 264,22 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,67 \text{ liter/sekon (dengan waktu pengoperasian 20 jam)}$$

$$\text{Volume air} = \text{debit} \times \text{waktu exposure} = 3,67 \text{ L/s} \times 51,28 \text{ s} = 188,19 \text{ liter/sekon}$$

7) Jumlah lampu yang dibutuhkan untuk disinfeksi UV

Volume air yang diolah per lampu UV = 8 Liter

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = \frac{188,19 \text{ liter}}{8 \text{ liter}} = 23,52 = 24 \text{ lampu UV}$$

8) Jumlah Tabung UV

$$\text{Kapasitas tabung UV} = 8 \text{ gpm (1 galon} = 3,79 \text{ liter)}$$

$$= 30,3 \text{ liter/menit}$$

$$\text{Debit air yang diolah} = 264 \text{ m}^3/\text{hari} = 220,18 \text{ liter/menit}$$

$$\text{Kebutuhan tabung} = \frac{220,181 \text{ liter/menit}}{30,28 \text{ liter/menit}} = 7,25 = 8 \text{ tabung}$$

## 2. Reverse Osmosis – Disinfeksi

Sama halnya dengan ultrafiltrasi, *reverse osmosis* juga membutuhkan *pretreatment* untuk mengurangi beban membran sehingga memiliki umur pakai yang lebih panjang.

Tabel 5.15 Efisiensi Unit Pengolahan dan Kualitas Efluen

Parameter	Influent	Activated Carbon*	Efluen AC	Reverse Osmosis **	Efluen RO	UV **	Efluen Akhir	Baku Mutu ***
<b>BOD<sub>5</sub></b>	20,95	75%	5,24	60%	2,10	-	2,10	3
<b>COD</b>	42,53	75%	10,63	90%	1,06	-	1,06	25
<b>NH<sub>3</sub></b>	6,87	50%	3,43	95%	0,17	-	0,17	-
<b>TDS</b>	242,71	-	242,71	90%	24,27	-	24,27	-
<b>TSS</b>	12,28	60%	4,91	95%	0,25	-	0,25	50
<b>Fecal Coli</b>	1600	50%	800	-	800,00	95%	40,00	1000

Sumber: \*Qasim, 1985, \*\*Metcalf & Eddy, 2003, \*\*\*PP No. 82 Tahun 2001 (Air Kelas 2)

## 2. Reverse Osmosis - Disinfeksi

### a. Reverse Osmosis

Menghitung *Filter Cartridge*

Sama halnya dengan ultrafiltrasi, pengolahan dengan *reverse osmosis* juga didahului oleh *Filter cartridge* dengan ukuran pori 0,5 mikron.

- Waktu operasi unit = 20 jam/hari
- Q = 352,29 m<sup>3</sup>/hari = 294 liter/menit
- Kapasitas filter = 30 liter/menit

$$\text{Kebutuhan modul membran} = \frac{294 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}}{30 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}} = 9,79 \text{ unit} = 10 \text{ unit}$$

*Desain Reverse Osmosis*

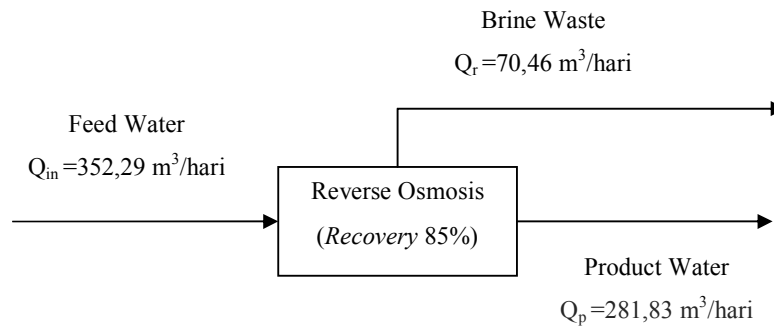
#### 1) Menghitung Debit *Product Water*

$$\text{Debit Feed Water (Q}_{\text{in}}) = 352,29 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Asumsi efisiensi ultrafiltrasi} = 80\% (70\% - 85\%)$$

$$\text{➤ Product water (Q}_{\text{p}}) = 281,83 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{➤ Brine Waste (Q}_{\text{r}}) = 70,46 \text{ m}^3/\text{hari}$$



Debit *product water* memenuhi kebutuhan daur ulang yaitu sebesar = 281,83 m<sup>3</sup>/hari.

## 2) Menghitung Modul Membran

- Waktu operasi unit = 20 jam/hari
- $Q_p$  = 281,83 m<sup>3</sup>/hari = 14091 liter/jam
- Kapasitas modul membran = 11500 galon/hari = 1814 liter/jam

$$\text{Kebutuhan modul membran} = \frac{14091,6 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}}{1814 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}} = 7,77 \text{ unit} = 8 \text{ unit}$$

Menambah 2 membran modul sebagai cadangan, sehingga total 10 membran.

## 3) Menghitung Konsumsi Daya

$$\text{Tekanan Operasi Pompa} = 2,75 \text{ kW/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Pompa per jam} &= \text{desain tekanan operasi} \times \text{debit} \\ &= 2,75 \text{ kW/m}^3 \times 18,136 \text{ m}^3 = 38,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

Asumsi efisiensi pompa 95%

$$\text{Daya Pompa} = \frac{38,752 \text{ kW}}{0,95} = 40,8 \text{ kW}$$

Asumsi efisiensi motor 90%

$$\text{Daya Motor} = \frac{40,791 \text{ kW}}{0,90} = 45,3 \text{ kW}$$

## b. Ultraviolet

Desain ultraviolet sebagai disinfeksi setelah *reverse osmosis* secara umum sama dengan desain UV setelah ultrafiltrasi. Namun, terdapat perbedaan debit yang diterima berdasarkan efisiensi ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* yang mempengaruhi debit *product water*.

### 1) Dosis UV

Target pengolahan = *fecal coliform* 100 MPN/100ml

Agar bakteri menjadi 100 MPN/ 100 ml, dosis UV yang dibutuhkan = 150 mW s/cm<sup>2</sup>.

### 2) Safety factor

*Safety factor* untuk dosis UV yang dibutuhkan berkaitan dan umur lampu dan *fouling*.

Safety factor = 1,2

Reduksi UV akibat umur = 25%

Reduksi UV akibat *fouling* = 35%

$$\text{Kebutuhan Dosis UV} = \frac{150 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2}{(1 - 0,25) \times (1 - 0,35)} \times 1,2 = 308 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2$$

### 3) Intensitas UV

Absorbansi air (A) = 0,2 cm<sup>-1</sup> (secondary effluen)

Panjang gelombang UV yang diinginkan (I<sub>t</sub>) = 254 nm = 254 × 10<sup>-7</sup> cm

$$A = \log_{10} \frac{I_o}{I_t}$$

$$A = \log_{10} I_o - \log_{10} I_t$$

$$0,2 = \log_{10} I_o - \log_{10} (254 \times 10^{-7})$$

$$0,2 = \log_{10} I_o + 4,595$$

$$\log_{10} I_o = -4,395$$

$$I_o = 4,025 \times 10^{-5} \text{ cm} = 402 \text{ nm}$$



## 4) Transmittance

$$UVT(\%) = \frac{I_t}{I_o} \times 100$$

$$UVT(\%) = \frac{254}{402} \times 100 = 63\%$$

Nilai *transmittance* tersebut menunjukkan dibutuhkan pengolahan sebelum disinfeksi dengan UV.

5) Menghitung waktu *exposure*

$$\text{Intensitas UV} = 6 \text{ mW/cm}^2$$

$$\text{Waktu exposure} = \frac{308 \text{ mW.s/cm}^2}{6 \text{ mW/cm}^2} = 51,3 \text{ s}$$

## 6) Volume air yang didisinfeksi berdasarkan waktu exposure dan debit

Debit influen UV = Debit permeate ultrafiltrasi

$$Q = 299,45 \text{ m}^3/\text{hari} = 4,16 \text{ liter/sekon (dengan waktu pengoperasian 20 jam)}$$

$$\text{Volume air} = \text{debit} \times \text{waktu exposure} = 4,16 \text{ L/s} \times 51,28 \text{ s} = 213,28 \text{ liter}$$

## 7) Jumlah lampu UV yang dibutuhkan

Volume air yang diolah per lampu UV = 8 Liter

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = \frac{213,28 \text{ liter}}{8 \text{ liter}} = 26,66 = 27 \text{ lampu UV}$$

## 9) Jumlah Tabung UV

$$\text{Kapasitas tabung UV} = 8 \text{ gpm (1 galon} = 3,785 \text{ liter)}$$

$$= 30,3 \text{ liter/menit}$$

$$\text{Debit air yang diolah} = 241 \text{ liter/menit}$$

$$\text{Kebutuhan tabung} = \frac{241 \text{ liter/menit}}{30,3 \text{ liter/menit}} = 7,7 \text{ tabung} = 8 \text{ tabung}$$

## Bagian 4

**Tangki Penampung**

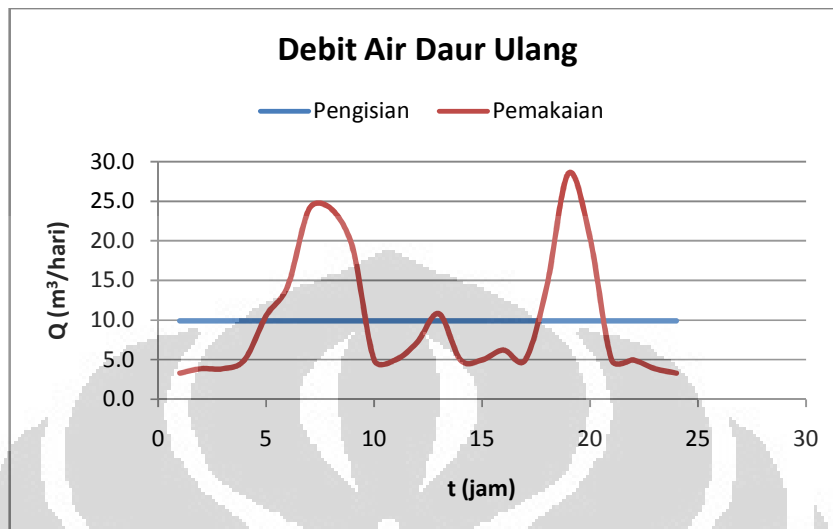
Tabel 5.16 Penentuan Kapasitas Tangki Penampung

Pukul	Pengisian (m <sup>3</sup> /hari)		Pemakaian (m <sup>3</sup> /hari)		Selisih
	Tiap Jam	Akumulasi	Tiap Jam	Akumulasi	
00.00 - 01.00	9,9	9,9	3,3	3,3	6,6
01.00 - 02.00	9,9	19,8	3,9	7,2	12,6
02.00 - 03.00	9,9	29,7	3,9	11,0	18,7
03.00 - 04.00	9,9	39,6	5,0	16,0	<b>23,6</b>
04.00 - 05.00	9,9	49,5	10,6	26,5	23,0
05.00 - 06.00	9,9	59,4	14,3	40,9	18,5
06.00 - 07.00	9,9	69,3	24,1	64,9	4,4
07.00 - 08.00	9,9	79,2	24,1	89,0	-9,8
08.00 - 09.00	9,9	89,1	19,2	108,2	-19,1
09.00 - 10.00	9,9	99,0	5,0	113,2	-14,2
10.00 - 11.00	9,9	108,9	5,0	118,2	-9,3
11.00 - 12.00	9,9	118,8	7,2	125,4	-6,6
12.00 - 13.00	9,9	128,7	10,8	136,2	-7,5
13.00 - 14.00	9,9	138,6	5,0	141,1	-2,5
14.00 - 15.00	9,9	148,5	5,0	146,1	2,4
15.00 - 16.00	9,9	158,4	6,2	152,3	6,1
16.00 - 17.00	9,9	168,3	5,0	157,3	11,0
17.00 - 18.00	9,9	178,2	14,3	171,6	6,6
18.00 - 19.00	9,9	188,1	28,5	200,1	-12,0
19.00 - 20.00	9,9	198,0	20,4	220,5	<b>-22,5</b>
20.00 - 21.00	9,9	207,9	5,0	225,5	-17,6
21.00 - 22.00	9,9	217,8	5,0	230,4	-12,6
22.00 - 23.00	9,9	227,7	3,9	234,3	-6,6
23.00 - 00.00	9,9	237,6	3,3	237,6	0,0

\*Berdasarkan pengamatan terhadap aktivitas di lapangan

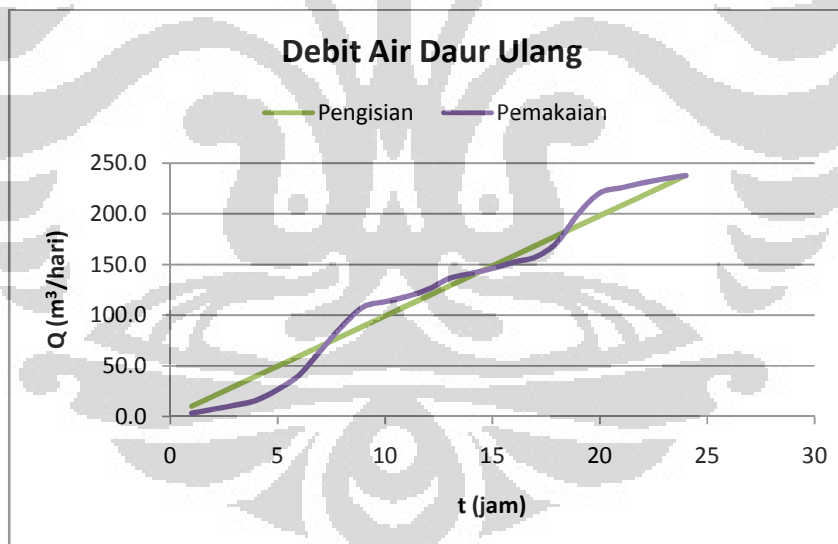
Sumber: Pengolahan Penulis

Grafik berikut menunjukkan fluktuasi debit air daur ulang yang diterima tangki penyimpanan.



Grafik 5.12 Grafik Fluktuasi Debit Air Daur Ulang

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012



Grafik 5.13 Grafik Debit Akumulatif Air Daur Ulang

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Selisih debit akumulatif

- Maksimum = 23,6 m<sup>3</sup>/hari
- Minimum = -22,5 m<sup>3</sup>/hari

Debit kebutuhan air (penyiraman taman, flushing dan cooling tower) = 281,83 m<sup>3</sup>/hari

Kapasitas unit ekualisasi = 23,6 + |-22,5| = 46,1m<sup>3</sup>

Volume (V) = 46,1 m<sup>3</sup>

Dalam (H) = 2,5 m

$Luas (A) = \frac{46,1 m^3}{2,5 m} = 18,4 m^2$

$Diameter = \sqrt{\frac{22 m^2}{3,14}} = 2,4 m$

## 5.6 Pembobotan

Setelah melakukan analisis terhadap target kualitas air daur ulang sesuai dengan pemenuhan kebutuhan yang diinginkan, ditentukan alternatif unit pengolahan lanjutan. Terdapat 2 alternatif unit utama sebagai pengolahan lanjutan atau daur ulang yaitu ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* dengan *pretreatment* berupa *carbon adsorption* dengan *activated carbon* serta ultraviolet sebagai disinfeksi. Oleh karena itu, pertimbangan pemilihan unit daur ulang difokuskan pada pemilihan unit utama yaitu ultrafiltrasi dan *reverse osmosis*. Pemilihan dilakukan menggunakan pembobotan parameter yang meliputi parameter teknis unit berkaitan dengan efisiensi penyisihan dan parameter ekonomi berkaitan dengan biaya pembangunan instalasi unit pengolahan daur ulang.

### 1) Pembobotan parameter

Setiap parameter memiliki bobot yang berbeda sesuai dengan pengaruh yang diberikan. Dalam penelitian ini, bobot yang diberikan untuk parameter biaya lebih besar daripada teknis. Hal ini karena biaya merupakan faktor utama yang memberikan batasan pelaksanaan daur ulang serta pemilihan unit yang selanjutnya akan diaplikasikan. Parameter teknis yang berkaitan dengan efisiensi penyisihan diberi bobot lebih rendah daripada parameter biaya karena kedua unit alternatif, yaitu ultrafiltrasi dan *reverse osmosis*, merupakan unit membran sehingga memiliki sistem dan prinsip operasi yang relatif sama. Namun kedua unit tersebut memiliki efisiensi *removal* yang berbeda untuk setiap parameter

meskipun secara keseluruhan memberikan tingkat *removal* yang baik dan memenuhi kualitas target daur ulang yang dipersyaratkan. Tabel berikut memberikan bobot yang diberikan untuk masing-masing parameter.

Tabel 5.17 Bobot Parameter

Parameter	Bobot
Efisiensi <i>Removal</i>	2
Biaya	3

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

## 2) Pembobotan kesesuaian

Merupakan pembobotan untuk membedakan nilai pada tingkat kesesuaian. Skor yang diberikan akan semakin besar untuk tingkat kesesuaian yang tinggi.

### *Pembobotan Kesesuaian Efisiensi Unit*

Tabel 5.18 Skor Kesesuaian Parameter Efisiensi *Removal* Unit

Parameter	Skor untuk Efisiensi <i>Removal</i> Unit				
	1	2	3	4	5
BOD <sub>5</sub>	>20%	20% - 40%	40% - 60%	60% -80%	80% -100%
COD	>20%	20% - 40%	40% - 60%	60% -80%	80% -100%
TSS	>20%	20% - 40%	40% - 60%	60% -80%	80% -100%
Fecal Coliform	>20%	20% - 40%	40% - 60%	60% -80%	80% -100%
TDS	>20%	20% - 50%	50% - 100%	-	-
Amonia	>20%	20% - 50%	50% - 100%	-	-

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Pemberian rentang bobot yang berbeda untuk parameter BOD<sub>5</sub>, COD, TSS dan *fecal coliform* dengan TDS dan amonia ini didasarkan atas parameter yang ditetapkan dalam air kelas dua PP Nomor 82 tahun 2001. PP Nomor 82

tahun 2001, tidak memberikan batasan nilai kualitas untuk parameter TDS dan amonia, oleh karena itu rentang bobot yang diberikan lebih rendah daripada parameter lainnya.

Tabel 5.19 Skor Kesesuaian Efisiensi *Removal* Ultrafiltrasi

Parameter	Efisiensi <i>Removal</i>	Skor
BOD <sub>5</sub>	85%	5
COD	80%	4
NH <sub>3</sub>	15%	1
TDS	2%	1
TSS	95%	5
<b>Skor Ultrafiltrasi Total</b>	<b>3,2</b>	

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 5.20 Skor Kesesuaian Efisiensi *Removal Reverse Osmosis*

Parameter	Efisiensi <i>Removal</i>	Skor
BOD <sub>5</sub>	60%	3
COD	90%	5
NH <sub>3</sub>	95%	5
TDS	90%	3
TSS	95%	3
<b>Skor <i>Reverse Osmosis</i> Total</b>	<b>3,8</b>	

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

#### *Pembobotan Kesesuaian Biaya*

Biaya yang dipertimbangkan hanya meliputi biaya pembelian 1 unit ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* serta biaya kebutuhan listrik untuk pengoperasian kedua unit karena perbedaan paling besar terletak pada kedua biaya tersebut.

##### a. Ultrafiltrasi

Biaya Pembelian (membran dan *housing*)

- Harga 1 unit Ultrafiltrasi kapasitas 1500 liter/jam = Rp 7.800.000,00
- Unit Ultrafiltrasi = Rp 7.800.000,00 x 10 = Rp 78.000.000,00

Biaya Listrik

- Tarif Listrik = Rp 1.100,00 /kWh
- Kebutuhan daya listrik/bulan = 3,863 kW x 20 jam/hari x 30 hari  
= 2317,697 kWh
- Pembayaran listrik = 2317,697 kWh x Rp 1.100,00 /kWh  
= Rp 2.549.467,00

b. Reverse Osmosis

Unit *Reverse Osmosis* (membran dan *housing*)

- Harga 1 unit Reverse Osmosis kapasitas 11.500 GPD = Rp 9.800.000,00
- Unit Reverse Osmosis = Rp 9.800.000,00 x 10 = Rp 98.000.000,00

Biaya Listrik

- Tarif Listrik = Rp 1.100,00 /kWh
- Kebutuhan daya listrik/bulan = 45,324 kW x 20 jam/hari x 30 hari  
= 27194,477 kWh
- Pembayaran listrik = 27194,477 kWh x Rp 1.100,00 /kWh  
= Rp 29.913.747,00

Untuk parameter kesesuaian biaya, pemberian skor didasarkan atas perbandingan kebutuhan biaya pembelian dan listrik kedua unit. Skor 2 diberikan untuk unit dengan kebutuhan biaya yang lebih rendah dan skor 1 diberikan untuk unit dengan kebutuhan biaya yang lebih tinggi.

Tabel 5.21 Skor Kesesuaian Biaya Unit

Faktor Pertimbangan	Ultrafiltrasi		Reverse Osmosis	
	Biaya	Skor	Biaya	Skor
Harga	Rp 78.000.000,-	2	Rp 98.000.000,-	1
Listrik per Bulan	Rp 2.549.467,-	2	Rp 29.913.747,-	1
Skor Biaya Total	2		1	

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

## 3) Pembobotan Skor

Tabel 5.22 Ringkasan Pembobotan Parameter Unit

Unit Pengolahan	Efisiensi Unit	Biaya
	2	3
Ultrafiltrasi	3,2	2
Reverse Osmosis	3,8	1

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

$$Bobot = \frac{(Bobot \times skor)_{efisiensi\ unit} + (Bobot \times skor)_{biaya}}{Bobot_{efisiensi\ unit} + Bobot_{biaya}} \quad (5.12)$$

$$Bobot_{ultrafiltrasi} = \frac{(2 \times 3,2) + (3 \times 2)}{2 + 3} = \frac{12,4}{5} = 2,48$$

$$Bobot_{reverse\ osmosis} = \frac{(2 \times 3,8) + (3 \times 1)}{2 + 3} = \frac{10,6}{5} = 2,12$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, unit ultrafiltrasi memberikan bobot yang lebih tinggi dari pada *reverse osmosis*, yaitu 2,48. Berdasarkan bobot tersebut maka unit ultrafiltrasi dipilih sebagai unit pengolahan daur ulang efluen STP Pulau Pabelokan yang didahului oleh *activated carbon* sebagai *pretreatment* dan diikuti oleh *ultraviolet* sebagai disinfeksi.

## 5.7 Rencana Anggaran Biaya Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik

### 5.7.1 Biaya Investasi dan Operasional Instalasi Daur Ulang Air Limbah Domestik

Tabel berikut menunjukkan unit dan peralatan yang dibutuhkan dalam pembangunan instalasi pengolahan daur ulang air limbah beserta biaya yang dibutuhkan.



Tabel 5.23 Perincian Biaya Pengadaan Unit Pengolahan Daur Ulang Air Limbah Domestik

No.	Nama Barang	Jumlah	Unit	Harga (Rp)	Total (Rp)
<b>I EKUALISASI</b>					
1	Beton <i>Precast</i>	23,2	m <sup>3</sup>	14.792.460	14.792.460
2	Galian	162	m <sup>3</sup>	10.000	1.620.000
3	Pompa Air Limbah/ Pompa Celup	1	1	4.496.000	4.496.000
4	Pompa Air Baku	4	1	3.000.000	12.000.000
<b>II PRETREATMENT EQUIPMENT</b>					
1	<i>Activated Carbon Filter</i>	12	2	3.775.000	22.650.000
2	Pompa Backwash	2	1	4.800.000	9.600.000
<b>III TREATMENT SYSTEM</b>					
1	<i>Cartridge Filter</i>	12	1	1.500.000	18.000.000
2	Pompa UF	3	1	4.800.000	14.400.000
3	Membran Ultrafiltrasi	10	1	7.800.000	78.000.000
4	Pompa Backwash	2	1	4.800.000	9.600.000
5	Flow Meter	1	1	10.000.000	10.000.000
6	Panel Listrik dan kontrol operasi	1	1	120.000.000	120.000.000
<b>IV ULTRAVIOLET SYSTEM</b>					
1	Tabung Ultraviolet	8	1	3.400.000	27.200.000
2	Lampu UV	24	1	200.000	4.800.000
<b>V RESERVOIR</b>					
1	Tangki Penampung	1	1	69.300.000	69.300.000
2	Pompa Air Bersih	3	1	2.550.000	7.650.000
<b>VI POWER SYSTEM</b>					
1	Genset	1	1	45.000.000	45.000.000
<b>VII PERLENGKAPAN LAIN</b>					
1	Kabel	3	1 set	1.500.000	4.500.000
2	Pipa D diameter 3 " (tekanan 10 kg/cm <sup>2</sup> )	4	4m/batang	63.000	252.000
3	Pipa AW diameter 1 1/4 " (tekanan 10 kg/cm <sup>2</sup> )	4	4m/batang	40000	160.000
4	Pipa AW diameter 1 " (tekanan 10 kg/cm <sup>2</sup> )	100	4m/batang	27.000	2.700.000
5	Perlengkapan Pipa				1.522.400
<b>VIII TENAGA KERJA</b>					
1.	Biaya Tenaga Kerja				95.648.572
<b>IX LAIN-LAIN</b>					
1.	<i>Over Cost</i>				57.389.143
		<b>TOTAL</b>			<b>631.280.575</b>

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

Dari perhitungan tersebut, diperoleh biaya untuk pembelian seluruh unit pengolahan atau biaya investasi awal adalah sebesar Rp 475.338.460,00.

Biaya operasional instalasi pengolahan daur ulang dihitung berdasarkan pemakaian peralatan listrik seperti pompa dan lampu UV dengan tarif dasar listrik di lokasi sebesar Rp 1.100,00. Tabel berikut menunjukkan perincian biaya operasional instalasi.

Tabel 5.24 Biaya Operasional Instalasi Daur Ulang Air Limbah

No.	Alat	Daya (kW)	Jumlah	Total Listrik (kW)/ Bulan	TDL/ Bulan (Rp)	Biaya Listrik (Rp)
1	Pompa Air Limbah/ Pompa Celup	0,4	1	240	1100	264.000
2	Pompa Air Baku	0,84	4	2016	1100	2.217.600
3	Pompa Backwash AC	0,75	2	900	1100	990.000
4	Pompa UF	3,863	1	2317,8	1100	2.549.580
5	Pompa Backwash UF	0,75	2	900	1100	990.000
6	Pompa Air Bersih	0,5	3	900	1100	990.000
7	Lampu UV	0,3	24	4320	1100	4.752.000
<b>Total Biaya Operasional per Bulan</b>						<b>12.753.180</b>

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

### 5.7.2 Perbandingan Biaya Air Daur Ulang dan Desalinasi Air Laut

Harga air daur ulang ditentukan dari biaya operasional per bulan ditambah dengan biaya tenaga kerja atau pegawai. Harga air diperoleh dari biaya operasional per bulan dibagi dengan debit pemakaian air daur ulang per bulan.

- Gaji karyawan per bulan CNOOC SES Ltd untuk tenaga pengelola air bersih = Rp 4.750.000,00 per bulan
- Asumsi jumlah karyawan pengelola air daur ulang = 4 orang

- Gaji karyawan total =  $4 \times \text{Rp } 4.750.000,00 = \text{Rp } 19.000.000,00$

Biaya daur ulang air limbah domestik perbulan  
 = Biaya operasional + Biaya tenaga kerja  
 =  $\text{Rp } 12.753.180,00 + \text{Rp } 19.000.000,00$   
 =  $\text{Rp } 31.753.180,00 / \text{bulan}$

Pemakaian air per hari =  $237,6 \text{ m}^3/\text{hari}$

Permakaian air per bulan =  $30 \times 237,6 \text{ m}^3/\text{hari} = 7128 \text{ m}^3/\text{bulan}$

Harga air daur ulang =  $\frac{\text{Biaya Daur Ulang}}{\text{Pemakaian Air}} = \frac{31.753.180/\text{bulan}}{7128\text{m}^3/\text{bulan}}$   
 =  $\text{Rp } 4.454,7 \text{ m}^3$

Harga air desalinasi dengan unit RO = USD 1,69 = Rp 15.943,39 (Sumber Lisan: Muhidin, 2011, PT. Adiprotek Envirodunia)

Dari hasil perhitungan tersebut harga air daur ulang jauh lebih murah daripada harga air hasil desalinasi air laut yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air. Penghematan yang dicapai dari daur ulang air limbah adalah sebesar 72%.

### 5.8 Potensi Daur Ulang Air Hujan

Selain mendaur ulang air limbah domestik, sistem penampungan air hujan dapat menjadi salah satu alternatif penyediaan air bersih di Pulau Pabelokan. Terdapat beberapa jenis sistem penampungan air hujan yaitu *rooftop harvesting*, *surface harvesting*, *excavated reservoir*, *earthen dams*, *underground and subsurface dams*, *dams*, dan *rock catchment*. (Mahardiyanto et. al., 2009).

Dalam menghitung debit air hujan yang ditangkap perlu diketahui besarnya curah hujan, luas daerah tangkapan dan koefisien *runoff* (C).

$$Q = P \times A \times C \quad (5.13)$$

Q = Debit hujan tangkapan

P = Curah hujan rata-rata bulanan

- A = Luas daerah tangkapan  
C = Koefisien Runoff

Untuk kondisi Pulau Pabelokan yang banyak ditumbuhi tanaman, maka nilai C adalah 0,6. Luas area tangkapan merupakan area hijau di Pulau Pabelokan yaitu sebesar 40% dari total luas Pulau yaitu 4,8 hektar. Untuk curah hujan digunakan data sekunder curah hujan rata-rata bulanan Kepulauan Seribu.

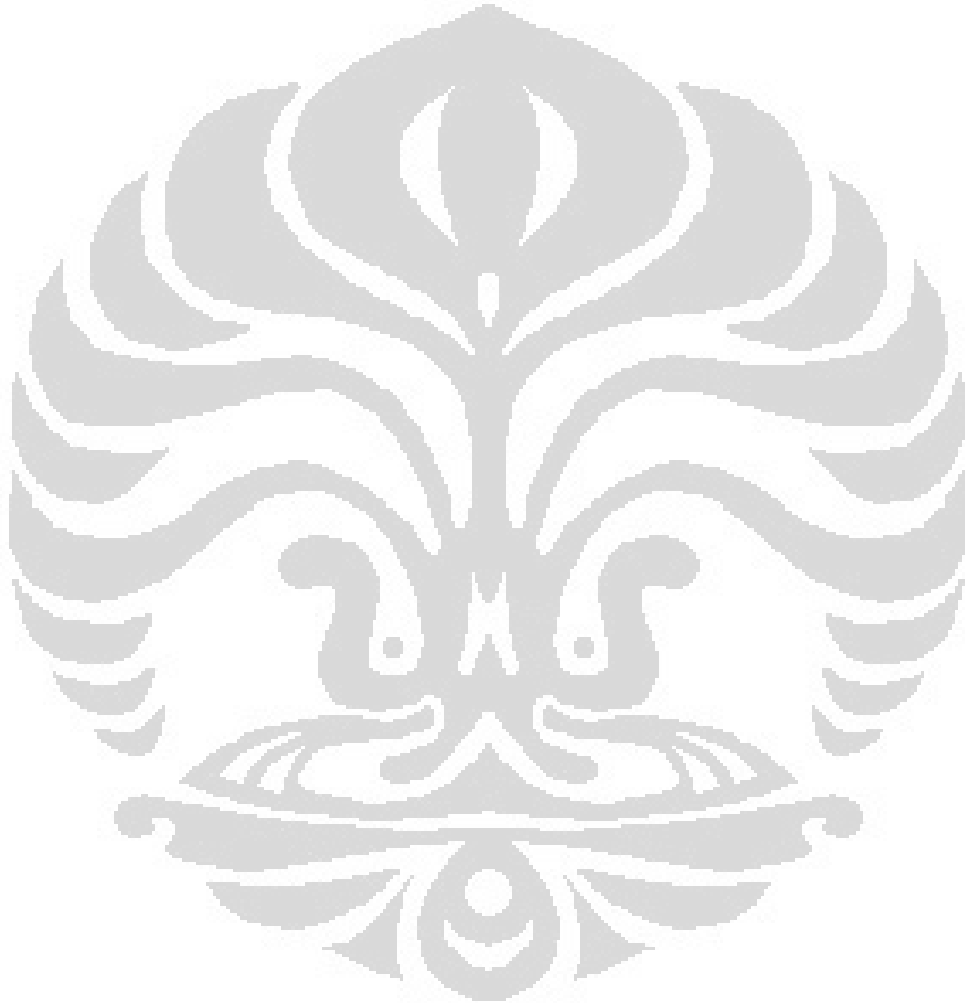
Tabel 5.25 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Kepulauan Seribu

Bulan	Curah Hujan Rata-rata (mm/bulan) <sup>1)</sup>	Luas Daerah Tangkapan dan Koef. <i>Runoff</i> (C)	Debit Tangkapan (m <sup>3</sup> /bulan)	Debit Tangkapan (m <sup>3</sup> /hari)
Januari	182,63	Area Hijau Luas = 48000 m <sup>2</sup> C = 0,3 <sup>2)</sup>	9204,55	306,8
Februari	445,03		22429,51	747,7
Maret	187,02		9425,81	314,2
April	123,22		6210,29	207,0
Mei	54,03		2723,11	90,8
Juni	58,83		2965,03	98,8
Juli	13,85	Area Terbangun Luas = 72000 m <sup>2</sup> C = 0,5 <sup>3)</sup>	698,04	23,3
Agustus	22,12		1114,85	37,2
September	38,72		1951,49	65,0
Oktober	62,55		3152,52	105,1
November	105,12		5298,05	176,6
Desember	248,7		12534,48	417,8

Sumber: <sup>1)</sup> Marhadiyanto, 2009; <sup>2), 3)</sup> Dr. Mononobe dalam Marhadiyanto

Debit air hujan berbeda untuk setiap bulannya, debit terbesar pada bulan Februari yaitu 747,7 m<sup>3</sup>/hari dan terkecil pada bulan Juli yaitu 23,3 m<sup>3</sup>/hari, sedangkan air produksi daur ulang air limbah menggunakan ultrafiltrasi menghasilkan 264,22 m<sup>3</sup>/hari. Jadi terlihat bahwa persentase air hujan dari air daur ulang adalah 8,8% - 282%.

Air hujan yang dikumpulkan tersebut dapat menjadi alternatif penyediaan air bersih selain daur ulang air limbah dan dapat dimanfaatkan langsung untuk penyiraman taman. Untuk mendukung sistem penangkapan air hujan ini, dibutuhkan perbaikan sistem drainase sehingga tidak terjadi infiltrasi air hujan ke dalam instalasi pengolahan air limbah yang ada.



## BAB 6 PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

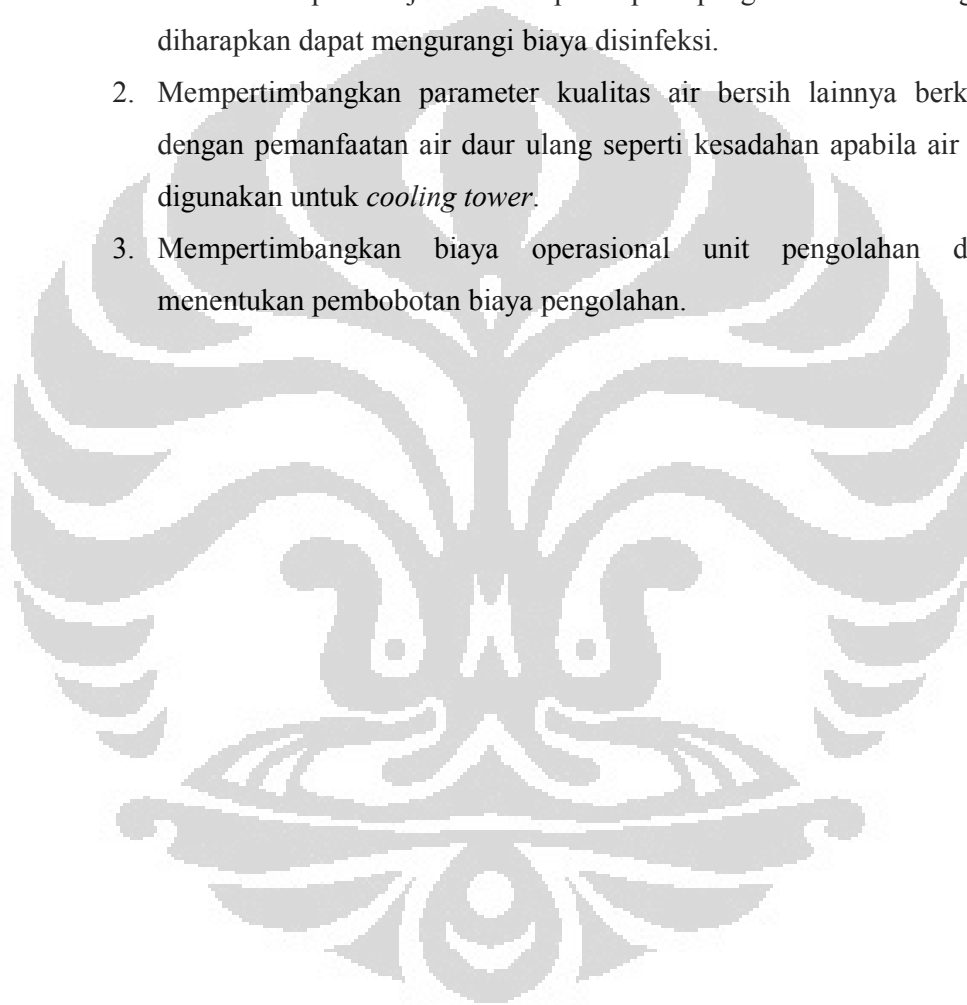
Dari penelitian yang telah dilakukan di Chinese National Oil Offshore Company South East Sumatra Limited (CNOOC SES Ltd.) pada bulan Januari 2012 sampai Februari 2012 mengenai Daur Ulang Efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Pusat Produksi Minyak dan Gas Bumi CNOOC SES Ltd. di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil pemeriksaan laboratorium terhadap kualitas efluen *Sewerage Treatment Plant* (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, amonia 6,87 mg/l dan *fecal coliform* lebih dari 1600 MPN/100 ml. Kualitas tersebut telah memenuhi baku mutu efluen pengolahan air limbah menurut Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 122 tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
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 *cooling tower*. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut air limbah harus diolah hingga mencapai kualitas target yaitu air Kelas Dua berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.
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, *pretreatment* menggunakan filter *activated carbon*, ultrafiltrasi dan ultraviolet sebagai unit disinfeksi. Penurunan total untuk parameter BOD, COD, amonia, TDS, TSS, dan *fecal coliform* dari pengolahan tersebut masing-masing diperkirakan sebesar 96,3%, 95%, 57,5%, 2%, 98%, dan 97,5%.

## 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis terkait hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam menentukan potensi daur ulang perlu dilakukan analisis terhadap air bekas pakai selain efluen dari STP, sebagai contoh air dari kolam renang. Air kolam renang yang sebelumnya ditambahkan disinfeksi dapat menjadi air campuran pada pengolahan daur ulang dan diharapkan dapat mengurangi biaya disinfeksi.
2. Mempertimbangkan parameter kualitas air bersih lainnya berkaitan dengan pemanfaatan air daur ulang seperti kesadahan apabila air akan digunakan untuk *cooling tower*.
3. Mempertimbangkan biaya operasional unit pengolahan dalam menentukan pembobotan biaya pengolahan.



## DAFTAR REFERENSI

- Advanced Membrane Filtration for Water Reuse Applications (2009, Maret). Siemens Water technology corp. Oktober 23, 2011. <http://www.water.siemens.com>.
- D, Marhadiyanto & Suprihanto. (2009). Studi Pemenuhan Air Bersih Dengan Sistem Penampungan Air Hujan di Pulau Panggang. Bandung: Institut Teknologi Bandung. Juni 28, 2012. [http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/rekayasa\\_air\\_dan\\_limbah\\_cair/wp-content/uploads/2010/11/pi\\_15305054\\_marhadiyanto-dwi-dharmadi.pdf](http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/rekayasa_air_dan_limbah_cair/wp-content/uploads/2010/11/pi_15305054_marhadiyanto-dwi-dharmadi.pdf)
- Guyer, J. Paul. (2010). *An Introduction to Domestic Wastewater Treatment*. California: R.A.-Guyer Partners. Oktober 22, 2011. <https://www.cedengineering.com/upload/Intro%20to%20Dom%20Waste%20water%20Treatment.pdf>.
- Hartami, Prama. (2008). Analisis Teluk Pelabuhan Ratu untuk Kawasan Budidaya Perikanan Sistem Keramba Apung. Tesis, Bogor.
- Hernandez, F., & Urkiaga, A., et.al. (2006). Feasibility Studies for Water Reuse Projects: An Economical Approach. *Journal of Desalination*, 187, 253 – 261. November 30, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001191640600004X>.
- K. Wang, Lawrence & Hung, Yang Tse. (2006). *Advanced Physicochemical Treatment Processes (Vol.4)*. New Jersey: Humana Press Inc.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (4th ed)*. New York: McGraw-Hill Book.
- Metcalf & Eddy. (2007). *Water reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York: McGraw-Hill Book.
- Reynolds, Tom D. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering (2nd ed)*. Boston: PWS Publishing Company.
- Muttaqin, Adi Y. (2006). Kinerja Sistem Drainase yang Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Masyarakat. Tesis, Semarang.
- Qasim, Syed R. (1985). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*. USA: CBS College Publishing.
- Spellman, Frank R. (2009). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations (2nd ed)*. New York: CRC Press.
- Tchobanoglous, George, & Rolf, Eliassen. (1979). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. New York: McGraw-Hill Book.



- Soeparman, & Suparmin. (2001). *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair Suatu pengantar*. Jakarta: Penerbit Buku kedokteran EGC. Oktober 22, 2011.
- Pengantar Daur Ulang (2010). Oktober 23, 2011. <http://www.waterconsultindo.com/main/wp-content/uploads/2010/06/PENGANTAR-WASTE-WATER-REUSE1.pdf>
- Suprihatin. (2009). *Penerapan Air Daur Ulang di Berbagai Negara*. Workshop Air Daur ulang dalam Perspektif Islam, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor. Oktober 20, 2011.
- [http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/40348/Penerapan %20Air%20Daur\\_.pdf?sequence=1](http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/40348/Penerapan%20Air%20Daur_01.pdf?sequence=1)
- Tjokro, Sutiamadji. (2005). *Pengelolaan Limbah Kegiatan Migas CNOOC ltd. Di Laut Jawa (Optimasi proses pada unit pengolahan air terproduksi)*. Tesis, Jakarta.
- Tortajada, Cecilia (2006). Water Management in Singapore. *Journal of Water Resources Development*, 22, 227. November 7, 2011. <http://www.adb.org/Water/Knowledge-Center/AWDO/br01.pdf>
- Urkiaga, A., & Fuentes, De las L., et.al. (2006). Methodologies For Feasibility Studies Related to Wastewater Reclamation and Reuse Projects. *Journal of Desalination*, 187, 263-269. Desember 1, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916406000051>
- Environmental Protection Agency : Water Reuse Guidelines
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Domestik.



Tabel Pemeriksaan Outlet STP Desember 2011 Pukul 08.00 WIB

No.	Parameter	Unit	Standard KepMenLH 112/2003	Standard SK GIB 122/2005	December-11																															Average	Max	Min
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1	BOD 5 days 20 °C	mg/L	100	50	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	21,5769	30	11			
2	Oil & Grease	mg/L	10	20																																		
3	TDS	mg/L			183	198	216	185	200	196	191	195	217	190	217	227	216	220	213	207	209	215	224	233	225	230	245	217	204	237	238	207	238	258	216,323	258	185	
4	pH	-	6.0-9.0	6.0-9.0	6.7	6.8	6.9	6.7	6.8	6.8	6.9	6.8	6.7	6.8	6.7	6.8	6.6	6.8	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.6	6.7	6.6	6.7	6.7	7.0	7.0	6.7	6.8	7.0	6.7	6,75806	7.0	6.6	
5	Total Suspended Solid	mg/L	100	50	9	12	15	12	11	11	12	13	14	11	14	15	10	15	11	13	11	14	13	10	14	11	20	11	12	12	10	15	10	12,3548	20	10		
6	COD	mg/L		80	41	44	39	44	42	46	42	46	48	42	47	49	46	43	40	47	45	40	43	42	38	46	49	40	39	42	48	45	46	45	43,9032	49	38	
7	DO Aeration Tank	mg/L			2.5	2.2	2.4	2.5	2	2.2	2.3	2.1	2.3	2	2.3	2	2.5	2	2.6	2.9	3.1	2.3	2.9	2.3	2.4	2.4	2	2	2.5	2.7	2.6	2	2.2	2.2	2,35806	3.1	2	
8	DO AGR	mg/L			4	2.2	4	4.2	4.3	3.9	3.8	4	3.9	3.6	4	3.6	3.9	3.8	4.3	4.1	4	3.8	4	4	4.0	4.0	3.9	3.3	3.5	4.4	4.5	4.7	3.2	3.7	3.5	3,87419	4.7	3.2
9	N			10	4	5	7	5	5.5	7	6	6.5	6.5	7	6.5	7	7	7	7.5	5	7.5	7	7.5	7	6.5	7	7.5	6	6	6.5	6.5	6	5.5	6	6,43548	7.5	5	
10	P																																					
11	Population on board	Person			500	503	502	498	497	496	491	487	486	486	488	488	488	477	484	490	495	496	511	507	495	491	492	496	497	482	482	481	481	475	491,333	511	475	
12	Flow Rate	M3			332.4	361.5	356.7	357.5	356.5	331.2	382.8	355.6	346.6	361.9	374.7	363.0	332.7	362.7	322.7	356.1	305.2	327.3	349.1	332.7	386.0	328.7	346.3	344.7	393.3	338.4	327.2	361.3	323.4	343.4	336.6	348,394	393.3	305.2

Sumber: Dokumen Monitoring Harian STP, 2011



**LAMPIRAN 2**  
**Prosedur Analisis Biologi Sampel Air**

**Pengujian *Fecal Coliform* (Metode *Multiple Fermentation Tube*)**

**A. Alat dan Bahan**

1. Uji Penduga (*Presumptive Test*)

- a. Sampel air danau Agathis (danau lapangan hockey) Universitas Indonesia.
- b. 15 tabung reaksi berisi tabung durham dan medium *Laktose broth* tunggal sebanyak 5 ml.
- c. 1 pipet 10 ml steril
- d. 1 pipet 1 ml steril
- e. Pembakar spiritus
- f. Inkubator dengan temperatur 30<sup>0</sup>C

2. Uji Penguat (*Confirmed Test*)

- a. Semua tabung reaksi dari uji penduga yang menunjukkan hasil positif.
- b. Tabung yang diisi yang medium *Bile Green Lactose Broth* (BGLB) dan tabung durham di dalamnya sebanyak 2 set.
- c. Incubator temperature 44,5<sup>0</sup>C.
- d. Jarum ose

**B. Cara Kerja**

1. Uji Penduga (*Presumptif Test*)

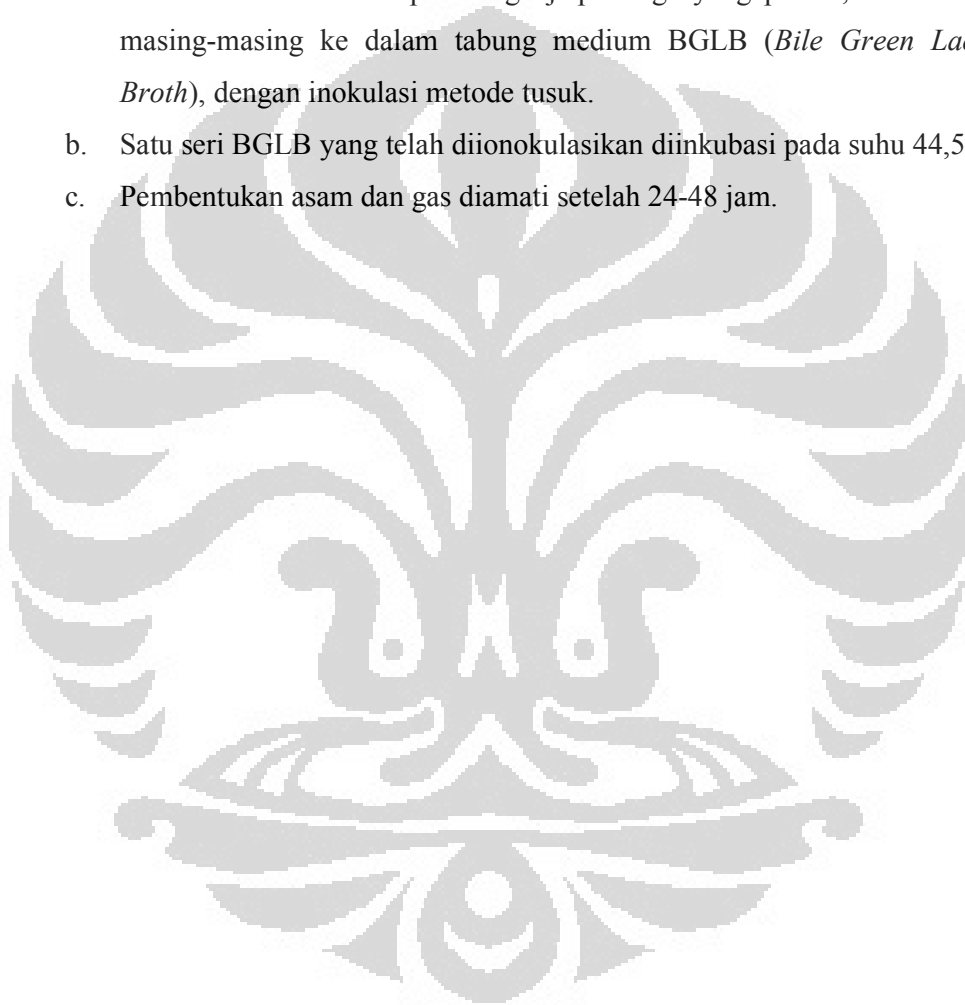
- a. Sampel air sebanyak 5 ml dimasukkan kedalam 5 tabung medium *lactose broth* tunggal seri 1.
- b. Sampel air sebanyak 0,5 ml dimasukkan kedalam 5 tabung medium *lactose broth* tunggal seri 1.
- c. Sampel air sebanyak 0,05 ml dimasukkan kedalam 5 tabung medium *lactose broth* tunggal seri 1.
- d. Semua tabung diinokulasikan pada suhu 35<sup>0</sup>C.

- e. Setelah 24 jam, apabila terbentuk asam dan gas, maka menunjukkan reaksi positif adanya bakteri jenis coliform di dalam sampel air. Jika belum ada, maka diinkubasikan lagi selama 24 jam.

## 2. Uji Penguat (*Confirmed test*)

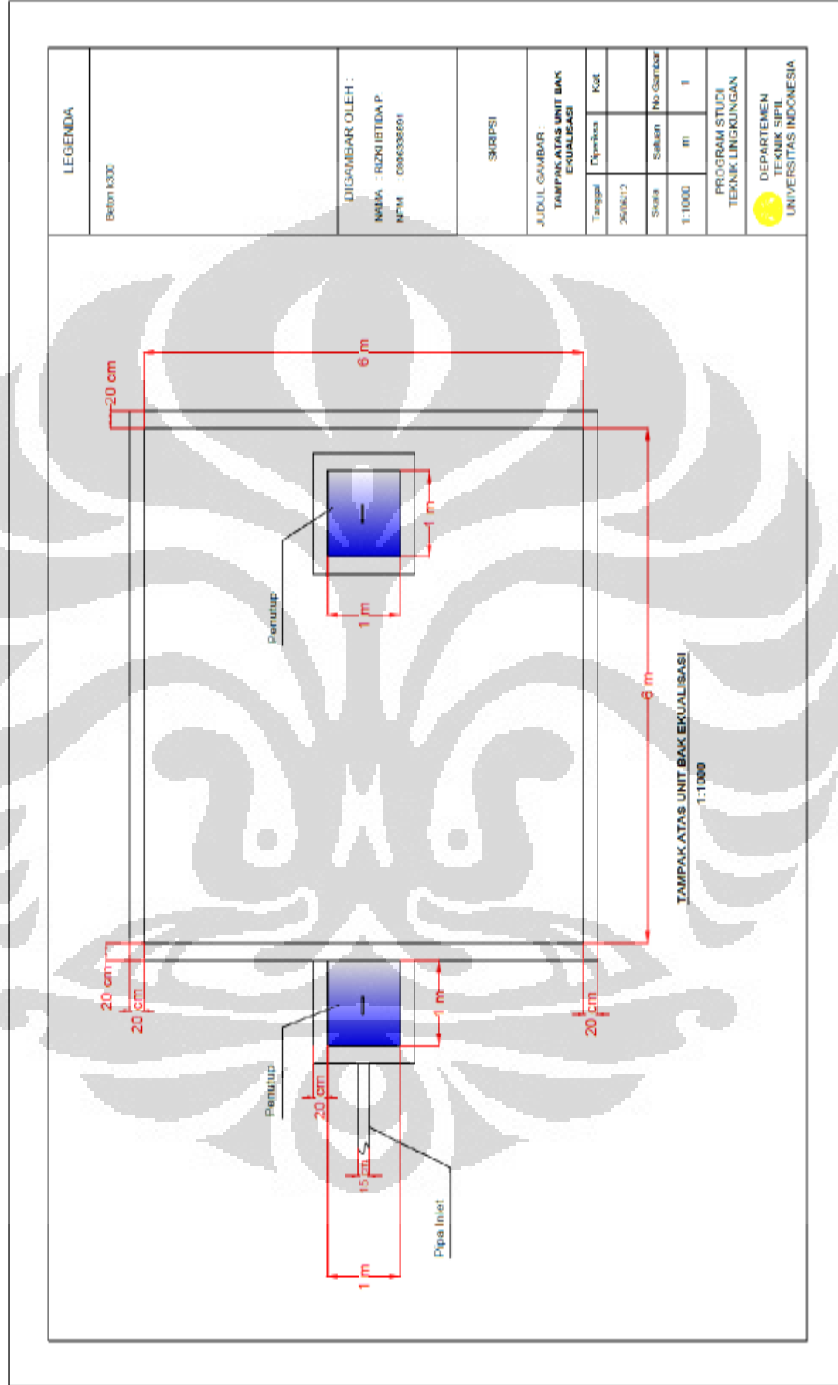
### Tahap 1

- a. 1 ose biakan dari setiap tabung uji penduga yang positif, diokulasikan masing-masing ke dalam tabung medium BGLB (*Bile Green Lactose Broth*), dengan inokulasi metode tusuk.
- b. Satu seri BGLB yang telah diinokulasikan diinkubasi pada suhu 44,5<sup>0</sup>C.
- c. Pembentukan asam dan gas diamati setelah 24-48 jam.



LAMPIRAN 3

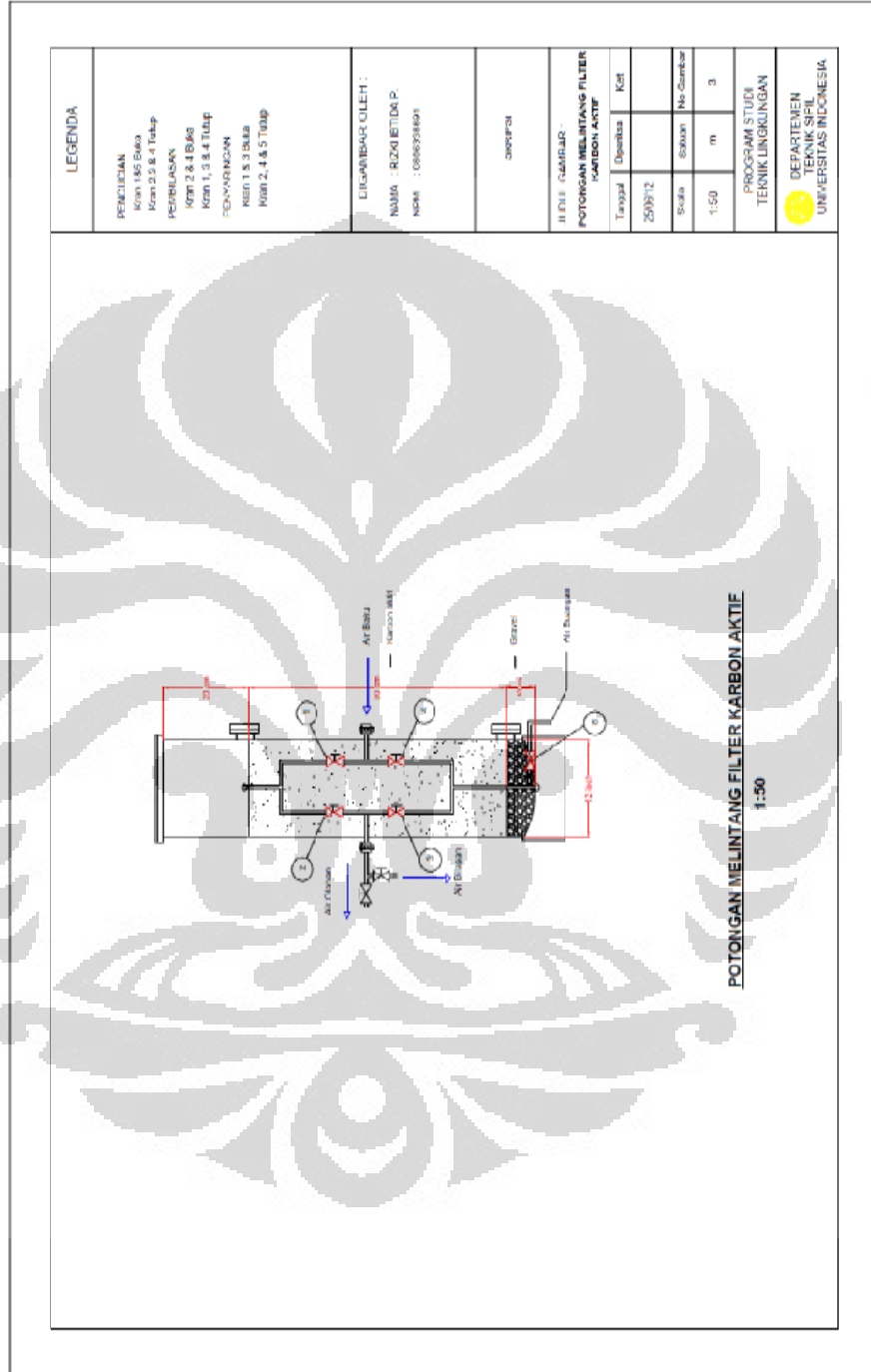
Gambar Teknik Tampak Atas Unit Bak Ekuualisasi



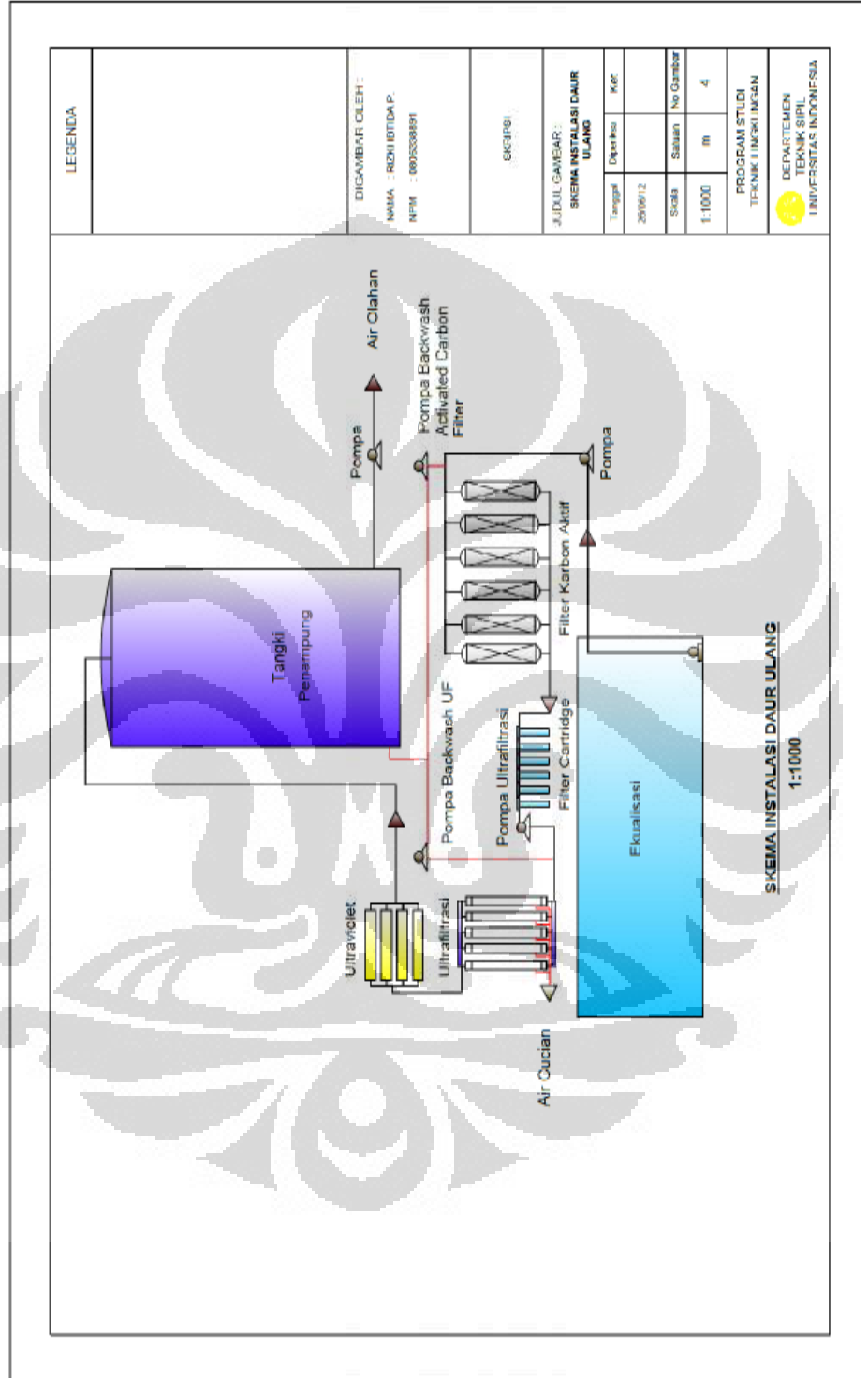




(Lanjutan)  
 Gambar Teknik Potongan Melintang Filter Karbon Aktif

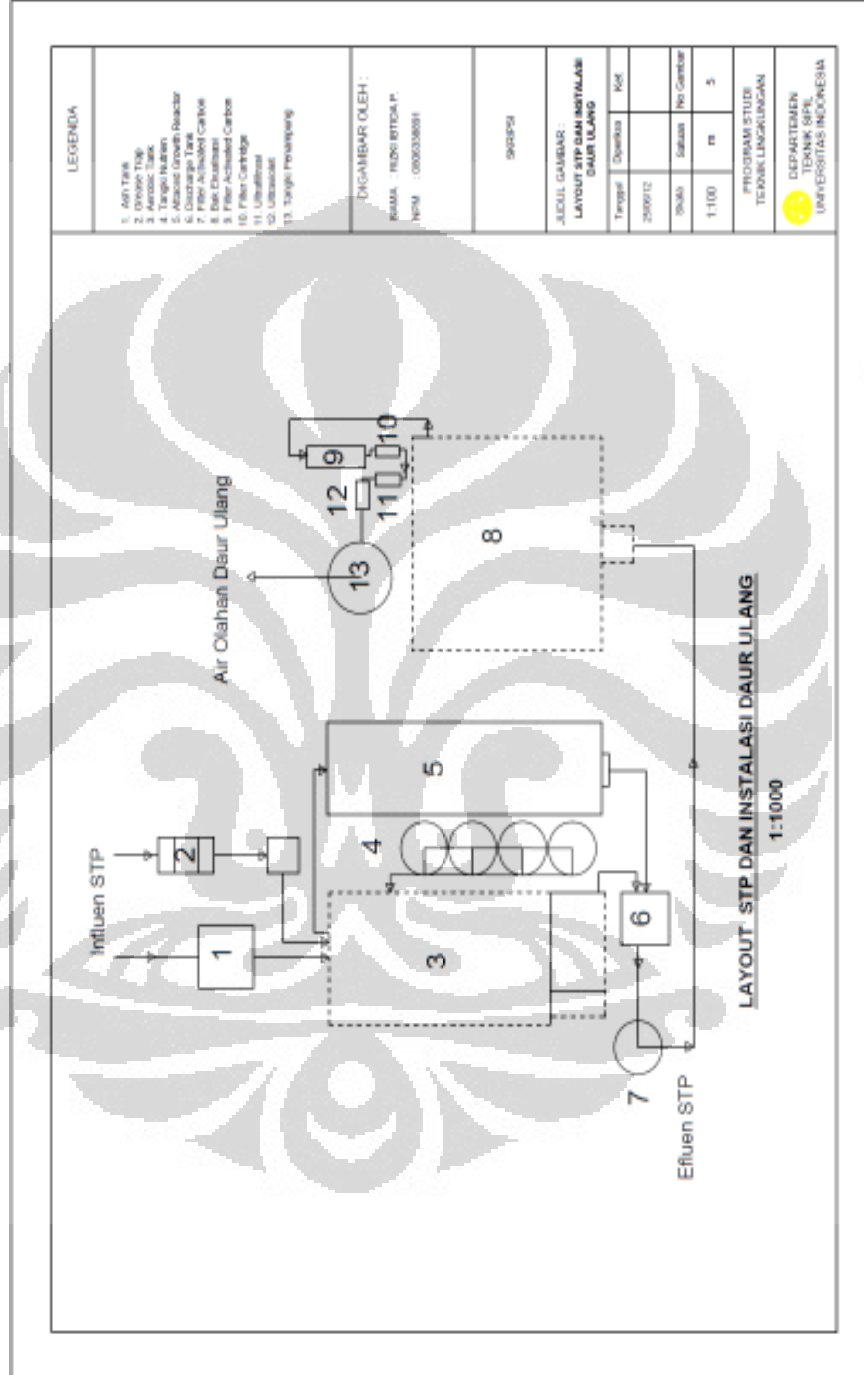


(Lanjutan)  
 Gambar Teknik Skema Daur Ulang



LEGENDA	
DISAMBAER OLEH :	
NAMA : RIZKI IBTIDA P.	
NPM : 0095309891	
KETERANGAN	
JUDUL GAMBAR :	
SKEMA INSTALASI DAUR ULANG	
Tanggal	Diperiksa
20/07/2	IKR
Skala	No Gambar
1:1000	m 4
PROGRAM STUDI	
TEKNIK INGENIURAN	
DEPARTEMEN	
TEKNIK SIPIL	
UNIVERSITAS INDONESIA	

Gambar Teknik Layout STP dan Instalasi Daur Ulang (Lanjutan)



**LAMPIRAN 4**

**Spesifikasi Alat dan Unit Pengolahan Instalasi Daur Ulang Air Limbah  
Domestik**

**1. Ekualisasi**

**Bak Ekualisasi**

Dimesi Bak

Lebar	: 6 m
Panjang	: 6 m
Kedalaman	: 2 m
Tinggi Ruang Bebas	: 0,2 m
Bahan	: Beton Precast k300
Harga	: Rp 1.479.460,00
Volume	: 23,2 m <sup>3</sup>

**Pompa Air Limbah**

Jenis Pompa	: Pompa Air Celup (Grundfos – Unilift CC7A)
Daya Listrik	: 400 Watt
Daya Dorong	: 7 meter
Total Head	: 7 meter
Kapasitas	: 14,5 m <sup>3</sup> /jam
Inlet	: 1 ¼ inch
Harga	: Rp 4.496.000,00
Jumlah	: 1

**Pompa Air Baku**

Daya	: 840 Watt
Kapasitas	: 70 L/menit
Discharge head	: 30 m
Suction head	: 9 m
Jumlah	: 4
Harga	: Rp 3.000.000,00

## 2. Pretreatment Equipment

### Filter Activated Carbon

Tekanan	: 4 Bars
Kapasitas	: 1,4 – 1,8 m <sup>3</sup> /jam
Ukuran	: Diameter 12 inch x 150 cm
Material	: FRP/PVC/SS
Pipa Inlet/ Outlet	: 1 inch
Sistem	: Semi automatic backwash
Media Filter	: Karbon Aktif Granular
Media Penahan	: Gravel
Harga	: Rp 3.775.000,00 (2 unit)
Jumlah	: 12 Unit

## 3. Treatment System

### Filter Cartridge 0,5 Mikron

Tekanan	: 3 Bars
Kapasitas	: 30 Liter/menit
Ukuran	: Diameter 12 cm x 55 cm
Material	: Plastik
Pipa Inlet/ Outlet	: 1 inch
Harga	: Rp 1.500.000,00
Jumlah	: 12

### Pompa Ultrafiltrasi

Tipe pompa	: Sentrifugal – CNP (CHL 4-40)
Kapasitas	: 5 m <sup>3</sup> /menit
Daya	: 0,75 kW/ 1 HP/ 380 V/ 50 Hz/ 2950 RPM
Head	: 30 m
Tekanan	: 3 bars
Harga	: Rp 4.800.000,00
Jumlah	: 3

**Membran Ultrafiltrasi**

Kapasitas	: 1250 – 1500 Liter/jam
Jenis Membran	: Kapiler
Material	: PAN
Dimensi	: Diameter 6 inch x L 60 inch
Harga	: Rp 7.800.000,00
Jumlah	: 10

**Pompa Backwash**

Tipe pompa	: Sentrifugal – CNP (CHL 4-40)
Kapasitas	: 5 m <sup>3</sup> /menit
Daya	: 0,75 kW/ 1 HP/ 380 V/ 50 Hz/ 2950 RPM
Head	: 30 m
Tekanan	: 3 bars
Harga	: Rp 4.800.000,00
Jumlah	: 2

**4. Sistem Ultraviolet****Tabung dan Lampu Ultraviolet**

Tipe	: Ultraviolet Sterilight S8 Canada
Kapasitas	: 8 gpm
Harga	: Rp 3.400.000,00
Jumlah	: 8
Lampu UV	: 30 Watt (Phillips)
Harga	: Rp 200.000
Jumlah	: 24

**5. Sistem Produk Daur Ulang****Tangki Penampung Air Produk**

Material	: Fiber
Volume	: 40000 liter
Dimensi	: Diameter 300 cm, Tinggi 570 cm

Harga : Rp 69.300.000,00  
 Jumlah : 1

### **Pompa Produk**

Jenis : Pompa Air Jet Pump – Shimizu (PC-502-BIT)  
 Kapasitas : 100 liter/menit  
 Daya Listrik : 500 Watt  
*Suction Head* : 50 meter  
*Discharge Head* : 50 meter  
 Total Head : 100 meter  
 Voltage/Hz/Phase : 220V/50 Hz/1  
 Ukuran Pipa : 1,25” x 1”  
 Harga : Rp 2.550.000,00  
 Jumlah : 3

## **6. Perlengkapan**

### **Kabel**

Tipe : Standard (10A. Min) SNI  
 Harga : Rp 1.500.000,00  
 Jumlah : 3 set

### **Pipa**

Jenis : Pipa D air limbah  
 Diameter : 3”  
 Panjang : 4 m  
 Harga : Rp 63.000,00  
 Jumlah : 4

Jenis : Pipa AW air bersih  
 Diameter : 1 ¼ “  
 Harga : Rp 40.000,00  
 Jumlah : 4

Jenis : Pipa AW air bersih  
Diameter : 1"  
Harga : Rp 27.000,00  
Jumlah : 100

**Flowmeter**

Jenis : Flowmeter (Fill Rite Digital – Series 820)  
Akurasi :  $\pm 0,5\%$  (menggunakan faktor kalibrasi) dan  $\pm 0,2\%$   
menggunakan kalibrasi cairan  
Flow rate : 2 – 20 GPM (8 – 76 LPM)  
Tekanan : 120 Psi (8,2 bar) pada 21<sup>0</sup>C  
Harga : Rp 10.000.000,00  
Jumlah : 1

**Panel Kontrol**

Harga : Rp 120.000.000,00

**Genset 10 kVa**

Harga : Rp 45.000.000,00



## LAMPIRAN 5

Desain Unit Pengolahan *Sand Filtration* dan AerasiA. Desain *Pretreatment - Sand Filtration*

## 1. Debit

Seluruh efluen STP diolah, sehingga

$$\text{Debit} = 352,29 \text{ m}^3/\text{hari}$$

## 2. Parameter Desain

- a) Laju filtrasi =  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$
- b) Laju backwash =  $37 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$
- c) *Surface wash rate* =  $0,061 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{min}$
- d) Siklus filtrasi = 24 jam
- e) Penyediaan filter cadangan dengan dimensi yang sama

## 3. Petunjuk umum desain

## a. Filter

1 filter utama dan 1 filter cadangan

## b. Media filter

Tipe filter: *dual media*, menggunakan batu antrasit dan pasir kuarsa

Ukuran efektif pasir = 0,5 mm

Ukuran efektif antrasit = saat kecepatan pengendapan sama dengan kecepatan pengendapan pasir

<i>Material</i>	<i>Uniformity coefficient</i>	<i>Specific gravity</i>	<i>Porosity Ratio</i>
Antrasit	1,6	1,55	0,48
Pasir	1,4	2,65	0,4

*Perhitungan desain*

## 1. Dimensi

- a. Menghitung luas yang dibutuhkan untuk unit filter

$$\text{Debit} = 352,29 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Debit setiap bak} = 14,68 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

Pada saat laju filtrasi  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ , maka luas yang dibutuhkan

$$A_{req} = \frac{14,68 \text{ m}^3/\text{jam}}{10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}} = 1,468 \text{ m}^2$$

b. Menghitung dimensi

Dengan menggunakan unit filter berbentuk persegi, maka dimensinya:

$$\text{Panjang (L), lebar (W)} = \sqrt{1,468} = 1,21 \text{ m}$$

$$\text{Sehingga luas bak} = 1,21^2 = 1,46 \text{ m}^2$$

2. Desain proses dan pemilihan media

a. Memilih ukuran media

Media paling atas : antrasit

Media kedua : pasir kuarsa

Ukuran efektif pasir =  $d_2 = 0,5 \text{ mm}$

Sg pasir = 2,65

Ukuran efektif antrasit =  $d_1$

Sg antrasit = 1,55

$$d_1 = 0,55 \text{ mm} \times \left( \frac{2,65 - 1}{1,55 - 1} \right)^{2/3} = 1,04 \text{ mm} = 1,0 \text{ mm}$$

b. Menentukan kedalaman *filter bed*

Asumsi: ketebalan antrasit  $\frac{2}{3}$  dari ketinggian total

ketebalan pasir  $\frac{1}{3}$  dari ketinggian total

i. Menghitung *weighted average of the media size*.

$$\text{Weighted average media size} = d_1 \times \frac{2}{3} + d_2 \times \frac{1}{3}$$

$$\text{Weighted average media size} = 1 \times \frac{2}{3} + 0,5 \times \frac{1}{3} = 0,83 \text{ mm}$$

$$\text{Weighted average porosity ratio} = \text{porosity ratio antrasit} \times \frac{2}{3} \times$$

$$\text{porosity ratio pasir} \times \frac{1}{3} = 0,48 \times \frac{2}{3} \times 0,4 \times \frac{1}{3} = 0,45 \text{ mm}$$

ii. Menghitung kedalaman total *bed*

Kedalaman media filter diperoleh dengan memplot ukuran media rata-rata yaitu 0,83.

Diperoleh kedalaman bak

$$l = 7,5 \times 10^2 \text{ mm} = 75 \text{ cm}$$

iii. Menghitung kedalaman media setiap layer

$$\text{kedalaman antrasit} = l_1 = 75 \text{ cm} \times \frac{2}{3} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{kedalaman pasir} = l_2 = 75 \text{ cm} \times \frac{1}{3} = 25 \text{ cm}$$

## B. Desain Aerasi

Aerasi dengan memasang tabung difuser pada unit ekualisasi. untuk menurunkan konsentrasi amonia. Aerasi dilakukan dengan

### 1) Mass Balance

*Mass Balance* untuk menganalisis kebutuhan air untuk mencapai removal amonia yang diinginkan

$$L_q(x_1 - x_2) = G(y_1 - y_2)$$

$L_q$  = debit air, mol air/ satuan waktu

$x_1$  = konsentrasi amonia air inlet

$x_2$  = konsentrasi amonia air outlet

$G$  = laju aliran udara, mole udara/ satuan waktu

$y_1$  = konsentrasi amonia udara inlet

$y_2$  = konsentrasi amonia udara outlet

Asumsi: air yang keluar dan udara yang masuk tidak mengandung amonia, maka persamaan *mass balance* akan menjadi:

$$L_q x_1 = G y_1$$

Atau

$$\frac{G}{L_q} = \frac{x_1}{y_1}$$

## 2) Konsentrasi Amonia

Suhu = 30°C

Berat molekul amonia (NH<sub>4</sub>) = 17 gram/ gram mol

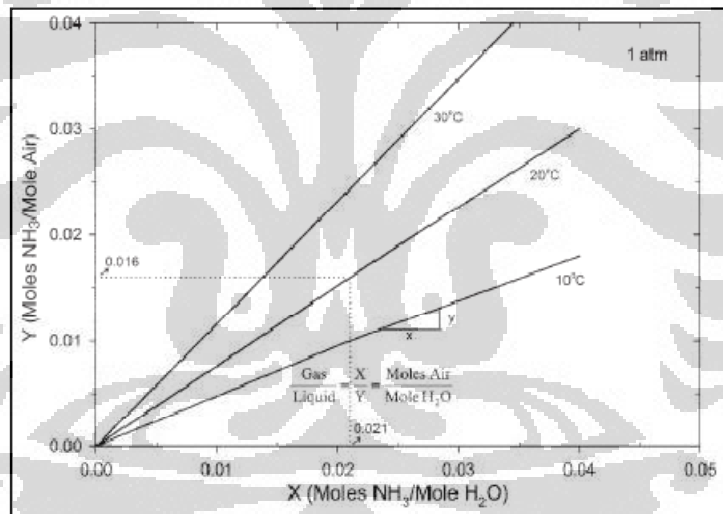
Berat molekul air (H<sub>2</sub>O) = 18 gram/ gram mol

Konsentrasi amonia = 6,87 mg/L

Konsentrasi amonia inlet (L<sub>q</sub>) = 6,87 mg/L = 6,87 × 10<sup>-3</sup> gram/1000 gram

$$= \frac{6,87 \times 10^{-3} \text{ gram NH}_3}{17 \text{ gram/gram mol}} \cdot \frac{1000 \text{ gram H}_2\text{O}}{18 \text{ gram/gram mol}}$$

$$= 7,27 \times 10^{-6} \text{ mol NH}_3/\text{mol H}_2\text{O}$$



Gambar 5.12 Persebaran keseimbangan amonia di udara dan air pada kondisi atmosfer

Sumber: Lawrence K. Wang, et all, 2006

Berdasarkan grafik keseimbangan tersebut, dengan konsentrasi amonia dalam air  $7,27 \times 10^{-6}$  mol NH<sub>3</sub>/mol H<sub>2</sub>O, maka konsentrasi amonia dalam udara (G) adalah  $G = 0,012 \times 10^{-3}$  mol NH<sub>3</sub>/ mol udara.

## 3) Kebutuhan Udara

Kebutuhan udara teoritis adalah

$$\frac{G}{L_q} = \frac{x_1}{y_1} = \frac{7,27 \times 10^{-6}}{0,012 \times 10^{-3}} = 1,65 \text{ mole udara/mol air}$$

Volume 1,65 mol udara = 1,65 mol x 22,4 liter/mol = 36,96 liter

Volume 1 mol air = 1 mol x 18 gram/gram mol x 10<sup>-3</sup> liter/gram = 0,018 liter

Sehingga,

$$\begin{aligned} \frac{G}{L_q} \text{ teori} &= \frac{36,96 \text{ liter udara}}{0,018 \text{ liter air}} = 2052,94 \text{ liter} \frac{\text{udara}}{\text{liter}} \text{ air} \\ &= 2,05 \text{ m}^3 \text{ udara/liter air} \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan udara teoritis ini berdasarkan efisiensi operasi 100% yang pada pelaksanaannya tidak mungkin tercapai. Oleh karena itu, untuk desain aktual, agar mencapai efisiensi removal amonia 90%, direkomendasikan untuk mendesain kebutuhan udara 1,5 kali dari kebutuhan teoritis.

$$\frac{G}{L_q} \text{ desain} = 1,5 \times 2,05 \frac{\text{m}^3 \text{ udara}}{\text{liter air}} = 3,08 \frac{\text{m}^3 \text{ udara}}{\text{liter air}}$$

Debit influen aerasi = 352,29 liter/hari

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara per hari} &= 352,29 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} \times 3,08 \frac{\text{m}^3 \text{ udara}}{\text{liter}} \\ &= 1084,85 \frac{\text{m}^3 \text{ udara}}{\text{hari}} = 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \end{aligned}$$

#### 4) Kebutuhan Diffuser

Kapasitas diffuser = 0,21 m<sup>3</sup>/menit.tabung

$$\text{Jumlah diffuser} = \frac{0,75 \text{ m}^3 / \text{menit}}{0,21 \text{ m}^3 / \text{menit} / \text{tabung}} = 3,6 \text{ tabung}$$

Menyediakan 4 difuser dengan kapasitas 0,21 m<sup>3</sup>/menit.