



UNIVERSITAS INDONESIA

**Analisis Pengaruh Ultrafiltrasi terhadap *Reverse Osmosis* di
*Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol***

SKRIPSI

REYNOLD H. C. HUTAPEA

0806338872

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**Analisis Pengaruh Ultrafiltrasi terhadap *Reverse Osmosis* di
*Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

REYNOLD H. C. HUTAPEA

0806338872

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITY OF INDONESIA

**Analysis Ultrafiltration Influence towards Reverse Osmosis in
Ancol Seawater Reverse Osmosis Plant**

FINAL REPORT

Submitted as one of the requirement needed to obtain the Engineer Bachelor
Degree

REYNOLD H. C. HUTAPEA

0806338872

**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JULY 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 : Reynold H. C. Hutapea
NPM : 0806338872
Tanda Tangan : 
Tanggal : 5 Juli 2012

STATEMENT OF ORIGINALITY

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

I have stated correctly.

Name : Reynold H. C. Hutapea
NPM : 0806338872
Signature : 
Date : July 5th 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Reynold H. C. Hutapea

NPM : 0806338872

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Ultrafiltrasi Terhadap *Reverse Osmosis*
di *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Firdaus Ali, M. Sc. (.....)
Pembimbing : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M. Eng. (.....)
Penguji : Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA. (.....)
Penguji : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M. Agr. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juli 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by:

Name : Reynold H. C. Hutapea
NPM : 0806338872
Majoring : Environmental Engineering
Title : Analysis Ultrafiltration Influence towards Reverse Osmosis in Ancol Seawater Reverse Osmosis Plant

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

EXAMINERS

Consultant : Dr. Ir. Firdaus Ali, M.Sc. (.....)
Consultant : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M. Eng. (.....)
Examiner : Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA. (.....)
Examiner : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M. Agr. (.....)

Decided at : Depok

Date : July 5th, 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi dilakukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari tanpa adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, saya tidak akan dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Firdaus, M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan kepada saya dalam pengerjaan penelitian ini;
2. Bapak Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M.Eng., selaku dosen pembimbing skripsi dan pembimbing akademik yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan bantuan kepada saya dalam menyelesaikan skripsi;
3. Bapak Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk pembuatan skripsi;
4. Bapak Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk pembuatan skripsi;
5. Bapak Ir. Sandy Rudiana, Bapak Miftach, dan operator yang telah memberikan saya izin dan bersedia meluangkan waktu untuk berdiskusi selama penelitian berlangsung di Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol;
6. Ibu Ir. Irma Gusniani D., M.Sc., Mbak Diah, dan Mbak Lika, yang telah membantu dalam pengujian parameter di Laboratorium Teknik Lingkungan
7. Mbak Fitri yang membantu kelengkapan administrasi skripsi saya;
8. Ibu Gabriel S. B. Andari, M.Sc., Ph.D., yang memotivasi dan memberikan pengarahan kepada saya selama pembuatan skripsi;
9. Tulang Dr.Rudy Parluhutan Tambunan yang membantu saya memberikan referensi dan mengarahkan saya untuk penulisan skripsi ini;
10. Briantono Raharjo yang telah memberikan saya masukan terkait referensi untuk penulisan skripsi ini;

11. Teman-teman Korps baret ungu Kujang, Trisula, Keris, Salawaku, dan senior dari Satuan Resimen Mahasiswa Wira Makara Universitas Indonesia yang telah memotivasi dan membantu saya untuk membagi waktu saat tugas dan penelitian sehingga dapat berjalan dengan lancar;
12. Bang Ito, Franz Sinaga, Albert, Arya, Gogo, Hade, dan teman-teman PO FTUI yang telah memberikan motivasi dan doa selama pembuatan skripsi;
13. Teman-teman Trikara Boys (Krisman, Ricky, dan Alfred), Christian, Paulus, Meizar, dan Oka yang telah berbagi suka duka ketika menghadapi berbagai tantangan perkuliahan;
14. Katy Perry dan Coldplay yang telah memberikan inspirasi dan hiburan setiap malam sehingga saya bisa tetap mengerjakan skripsi;
15. Teman-teman Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2008 yang telah memberikan semangat;
16. Semua pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
17. Ucapan terima kasih terkhusus kepada bapak, mamak, dan abang yang senantiasa memberikan doa, nasihat, dan *shock therapy*.

Penulis menyadari penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, saya berharap kiranya Tuhan memberkati semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 5 Juli 2012



Reynold H. C. Hutapea

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

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

Nama : Reynold H. C. Hutapea
NPM : 0806338872
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Indonesia
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:

Analisis Pengaruh Ultrafiltrasi Terhadap Proses *Reverse Osmosis* di *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dari sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 5 Juli 2012

Yang menyatakan



(Reynold H. C. Hutapea)

ABSTRAK

Nama : Reynold H. C. Hutapea
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Analisis Pengaruh Ultrafiltrasi Terhadap *Reverse Osmosis* di *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*

Ultrafiltrasi adalah proses pengolahan air dengan menggunakan proses membran. Ultrafiltrasi dapat menghilangkan *suspended solids*, mikroorganisme, partikel organik terlarut, dan koloid. Kemampuan proses ultrafiltrasi untuk menghilangkan zat-zat tersebut akan menghasilkan air dengan kekeruhan yang rendah. Oleh karena itu, penggunaan ultrafiltrasi sebagai *pretreatment* untuk mengolah air laut akan membantu proses *reverse osmosis* untuk menghasilkan kualitas dan kuantitas air yang lebih baik.

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian air laut dari Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol yang menghasilkan air minum 5000 m³/hari dengan parameter kekeruhan, TDS, pH, dan suhu. Sampel berasal dari air umpan ultrafiltrasi, air yang dihasilkan dari proses ultrafiltrasi/air umpan *reverse osmosis*, dan air yang dihasilkan dari proses *reverse osmosis*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh rata-rata kekeruhan air yang dihasilkan dari proses ultrafiltrasi adalah 0,62 NTU dengan persentase pengurangan sebesar 78,80 % dan rejeksi sebesar 0,14 %. Pada *reverse osmosis* kekeruhan air yang dihasilkan adalah 0,34 NTU dengan persentase pengurangan 36,10 % dan rejeksi sebesar 78,63 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan ultrafiltrasi sebagai *pretreatment* untuk menurunkan nilai kekeruhan sangat baik, tetapi untuk menurunkan TDS air laut proses ultrafiltrasi tidak efektif untuk digunakan karena rejeksi yang sangat kecil. Air umpan *reverse osmosis* dengan kekeruhan yang sangat kecil dapat memperpanjang masa penggunaan membran dan jumlah air yang dihasilkan juga maksimal.

Kata kunci : ultrafiltrasi, *reverse osmosis*, kekeruhan, rejeksi, air laut.

ABSTRACT

Name : Reynold H. C. Hutapea
Study Program : Environmental Engineering
Title : Analysis Ultrafiltration Influence towards Reverse Osmosis
in Ancol Seawater Reverse Osmosis Plant

Ultrafiltration is water treatment process using membrane process. Ultrafiltration can remove suspended solids, microorganisms, soluble organic material, and colloids. Ultrafiltration process produces water of low turbidity. Therefore, using ultrafiltration as pretreatment reverse osmosis produces water high quality and quantity.

This research has been done seawater test from Ancol Seawater Reverse Osmosis Plant that produce 5000 m³/day. Tested parameters are turbidity, TDS, pH, and temperature. Samples are taken from ultrafiltration feed water, ultrafiltration product water/reverse osmosis feed water, and reverse osmosis product water. Based on research results gained average turbidity from ultrafiltration product water are 0,62 NTU or 78,80 % decreasing and 0,14 % rejection. At reverse osmosis product water is gained average turbidity 0,34 NTU or 36,10 % decreasing and 78,63 % rejection. These results show that using ultrafiltration as pretreatment to decrease turbidity is good choice but to decrease TDS seawater not effective because of rejection of ultrafiltration is insignificant. Reverse osmosis feed water having low turbidity could make membrane lifetime longer and produce maximal water.

Key word : ultrafiltration, reverse osmosis, turbidity, rejection, seawater.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ix
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Ruang Lingkup	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	17
2.1 Definisi Air	17
2.2 Persyaratan Air Baku.....	8
2.2.1 Kualitas	10
2.2.1.1 Parameter Air Minum Yang Berhubungan Langsung Dengan Kesehatan.....	10
2.2.1.2 Parameter Air Minum Yang Tidak Langsung Berhubungan Dengan Kesehatan .	12
2.2.2 Kuantitas	17
2.3 Pengolahan Air Bersih	17
2.3.1 Intake	17

2.3.2 Prasedimentasi	18
2.3.3 Koagulasi	18
2.3.4 Flokulasi	19
2.3.5 Sedimentasi	19
2.3.6 Filtrasi	20
2.3.7 Proses Membran.....	21
2.3.8 Reservoir	22
2.3.9 Desinfeksi	22
2.3.10 Pengolahan Lumpur.....	23
2.4 Proses Desalinasi	23
2.4.1 Proses Distilasi	25
2.4.1.1 <i>Multistage Flash Evaporation (MSF)</i>	25
2.4.1.2 <i>Multi-Effect Distillation (MED)</i>	28
2.4.1.3 <i>Vapor Compression Distillation (VCD)</i>	28
2.4.1.4 <i>Freeze Desalination</i>	29
2.4.2 Proses Membran.....	29
2.4.2.1 Mikrofiltrasi.....	29
2.4.2.2 Ultrafiltrasi	30
2.4.2.3 Nanofiltrasi.....	31
2.4.2.4 <i>Reverse Osmosis</i>	32
2.5 Membran	33
2.5.1 Prinsip Dasar Membran	34
2.5.2 Material Membran.....	34
2.5.3 Membran Desalinasi.....	35
2.5.4 Faktor – Faktor Yang Memengaruhi Kinerja Membran	36
BAB 4 METODE PENELITIAN	40
3.1 Umum	40
3.2 Diagram Alir Penelitian	41
3.3 Hipotesis Penelitian	42
3.4 Lokasi Penelitian	42
3.5 Metode Pengambilan Sampel.....	42

3.5.1 <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS).....	45
3.5.2 Turbiditas	46
3.5.3 Pengukuran pH	46
3.5.4 Pengukuran suhu.....	47
3.6 Waktu Pengambilan Sampel Air	47
3.7 Metode Pengolahan Data	47
3.7.1 Pengolahan Data Kekeruhan.....	47
3.7.2 Pengolahan Data TDS.....	48
BAB 4 GAMBARAN UMUM.....	7
4.1 Gambaran Umum <i>Seawater Reverse Osmosis Plant</i> Ancol.....	7
4.2 Struktur Organisasi Instalasi <i>Seawater Reverse Osmosis</i> Ancol...	9
4.3 Infrastruktur dan Fasilitas Instalasi <i>Seawater Reverse Osmosis</i> Ancol.....	11
4.4 Operasional Instalasi.....	13
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
5.1 Pengukuran Kekeruhan, TDS, pH, dan Suhu.....	59
5.2 Data Penelitian	59
5.3 Analisis Data	62
5.3.1 Analisis Data Kekeruhan.....	62
5.3.2 Analisis Data TDS	67
5.3.3 Analisis Data pH dan Suhu	71
5.3.4 Analisis Data Terhadap Baku Mutu.....	75
5.4 Pengaruh <i>Pretreatment</i> UF terhadap RO.....	76
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
6.1 Kesimpulan	78
6.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Karakteristik Kualitas Air	10
Gambar 2.2 Pengolahan Air Berdasarkan Kadar Salinitas	24
Gambar 2.3 Skema MSF	27
Gambar 2.4 Proses ME	28
Gambar 2.5 Perangkat Ultrafiltrasi	31
Gambar 2.6 Proses <i>Reverse Osmosis</i> (A) Osmosis, (B) Persamaan Tekanan Osmotik, (C) Reverse Osmosis	33
Gambar 2.7 Ukuran Membran dan Zat – Zat Yang Dihilangkan	36
Gambar 2.8 Skema Penampang Melintang Membran	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	42
Gambar 3.3 Proses Pengolahan Air Ancol	44
Gambar 3.4 Bak DAF	45
Gambar 3.5 Bak UF	45
Gambar 3.6 Bak RO	45
Gambar 3.7 Alat TDS	46
Gambar 3.8 Nefelometer	46
Gambar 4.1 Instalasi SWRO Ancol Melalui Pencitraan Udara	50
Gambar 4.2 Pengolahan Air Berdasarkan Kadar Salinitas	52
Gambar 4.3 Instalasi SWRO Ancol	54
Gambar 5.1 Gambar membran UF	61
Gambar 5.2 Spesifikasi membran RO	62
Gambar 5.3. Perubahan Kekeruhan	63
Gambar 5.4 Perubahan TDS	69
Gambar 5.5 Perubahan pH	73
Gambar 5.6 Perubahan Suhu	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kualitas Air Baku.....	9
Tabel 2.2 Daftar Persyaratan Kualitas Air Minum.....	16
Tabel 2.3 Klasifikasi Salinitas Air.....	35
Tabel 5.1 Pengukuran Kekeruhan, TDS, pH, dan Suhu	60
Tabel 5.2 Tabel Pengukuran Kekeruhan.....	63
Tabel 5.3 Tabel Perubahan Kekeruhan.....	67
Tabel 5.4 Pengukuran TDS.....	68
Tabel 5.5 Perubahan TDS.....	69
Tabel 5.6 Rejeksi Membran.....	70
Tabel 5.7 Pengukuran pH.....	72
Tabel 5.8 Pengukuran Suhu.....	74
Tabel 5.9 Baku Mutu Air Minum.....	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambahan populasi manusia menyebabkan kebutuhan manusia pada air bersih terus meningkat setiap waktu. Manusia menggunakan air untuk berbagai macam kegiatan. Hal yang mendasar dari penggunaan air adalah manusia menggunakan air untuk tetap hidup sebab tubuh manusia terdiri dari 55% - 60% untuk orang dewasa dan anak – anak 65%, dan untuk bayi 80 % yang tergantung dari ukuran badan (Notoadmojo, 2003). Pada tahun 2002 Badan dunia UNESCO telah menetapkan hak dasar manusia atas air yaitu sebesar 60 ltr/org/hari. Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum membagi lagi standar kebutuhan air minum tersebut berdasarkan lokasi wilayah sebagai berikut:

- a. Pedesaan dengan kebutuhan 60 liter/orang/hari.
- b. Kota Kecil dengan kebutuhan 90 liter/orang/hari.
- c. Kota Sedang dengan kebutuhan 110 liter/orang/hari.
- d. Kota Besar dengan kebutuhan 130 liter/orang/hari.
- e. Kota Metropolitan dengan kebutuhan 150 liter/orang/hari.

Berdasarkan pada Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 23 Tahun 2006 tentang Pedoman Teknis dan Tata Cara Pengaturan Tarif Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum menyatakan bahwa standar kebutuhan pokok air minum adalah kebutuhan air sebesar 10 meter kubik/kepala keluarga/bulan atau 60 liter/orang/hari.

Kota Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Kesatuan Republik Indonesia memiliki lima fungsi utama yaitu : Jakarta sebagai pusat pelayanan pemerintah, pusat perdagangan dan distribusi, pusat kegiatan moneter dan keuangan, pintu gerbang kepariwisataan, dan pusat pelatihan & informasi. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2010 Provinsi DKI Jakarta jumlah penduduk di Provinsi DKI Jakarta adalah 9.588.198 orang dengan persentase laju pertumbuhan penduduk 1,40 %. Dengan tingkat pertumbuhan penduduk seperti

itu dan aktivitas yang tinggi di Provinsi DKI Jakarta maka kebutuhan penduduk terhadap air bersih menjadi semakin besar.

Sumber air bersih yang digunakan oleh penduduk di Provinsi DKI Jakarta adalah air bawah tanah dan air olahan yang berasal dari PDAM, tetapi sumber air tersebut tidak bisa untuk memenuhi kebutuhan seluruh penduduk di Provinsi DKI Jakarta. Berbagai peraturan dikeluarkan pemerintah untuk mengatur penggunaan air bawah tanah sebagai sumber air bersih. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2008 tentang Air Tanah dan Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 37 Tahun 2009 tentang Nilai Perolehan Air Sebagai Dasar Pengenaan Pajak Pengambilan dan Pemanfaatan Air Bawah Tanah bahwa jumlah air bawah tanah terbatas dan pembatasan penggunaan air bawah tanah juga terkait untuk mencegah degradasi lingkungan yang semakin meningkat. Harga yang dikenakan untuk penggunaan air bawah tanah tersebut lebih mahal dibandingkan air PAM. Dari hal tersebut pemerintah mengharapkan supaya masyarakat, industri, dan daerah komersil menggunakan air PAM ataupun mengolah air bersih secara mandiri dengan membuat *water treatment plant*.

PT. Lyonnaise Jaya maupun PT. Aetra Air Jakarta merupakan perusahaan mitra PAM Jaya yang mengelola air minum di Jakarta. Jumlah air bersih rata – rata dihasilkan 17865 l/detik tidak mampu melayani seluruh kebutuhan air bersih warga Jakarta karena keterbatasan air baku yang berasal dari berbagai sungai di Jakarta dan Instalasi Pengolahan Air (IPA) yang terbatas. Sampai akhir tahun 2012, cakupan layanan air perpipaan di DKI Jakarta baru mencapai 44 % (Firdaus, 2012). Hal ini menyebabkan beberapa perusahaan yang tidak memperoleh air sesuai kebutuhan memilih untuk membangun instalasi pengolahan air sendiri sebab kebutuhan perusahaan pada air bersih sangat penting untuk melaksanakan kelangsungan bisnis. Biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan instalasi air bersih tidak murah karena teknologi pengolahan air di Indonesia untuk skala besar sangat mahal, tetapi jika hal ini tidak dilakukan maka kegiatan perusahaan tidak dapat berjalan dengan lancar.

Salah satu contoh pengolahan air bersih secara mandiri sudah dilakukan oleh PT. Pembangunan Jaya Ancol (PJA). PJA melakukan proses pengolahan air laut. Air tersebut diolah dengan menggunakan teknologi membran yaitu

ultrafiltrasi dan *reverse osmosis*. Instalasi Air Bersih yang berada di Ancol bernama *Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant* Ancol. Instalasi ini menghasilkan air olahan 5000 m³/hari.

Pengolahan air dengan proses *Reverse osmosis* dan Ultrafiltrasi mempunyai fungsi untuk mengolah air asin menjadi air tawar dengan cara filtrasi tingkat molekul. Berdasarkan gradient tekanan sebagai gaya dorongnya dan permeabilitasnya, membran dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu (Mulder,1991):

- a. Mikrofiltrasi (MF), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan berkisar 0,1-2 bar dan batasan permeabilitasnya lebih besar dari 50 L/m².jam.bar. Ukuran pori pada membran 0,07 – 0,3 μm.
- b. Ultrafiltrasi (UF), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan antara 1-5 Bar dan batasan permeabilitasnya adalah 10-50 L/m².jam.bar. Ukuran pori pada membran 0,005 – 0,25 μm.
- c. Nanofiltrasi (NF), Membran ini beroperasi pada tekanan antara 5-20 bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 1,4 - 12 L/m².jam.bar. Ukuran pori pada membran 0,0009 – 0,005 μm.
- d. *Reverse Osmosis (RO)*, Membran jenis ini beroperasi pada tekanan antara 10-100 bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 0,05-1,4 L/m².jam.bar. Ukuran pori pada membran 0,0001 μm.

Operasi membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen dari aliran fluida melalui suatu membran. Membran berfungsi sebagai penghalang tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Mulder, 1991). Proses pemisahan pada membran terjadi karena adanya proses fisika-kimia antara membran dengan komponen yang akan dipisahkan serta adanya gaya dorong yang berupa gradient konsentrasi (ΔC), gradient tekanan (ΔP) dan gradient potensial (ΔE) (Wiesner 1992).

1.2 Perumusan Masalah

Pengolahan air dengan menggunakan proses membran menjadi salah satu pilihan untuk menghasilkan air dengan kualitas air minum. Proses Ultrafiltrasi dan Mikrofiltrasi menjadi salah satu pilihan dari proses membran yang digunakan untuk *pretreatment* pada Nanofiltrasi dan *Reverse Osmosis* (Cowan et al.,1992). *Seawater Reverse Osmosis Plant* Ancol yang mengolah air laut menjadi air minum menerapkan pengolahan air dengan menggunakan Ultrafiltrasi sebagai *pretreatment Reverse Osmosis*. Dengan menggunakan Ultrafiltrasi sebagai *pretreatment* maka kekeruhan dan TDS yang dihasilkan dari proses ini dapat berkurang sehingga ketika diolah pada unit *Reverse Osmosis* nilai kekeruhan sudah sangat kecil.

Pada instalasi yang mulai beroperasi pada tahun 2011 ini belum pernah dilakukan penelitian mengenai parameter kualitas air kekeruhan dan TDS dari unit ultrafiltrasi dan unit *reverse osmosis*. Berdasarkan data TDS rata-rata dari *Seawater Reverse Osmosis Plant* Ancol diperoleh nilai TDS sebesar 38000 mg/L. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kualitas air yang dihasilkan dari *Seawater Reverse Osmosis Plant* Ancol?
2. Berapa besar penurunan nilai kekeruhan dan rejeksi yang diturunkan dari proses Ultrafiltrasi dan *Reverse Osmosis*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui parameter kualitas air kekeruhan, TDS, pH, suhu yang dihasilkan dari *Reverse Osmosis* berdasarkan Permenkes nomor 492 tahun 2010.
2. Menganalisis nilai kekeruhan dan rejeksi permeal yang dihasilkan dari proses ultrafiltrasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah :

1. Bagi penulis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan penulis dalam proses pengolahan air dengan menggunakan teknologi membran.

2. Bagi institusi pendidikan

Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi mengenai proses Ultrafiltrasi dan *Reverse Osmosis* untuk pengolahan air.

3. Bagi PT. Pembangunan Jaya Ancol

Penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh yang diberikan proses Ultrafiltrasi terhadap proses *Reverse Osmosis*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan di *Seawater Reverse Osmosis Plant* Ancol.

2. Fokus penelitian ini pada parameter kekeruhan dan TDS yang berasal dari proses Ultrafiltrasi dan Proses *Reverse Osmosis*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari 6 (enam) bab dengan sistematik penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini yang akan digunakan untuk menganalisis hasil yang diperoleh. Tinjauan pustaka dapat diperoleh dari buku, jurnal, dan berbagai tulisan dari internet.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah penelitian yang dimulai dari diagram alir penelitian, hipotesis penelitian, lokasi penelitian, metode pengambilan sampel, waktu pengambilan sampel, dan metode pengolahan data.

BAB IV GAMBARAN UMUM

Bab ini berisi tentang gambaran umum seawater reverse osmosis plant Ancol, struktur organisasi, infrastruktur, dan operasional instalasi.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengukuran kekeruhan, TDS, pH, dan suhu, data penelitian, dan analisis data.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan juga saran yang diberikan untuk *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Air

Air adalah cairan jernih tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau yang terdapat dan diperlukan dalam kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan yang secara kimiawi mengandung hidrogen dan oksigen. Air juga merupakan benda cair yang biasa terdapat di sumur, sungai, danau, dan laut. Air yang baik untuk digunakan oleh manusia adalah air bersih. Air bersih adalah air yang memenuhi syarat kesehatan. Penyediaan air bersih saat ini tidak dapat digantungkan pada alam. Berdasarkan laporan organisasi lingkungan dunia *World Wild Fund* (WWF) yang berada di Swiss dilaporkan bahwa sungai – sungai besar di setiap benua mengering dan terancam kekurangan pasokan air. Perubahan iklim, polusi, dan pengambilan air berlebihan untuk keperluan komersil menjadi salah satu faktor kekurangan cadangan air di alam.

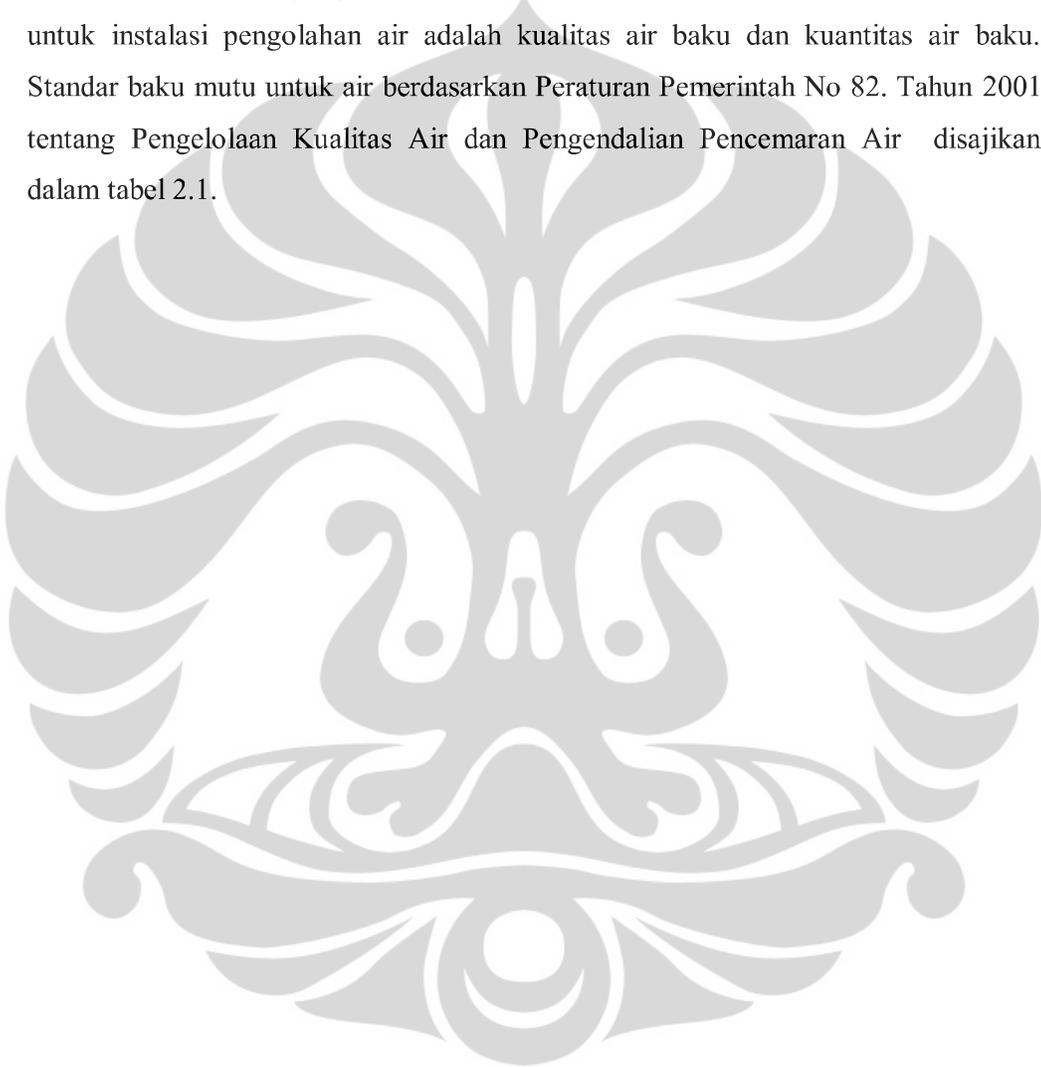
Air yang berada di bumi meliputi 70% permukaan bumi yang diperkirakan berjumlah 1,4 ribu juta kilometer kubik, namun yang dapat dimanfaatkan sekitar 0,003% dari jumlah total air yang ada di bumi. Sebagian besar air sekitar 97% terdapat dalam samudera atau laut yang memiliki kadar garam yang tinggi. Dari Sisa yang ada sekitar 3 %, sekitar 87 % tersimpan dalam lapisan kutub atau sangat dalam di bawah tanah dan sisanya yang dimanfaatkan pada sungai dan danau. Upaya pengelolaan air dilakukan untuk tetap menjaga ketersediaan air secara alami maupun pengolahan air dengan teknologi sehingga jumlah air yang dibutuhkan oleh manusia dapat terpenuhi. Sumber-sumber air yang dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan manusia, yaitu :

- Air hujan, air hasil kondensasi uap air yang jatuh ke tanah
- Air tanah, air yang mengalir dari mata air, sumur artesis atau diambil melalui sumur buatan
- Air permukaan, air yang berasal dari sungai atau danau

- Desalinasi air laut atau air tanah payau / asin
- Hasil pengolahan air buangan

2.2 Persyaratan Air Baku

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat memilih sumber air baku untuk instalasi pengolahan air adalah kualitas air baku dan kuantitas air baku. Standar baku mutu untuk air berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82. Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air disajikan dalam tabel 2.1.



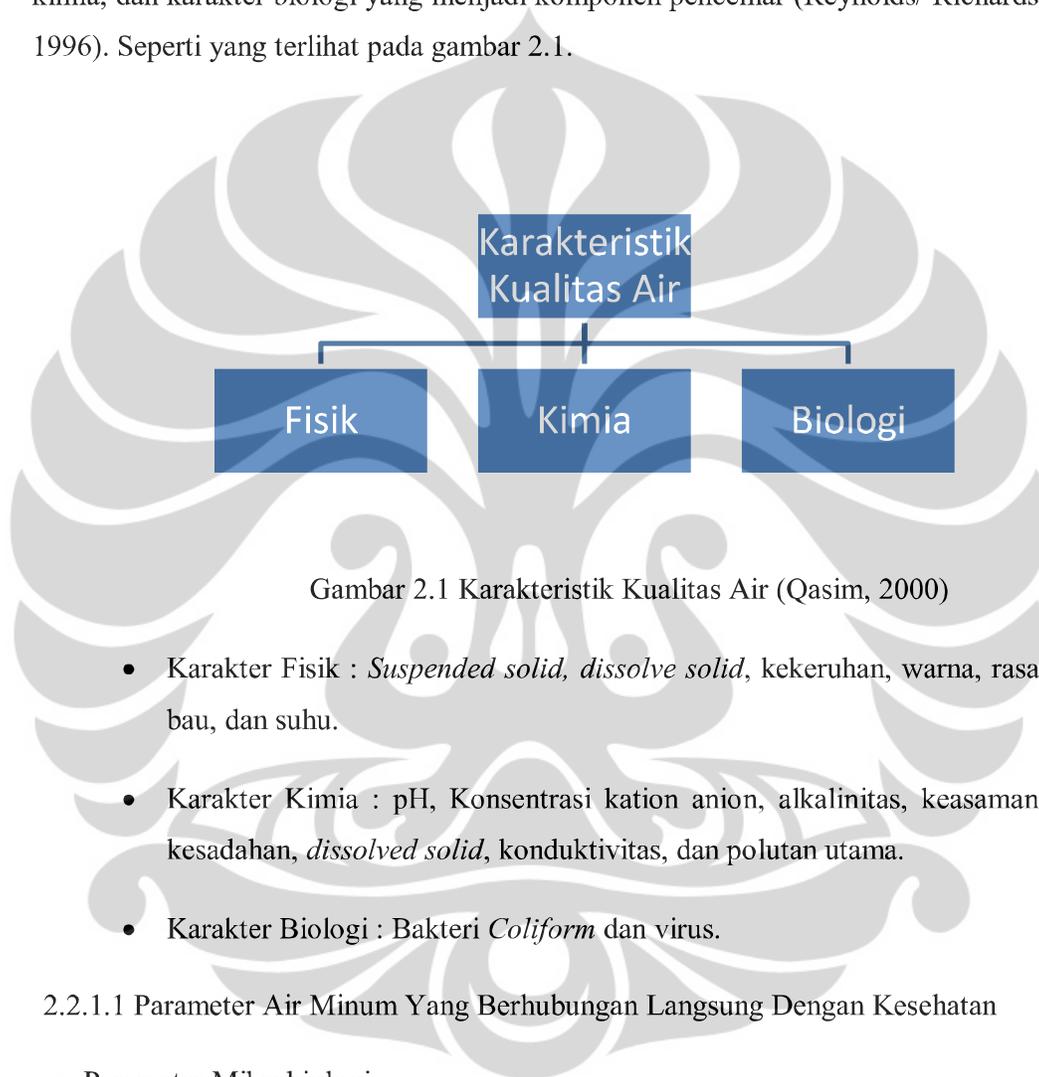
Tabel 2.1 Kualitas Air Baku

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alamiahnya
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi < 5000 mg/L
KIMIA ANORGANIK						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO ₃ sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH ₃ -N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka < 0,02 mg/L sebagai NH ₃
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu < 1 mg/L

(Sumber : www.jakartawater.org)

2.2.1 Kualitas

Air bersih adalah air yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Air bersih memiliki kandungan hidrogen dan oksigen dengan rumus H_2O . Karakteristik dari kualitas air dapat dikelompokkan dalam karakter fisik, karakter kimia, dan karakter biologi yang menjadi komponen pencemar (Reynolds/ Richards, 1996). Seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Karakteristik Kualitas Air (Qasim, 2000)

- Karakter Fisik : *Suspended solid, dissolve solid*, kekeruhan, warna, rasa, bau, dan suhu.
- Karakter Kimia : pH, Konsentrasi kation anion, alkalinitas, keasaman, kesadahan, *dissolved solid*, konduktivitas, dan polutan utama.
- Karakter Biologi : Bakteri *Coliform* dan virus.

2.2.1.1 Parameter Air Minum Yang Berhubungan Langsung Dengan Kesehatan

a. Parameter Mikrobiologi

Mikroba biasanya ditemukan pada air permukaan, tetapi biasanya tidak terdapat pada air bawah tanah karena filtrasi alami yang terjadi. Mikroba yang terdapat pada air permukaan adalah bakteri, protozoa, jamur, algae, dan virus. Virus dikelompokkan berdasarkan orang yang terinfeksi. Kebanyakan bakteri

menguntungkan bagi manusia, tetapi beberapa bakteri yang ada pada air tercemar adalah pathogen dan sumber penyakit.

Bakteri koliform yang utama terdiri dari spesies *Escherichia coli* dan *Aerobacter aerogenes* adalah indicator organisme yang hidup di tanah, usus manusia, dan hewan yang berdarah panas. Bakteri tersebut terdapat pada air, terutama pada jumlah yang besar mengindikasikan bahwa air tersebut telah tercemar oleh kotoran manusia. Bakteri tersebut tidak berlipat ganda pada air tetapi mati seperti dengan fungsi logaritma. Koliform merupakan hal yang penting tidak hanya karena mengindikasikan kemungkinan polusi yang terjadi, tetapi juga karena ketidakterdapatannya biasanya mengindikasikan ketiadaan patogen.

b. Parameter Kimia Anorganik

Fluorida terbentuk dari beberapa batuan dan hanya dapat larut dalam air. Pada air permukaan dan air bawah tanah mengalami kontaminasi akibat dari insektisida, buangan zat kimia, partikel udara, dan instalasi peleburan aluminium. Fluorida merupakan bagian yang penting dan digunakan pada struktur tulang dan gigi. Kandungan yang besar dari fluorida menyebabkan dental fluorosis dan racun.

Nitrogen merupakan komponen yang kompleks. Pada air alami, nitrogen berada dalam berbagai bentuk seperti : nitrogen organik (protein, asam amino, urea), ammonia (NH_3), gas nitrogen (N_2), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-). Sumber utama dari nitrogen pada diet manusia adalah protein. Nitrat bukan kontaminan yang penting dalam jumlah biasanya pada batas yang minimum.

Arsen merupakan salah satu bagian dari air bersih yang dapat menyebabkan penyakit kulit dan kanker pada komposisi tertentu. Tidak diketahui kelompok batasan kegunaan dari arsen ini sendiri. Keberadaan kromium dan kadmium pada air minum dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan gangguan ginjal. Sianida dalam air minum keberadaannya tidak penting, tetapi dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan saraf. Selenium akan berdampak pada gangguan pertumbuhan bagi manusia.

2.2.1.2 Parameter Air Minum Yang Tidak Langsung Berhubungan Dengan Kesehatan

a. Parameter Fisik

Warna alami dari air dapat disebabkan oleh adanya ion logam (besi dan mangan), humus, plankton, tumbuhan air, dan dinyatakan dalam satuan warna unit Pt-Co. Warna dalam air dapat dikategorikan menjadi warna semu dan warna sejati. Warna sejati (*true color*) adalah warna yang berasal dari penguraian zat organik alami yaitu zat humus (asam dan asam sulfat), lignin, tanin, dan asam organik lainnya. Warna semu (*apparent color*) adalah warna yang disebabkan oleh partikel-partikel penyebab kekeruhan (tanah, pasir, dll), partikel/dispersi halus besi dan mangan, partikel-partikel mikroorganisme (*algae/lumut*), warna yang berasal dari pemakaian zat warna oleh industri seperti bahan pencelup, cat, pewarna makanan, dan lain lain.

Total Dissolved Solids (TDS) adalah gabungan dari semua bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam cairan berupa molekul, terionisasi atau mikro-butiran (*sol koloid*). Material TDS dalam air dapat melewati filter dengan diameter kurang dari 2 μm , dan material yang tertahan oleh filter disebut dengan *Total Suspended Solid* (TSS). Sumber primer untuk TDS di perairan adalah pada daerah yang menerima limpasan pertanian, perumahan, pencucian kontaminasi tanah, dan titik debit sumber polusi air dari pabrik pengolahan industri atau limbah. TDS tidak dianggap sebagai polutan primer. TDS digunakan sebagai indikator karakteristik estetika air minum dan sebagai indikator jumlah partikel – partikel sangat kecil.

Kekeruhan adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air baku dengan skala NTU (*nephelo metrix turbidity unit*) atau JTU (*jackson turbidity unit*) atau FTU (*formazin turbidity unit*). Kekeruhan disebabkan oleh adanya benda tercampur atau benda koloid di dalam air atau dengan kata lain kekeruhan adalah ukuran sejauh mana air kehilangan transparansi karena adanya partikel tersuspensi. Hal ini membuat perbedaan nyata dari segi estetika maupun dari segi kualitas air itu sendiri. Kekeruhan dianggap

sebagai ukuran yang baik tentang kualitas. Mengukur kekeruhan berarti menghitung banyaknya bahan-bahan terlarut di dalam air misalnya lumpur, alga (ganggang), detritus, dan bahan-bahan kotoran lainnya. Apabila kondisi air sungai semakin keruh, maka cahaya matahari yang masuk ke permukaan air berkurang dan mengakibatkan menurunnya proses fotosintesis oleh tumbuhan air. Dengan demikian suplai oksigen yang diberikan oleh tumbuhan dari proses fotosintesis berkurang. Bahan-bahan terlarut dalam air juga menyerap panas yang mengakibatkan suhu air meningkat, sehingga jumlah oksigen terlarut dalam air berkurang.

Bau dan rasa biasanya disebabkan kandungan organik dari alga, mikroba, gas terlarut seperti metana dan hidrogen sulfida. Suhu menjadi salah satu komponen yang penting dalam pengolahan air. Suhu dari berbagai sumber air berbeda – beda. Pada air bawah tanah suhunya relatif konstan, tetapi pada air permukaan suhunya bervariasi tergantung dari aliran air tersebut. Pada penampungan air, suhu air tergantung dari dalamnya penampungan air tersebut. Jika penampungan air tersebut semakin dalam maka suhunya akan semakin rendah.

b. Parameter Kimiawi

Air tanah yang mengandung sejumlah besi atau mangan atau keduanya selalu kekurangan oksigen terlarut dan mengandung karbondioksida dalam jumlah yang tinggi. Besi dan Mangan hadir sebagai Fe^{2+} dan Mn^{2+} . Tingginya kandungan karbondioksida menunjukkan adanya oksidasi materi organik oleh bakteri yang ekstensif, dan tidak adanya oksigen terlarut menunjukkan berkembangnya kondisi anaerob. Dengan dasar pertimbangan termodinamika, hanya Mn (IV) dan Fe (III) yang ada dalam tingkat oksidasi stabil untuk besi dan mangan di dalam air yang mengandung oksigen. Jadi, bentuk-bentuk ini hanya dapat direduksi menjadi Mn (II) dan Fe (II) yang terlarut pada kondisi reduksi yang sangat anaerob. Masalah zat besi dan mangan di dalam air minum lebih sering terjadi jika sumber air baku yang digunakan berasal dari air tanah. Untuk air permukaan masalah zat besi atau mangan umumnya terjadi jika sumber air yang digunakan berasal dari danau yang

kedalamannya cukup tinggi (dalam) atau danau yang telah mengalami eutropikasi dimana terjadi kondisi reduksi atau anaerobik di bagian bawah atau dasar danau.

Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air dengan kadar mineral yang rendah. Air sadah dapat menyebabkan pengendapan mineral, yang menyumbat saluran pipa dan keran. Air sadah juga menyebabkan pemborosan sabun di rumah tangga, dan air sadah yang bercampur sabun dapat membentuk gumpalan *scum* yang sukar dihilangkan. Kesadahan air berasal dari kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Dalam industri, kesadahan air yang digunakan diawasi dengan ketat untuk mencegah kerugian. Untuk menghilangkan kesadahan biasanya digunakan berbagai zat kimia, ataupun dengan menggunakan resin penukar ion.

Asam sulfat, H_2SO_4 , merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia. Kegunaan utamanya termasuk pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah dan pengilangan minyak. Asam sulfat dianggap tidak beracun selain bahaya korosifnya. Resiko utama asam sulfat adalah kontak dengan kulit yang menyebabkan luka bakar dan penghirupan aerosol asap. Paparan dengan aerosol asam pada konsentrasi tinggi akan menyebabkan iritasi mata, saluran pernafasan, dan membran mukosa yang parah. Iritasi akan mereda dengan cepat setelah paparan, walaupun terdapat risiko edema paru apabila kerusakan jaringan lebih parah. Pada konsentrasi rendah sulfat dapat menyebabkan pengikisan gigi. pH merupakan suatu ekpresi dari konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam air. Besaran dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion H.

$$pH = -\log (H^+) \quad (2-1)$$

pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena dapat mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan di dalam air. Selain itu ikan dan makhluk-makhluk akuatik lainnya hidup pada selang pH tertentu, sehingga dengan diketahuinya nilai pH maka dapat diketahui apakah air tersebut sesuai atau tidak untuk kebutuhan.

Air yang digunakan sebagai air baku harus memenuhi beberapa persyaratan kualitas untuk diolah menjadi air minum. Peraturan mengenai persyaratan kualitas minum di Indonesia tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010 tentang Syarat – Syarat Kualitas Air. Parameter kualitas air minum tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2.



Tabel 2.2 Daftar Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai NO ₂)	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai NO ₃)	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	suhu udara ± 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kesadahan	mg/l	500
	4) Khlorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5
	7) Seng	mg/l	3
	8) Sulfat	mg/l	250
	9) Tembaga	mg/l	2
	10) Amonia	mg/l	1,5

(Sumber : hukor.depkes.go.id)

2.2.2 Kuantitas

Menentukan kuantitas air untuk sebuah instalasi pengolahan memerlukan informasi jumlah penduduk yang akan dilayani dan penggunaan air per kapita. Informasi tersebut diperlukan untuk mengetahui kebutuhan air yang diperlukan dalam pengolahan air.

2.3 Pengolahan Air Bersih

Pada pengolahan air minum diterapkan berbagai unit pengolahan untuk menghasilkan air sesuai dengan kualitas yang diinginkan. Unit pengolahan yang digunakan pada pengolahan air ini tergantung dari sumber air baku sehingga dapat disesuaikan kriteria desain yang akan digunakan pada pengolahan air tersebut. Bangunan atau alat pelengkap pengolahan air minum berupa: bangunan penangkap air (*Raw Water Intake*), pompa air baku (*Raw Water Pumping*), pembawa/transmisi air baku (*Raw Water Conveyence*) dan alat ukur (*Flow Measurement*). Pada proses pengolahan air bersih dilakukan kombinasi antara unit operasi dan unit proses. Unit operasi dan unit proses yang biasanya terdapat pada instalasi pengolahan air bersih adalah intake, prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, proses membran, *reservoir*, desinfeksi, dan pengolahan lumpur.

2.3.1 Intake

Berfungsi untuk mengambil air dari sungai, danau, *reservoir* melalui kisaran ketinggian air yang telah ditetapkan. Struktur dapat berupa pipa *intake* di bawah permukaan air sampai struktur seperti menara yang dapat memiliki *intake gates*, *screens*, *control valve*, *pump*, dan *chemical feeders*. *Intake* dapat terletak di bawah permukaan air, mengapung, atau *tower-like*. *Submerged* dan *floating intake* kemudian dilanjutkan ke *small water supply projects*, *large, tower-like intakes* dapat merupakan bagian dari bendungan atau struktur terpisah yang terletak di suatu tempat (Qasim, 2000).

2.3.2 Prasedimentasi

Unit pengolahan ini digunakan pada kualitas air yang memiliki kekeruhan yang tinggi dan kandungan koliform yang banyak. Ada dua tipe prasedimentasi yang biasanya digunakan. Tipe yang pertama adalah untuk air yang memiliki kekeruhan dan coliform yang rendah sampai menengah yaitu sekitar 10.000 NTU. Waktu tinggal pada tipe pertama ini sekitar tiga puluh menit sampai satu jam. Tipe yang kedua adalah untuk air yang memiliki kekeruhan dan jumlah coliform yang sangat tinggi yaitu sekitar 10.000 – 40.000 NTU. Waktu tinggal yang dibutuhkan untuk tipe kedua ini juga cukup lama yaitu sekitar 30 hari sampai 60 hari (Qasim, 2000).

2.3.3 Koagulasi

Koagulasi adalah proses destabilisasi muatan partikel koloid, partikel tersuspensi, bakteri, dan virus dengan proses pembubuhan bahan kimia atau koagulan ke dalam air yang akan diolah. Pengadukan cepat merupakan bagian terintegrasi dari proses ini yang dilakukan kurang dari satu menit. Destabilisasi partikel dapat diperoleh melalui mekanisme :

1. Pemanfaatan lapisan ganda elektrik
2. Adsorpsi dan netralisasi muatan
3. Penjaringan partikel koloid dalam presipitat
4. Adsorpsi dan pengikatan antarpartikel

Partikel koloid dapat menyebabkan warna dan kekeruhan sulit dipisahkan dari air karena partikel tersebut tidak mengendap oleh gravitasi dan karena sangat kecil maka tidak dapat tersaring oleh sebagian besar media filter. Untuk dapat diendapkan, partikel koloid harus diikat dan mempunyai ukuran yang lebih besar (Qasim, 2000).

Zat kimia yang dapat digunakan sebagai koagulan adalah semua yang kationnya bervalensi dua atau lebih dan kuat sifat elektrolitnya seperti Fe (ferrum,

besi) dan Al (aluminum). Yang umum dan sudah dijual luas ialah aluminum dan derivatnya: aluminum sulfat (tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dan Polyaluminum Chloride (PAC). Dari jenis besi antara lain fero sulfat ($\text{Fe}(\text{SO}_4)$) dan feri klorida (FeCl_4). Apabila koagulan alum atau derivatnya dimasukkan ke dalam air, maka akan terjadi disosiasi dan hidrolisis lalu polimerisasi.

2.3.4 Flokulasi

Flokulasi adalah pengadukan lambat yang bertujuan untuk menggabungkan inti flok menjadi flok-flok yang lebih besar lalu siap diendapkan pada proses sedimentasi dan filtrasi. Ukuran flok biasanya berkisar dari 0,1 – 2 mm. Gaya antar molekul yang diperoleh dari agitasi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap laju terbentuknya partikel flok. Tujuan utama flokulasi adalah membawa partikel ke dalam ikatan sehingga partikel-partikel tersebut saling bertabrakan, kemudian melekat, dan mejadi makroflok yang siap turun mengendap. Pengadukan lambat sangat diperlukan untuk membawa flok dan menyimpannya pada bak flokulasi (Qasim, 2000)

2.3.5 Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam air (Reynolds, 1982). Proses ini sangat umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Penggunaan sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah :

1. Pengendapan awal dari permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
2. Pengendapan air yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi sebelum memasuki unit saringan pasir cepat.
3. Pengendapan air yang telah melalui proses koagulasi dan proses flokulasi pada instalasi yang menggunakan sistem pelunakan air oleh kapur – soda.

4. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.

2.3.6 Filtrasi

Filtrasi merupakan proses mengalirkan media pasir atau kombinasi dari materi granular yang bertujuan memisahkan sebanyak mungkin suspended solid dari air olahan. Berdasarkan tipe media yang digunakan, filter dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Reynolds, 1982) :

1. Filter media tunggal. Filter ini memiliki satu tipe medium, biasanya pasir atau crushed anthracite coal.
2. Filter media ganda. Filter ini memiliki dua tipe medium, biasanya crushed anthracite dan pasir.
3. Filter multimedia. Filter ini memiliki tiga tipe media, biasanya crushed anthracite, pasir, dan garnet.

Berdasarkan laju filtrasi, filter dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. *Slow sand filter*

Pada slow sand filter medium pasir yang digunakan bebas dari lumpur dan organik. Urutan diameter butir pasir dari atas ke bawah tidak teratur (tidak terstratifikasi). Proses penyaringan yang lambat menyebabkan kontak yang cukup lama antara air dengan media filter sehingga proses biologis terjadi, terutama pada permukaan media. Pada slow sand filter dapat menyaring suspensi halus (bukan koloid) dan mempunyai lapisan biomassa yang aktif.

2. *Rapid sand filter*

Mekanisme penyaringan pada rapid sand filter sama dengan mekanisme pada slow sand filter. Perbedaannya terletak pada beban pengolahan dan penggunaan media filter. Beban pengolahan pada rapid sand filter jauh lebih besar daripada slow sand filter. Pada rapid sand filter seluruh media dimanfaatkan (*in-depth filter*) sedangkan *slow sand filter* hanya pada lapisan

teratas saja. Pada rapid *sand filter* akan efektif untuk menyaring suspensi kasar dalam bentuk flok halus yang lolos dari sedimentasi.

2.3.7 Proses Membran

Proses membran adalah penggunaan media filtrasi berukuran pori relatif kecil (mikro) untuk menghasilkan kualitas air yang tinggi dengan memindahkan dissolved solids dan suspended solids. Proses ini dapat dikelompokkan dalam dua kelompok berdasarkan proses gaya dorong process driving forces (Syed R. Qasim) yaitu : Proses yang didorong oleh tekanan yaitu : *reverse osmosis*, *nanofiltration*, *ultrafiltration*, dan *microfiltration*. Proses selanjutnya adalah proses yang disebabkan oleh aliran listrik : yaitu eletrodialisis dan eletrodialisis berlawanan. Tekanan osmotik dari larutan elektrolit dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\pi = \phi v \frac{n}{V} RT \quad (2-2)$$

di mana:

- π : tekanan osmostik;
- ϕ : koefisien osmostik;
- v : nomor ion yang terbentuk oleh molekul elektrolit;
- n : nomor mol elektrolit;
- V : volume zat pelarut;
- R : konstanta gas ideal;
- T : temperatur (K).

Proses membran dengan gaya dorong berawal dari dikembangkannya prinsip reverses osmosis. Osmosis adalah perpindahan alami air yang melewati membran semi permeabel dari konsentrasi lebih rendah ke konsentrasi lebih tinggi untuk menyamakan potensi kimia pada membran pemisah larutan. Tekanan osmosis adalah gaya dorong yang menyebabkan osmosis terjadi. Pada reverse osmosis, tekanan eksternal lebih besar daripada tekanan osmosis yang digunakan untuk larutan. Hal ini menyebabkan air mengalir melawan arah yang seharusnya melewati membran, sehingga menghasilkan kualitas air yang tinggi dengan mineral atau garam yang telah terbuang. *Nanofiltration (NF)*, *ultrafiltration (UF)*, *Microfiltration*

(MF) adalah proses membran yang lainnya yang biasanya digunakan tidak untuk menghilangkan mineral, tetapi untuk menghilangkan particle, color, NOMs, kontaminan inorganik, dan organik.

Pada proses membran yang didorong dengan gaya listrik seperti elektrodialisis merupakan proses membran yang efektif untuk menghilangkan mineral. Pada proses ini, potensi listrik digunakan untuk menekan ion – ion melewati ion membran selektif. Proses ini paling mudah dan digunakan secara luas untuk pengolahan air payau. Energi yang diperlukan secara proporsional untuk konsentrasi garam dalam air yang diolah. Tegangan listrik digunakan dalam *cell*, biasa disebut *stacks*. *Cell* terdiri dari kation yang diatur dengan alternatif pilihan lain dan anion membran permeabel. Kation dan anion dalam cairan umpan berpindah ke bagian penyangga yang berlawanan. Air umpan tersebut melewati kation dan anion-membran selectif sehingga menghasilkan air bersih dan garam. Untuk mencegah membran *fouling*, air harus diolah terlebih dahulu seperti dilakukan pada *reverse osmosis* (Mulder, 1991)

2.3.8 Reservoir

Reservoir berfungsi mengekualisasi aliran (*equalizing flow*), ekualisasi tekanan (*equalizing pressure*), sebagai distributor, dan sebagai tempat penyimpanan air yang dibutuhkan untuk melayani fluktuasi pemakaian air dan sebagai cadangan air untuk kebutuhan darurat, misalnya kebakaran (Qasim, 2000)

2.3.9 Desinfeksi

Desinfeksi adalah proses destruksi mikroorganisme patogen dalam air dengan menggunakan mekanisme fisik atau kimia.

- Mekanisme fisik
 - a. Desinfeksi dengan pemanasan yaitu dengan cara menaikkan suhu air sampai titik didih air dapat mendestruksi mikroorganisme patogen dalam air.
 - b. Desinfeksi dengan penyinaran

Matahari merupakan desinfeksi alami yang menghasilkan sinar ultraviolet. Sinar ultraviolet meningkatkan efisiensi desinfeksi. Sumber sinar ultraviolet yang paling sering digunakan adalah lampu mercury – vapor.

- Mekanisme kimia

Klorin, bromida, dan iodin merupakan desinfektan yang efektif. Desinfektan lain yang dapat digunakan adalah potasium permanganat, klorin dioksida, dan ozon. Pengolahan Lumpur

2.3.10 Pengolahan Lumpur

Lumpur buangan dihasilkan dari unit filtrasi dan sedimentasi yaitu air cucian filter dan lumpur sedimentasi. Karakteristik kedua jenis lumpur tersebut sangat berbeda. Air cucian filter dapat langsung dibuang ke badan air atau diolah terlebih dahulu, yaitu dengan cara :

1. Didaur ulang ke awal proses pengolahan
2. Diolah dengan paket pengolahan konvensional
3. Diendapkan dalam kolam besar.

Proses pengolahan lumpur dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

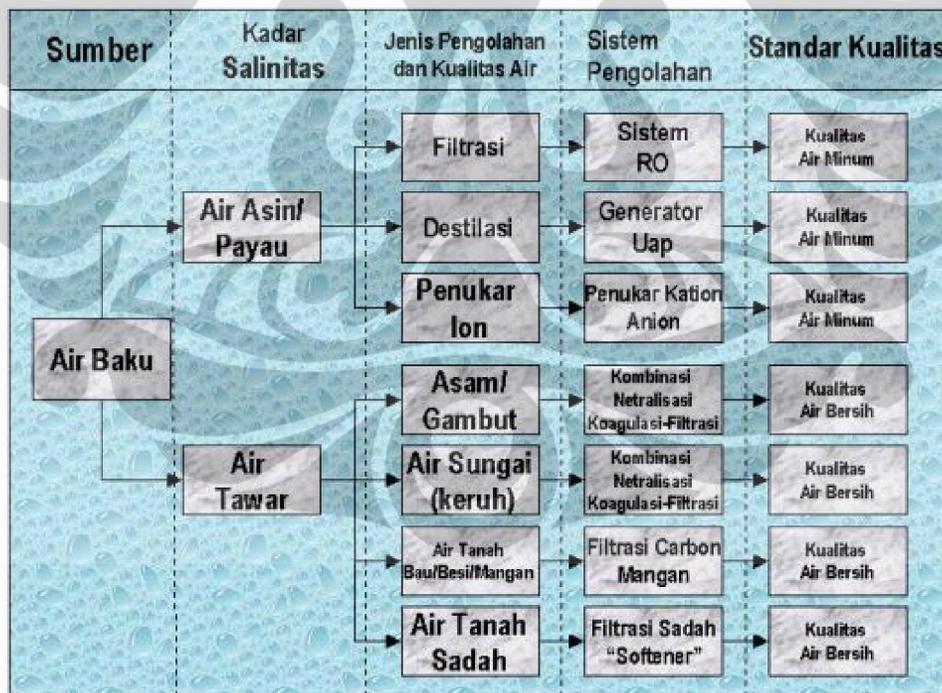
1. Gravitasi, seperti lagoon sludge drying bed.
2. Mekanik, seperti filter press, belt press, vacuum filter.

2.4 Proses Desalinasi

Proses desalinasi digunakan karena air baku yang akan diolah memiliki kandungan salinitas. Desalinasi telah digunakan untuk penyediaan air minum pada perjalanan kapal di laut sejak masa kuno dengan menggunakan pemanasan dan menjadi acuan awal untuk penelitian. Kemungkinan menghasilkan air bersih dari air laut atau air payau dengan pemisahan garam membuka dimensi yang baru dalam menyediakan air bersih. Pada daerah lain, kebutuhan untuk desalinasi bahkan lebih

penting dari produksi makanan yang terbatas oleh kekurangan air. Kekurangan ini terjadi pada negara kaya penghasil minyak bumi dan banyak di antaranya negara berkembang dan negara – negara miskin.

Desalinasi air adalah proses pemisahan air dari larutan yang asin. Siklus air alami ada banyak, contohnya adalah desalinasi air. Air di samudra menguap sebagai hasil dari pemanasan matahari dan pengaruh atmosfer, uap air, yang terdiri dari kebanyakan air bersih karena dapat mengabaikan perubahan garam pada temperatur ini. Uap air tersebut terkondensasi di awan di bagian atmosfer yang lebih dingin lalu awan berpindah dan pada akhirnya disimpan di permukaan bumi sebagai uap air hujan, salju, dan butir es. Cadangan air global dari siklus alami merupakan contoh, tetapi seperti dijelaskan sebelumnya banyak daerah di bumi tidak mendapat cukup air. Menurut Haryoto Indriatmoko dan Arie Herlambang dari Badan Pengajian dan Penerapan Teknologi, pengolahan air dapat dibedakan berdasarkan salinitas seperti pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2. Pengolahan Air Berdasarkan Kadar Salinitas

(Sumber : Herlambang dan Haryoto, 1999)

Banyak cara ditemukan untuk memisahkan air dari larutan air garam. proses desalinasi paling lama adalah distilasi. Penguapan dari cairan diefektivitaskan oleh tambahan panas atau dengan tekanan uap rendah. Kondensasi dari uap di lapisan membeku menghasilkan air bersih. Ada tiga proses distilasi yang utama yaitu : proses *multistage flash (MSF)*, *multieffect (MED)*, *vapor compression (VCD)*. Sampai pada awal 1980-an, proses MSF lebih banyak digunakan untuk desalinasi. Sekarang ini, proses membran, terutama *reverse osmosis* cukup bernilai ekonomi untuk memperoleh kurang lebih setengah pasar desalinasi (Spiegler, 1980).

2.4.1 Proses Distilasi

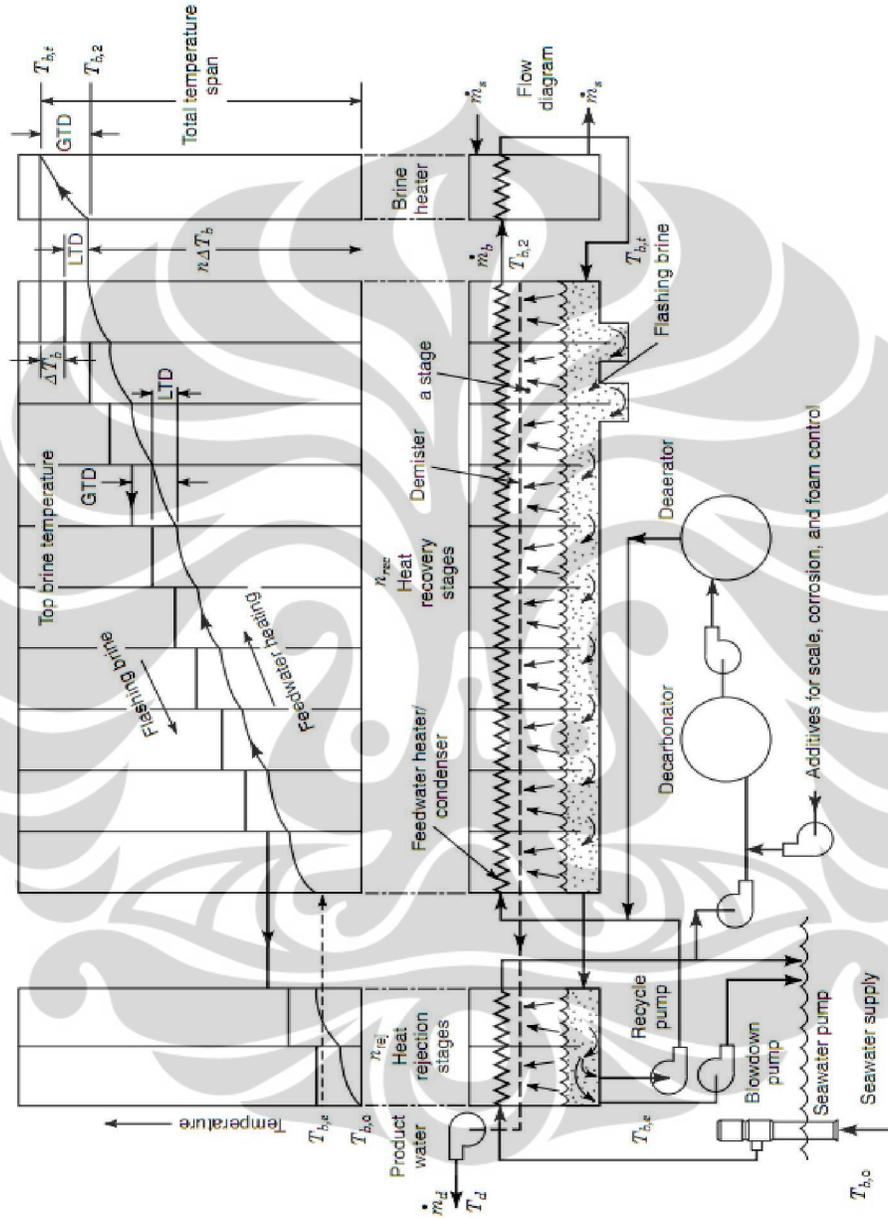
2.4.1.1 *Multistage Flash Evaporation (MSF)*

Instalasi pengolahan desalinasi yang besar kebanyakan menggunakan proses MSF. Air laut mengalami proses *preheated* dengan panas yang dari dalam dikembalikan dari kondensasi uap air ketika melewati bagian – bagian *stage*. Lalu pemanasan diatur pada suhu tertinggi dengan penguapan yang dihasilkan oleh panas yang berasal dari luar. Air laut yang panas tersebut lalu mengalir sebagai sebuah aliran horizontal bebas berupa uap di permukaan melalui setiap *stage* yang terbuat dari dinding vertikal yang memisahkan uap air pada stage yang lainnya. Dinding vertikal ini membiarkan uap air di setiap stage terjaga ketika pada tekanan yang berbeda. Tekanan ini perlahan – lahan diturunkan sepanjang aliran sebagai sebuah hasil dari menurunnya suhu secara perlahan – lahan pada preheater air laut yang dipasang di atas aliran bebas. Panas laten dari penguapan disimpan oleh pengurangan yang dari sensibilitas panas penguapan air, menghasilkan perlahan - lahan aliran rendah dari suhu aliran tersebut. Uap air tersebut memiliki energi yang menyebabkan timbulan gelembung dan semakin besar mengiringi aliran turbulensi, sebuah proses yang biasa dikenal *flash evaporation*.

Keuntungan utama dari proses MSF adalah penguapan terjadi dari aliran air asin dan tidak terjadi karena hal itu juga karena dalam proses distilasi seperti tabung yang terendam dan pengaruh penguapan yang berkali – kali di permukaan yang panas di mana penguapan seperti itu menyebabkan deposisi sehingga terjadi

pengurangan dari perpindahan panas. Hal yang dapat dilihat bahwa sensibilitas panas air kebanyakan lebih kecil dari pada panas latennya yang berasal dari penguapan (Spiegler, 1980).



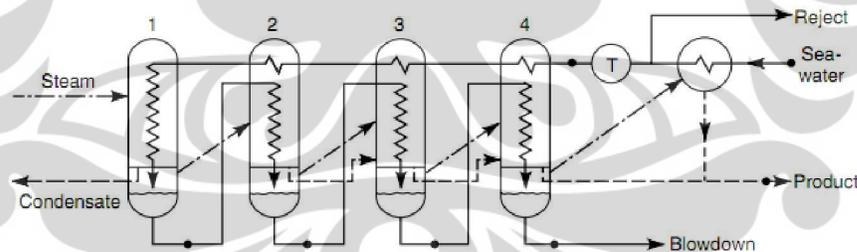


Gambar 2.3 Skema MSF (Sumber : Water Desalination Vol 26, Mark Wilf, 2006)

2.4.1.2 Multi-Effect Distillation (MED)

Prinsip dari proses distilasi *Multi-Effect* (ME) adalah kalor laten berasal dari kondensasi timbulan uap dalam satu tahap. Hal ini digunakan untuk menimbulkan uap pada tahap selanjutnya sehingga mendapatkan pengembalian kalor dari dalam dan untuk efisiensi energi yang baik. Instalasi seperti ini telah digunakan bertahun – tahun untuk pemrosesan gula, garam, dan proses industri lainnya.

Pada tabung vertikal *multi-effect evaporator* (VTE), air garam mengalir dari bagian bawah memasuki tabung vertikal dan penguapan yang merupakan hasil kondensasi uap masuk dari sebuah pengaruh suhu yang lebih tinggi pada tabung di luarnya. Pada saat itu pengembalian panas dari dalam adalah sebuah keunggulan yang mirip dari kedua proses MSF dan ME. Dalam penggunaan langsung pemindahan kalor laten kondensasi ke kalor laten untuk penguapan dari sensibilitas pengurangan kalor ke kalor laten untuk penguapan seperti pada MSF. Proses ME memerlukan air asin yang lebih sedikit dibandingkan MSF. Batasan konsentrasi air asin pada tahap terakhir adalah tiga kali dari air laut yang masuk ke pengolahan (Wilf, 2006).



Gambar 2.4 Proses ME (Sumber : Water Desalination Vol 26, Mark Wilf)

2.4.1.3 Vapor Compression Distillation (VCD)

Tekanan udara air asin lebih rendah dari pada air murni pada temperature yang sama. Perbedaan tekanan adalah proporsi untuk ketinggian titik uap dari air asin. Desalinasi dicapai oleh penguapan air asin dan kondensasi uap air di atas air murni. Oleh karena itu, tekanan untuk penguapan air asin harus ditingkatkan oleh

besarnya tekanan yang berbeda ditambah beberapa sejumlah tambahan untuk mengimbangi berbagai jenis kehilangan tekanan. Hal ini merupakan prinsip kerja dari metode desalinasi *vapor compression* (Wilf, 2006).

2.4.1.4 Freeze Desalination

Proses ini lebih dikenal dengan istilah pembekuan larutan air garam yang efektif digunakan untuk proses pemisahan air garam. Proses ini menghasilkan kristal es yang sangat penting untuk memisahkan garam yang dikelilingi oleh konsentrasi larutan garam yang lebih. Fenomena ini yang menjadi dasar penggunaannya sebagai proses desalinasi air. Penggunaan proses ini merupakan proses yang efisien dalam penggunaan energi, tetapi tidak efisien untuk digunakan pada komersil seperti kesulitan dalam efisien pengembangan dan nilai ekonomi untuk kompresor yang digunakan untuk penguapan membutuhkan spesifik volume yang tinggi pada proses tekanan rendah, dan sulitnya dalam proses pemeliharaan (Wilf, 2006).

2.4.2 Proses Membran Dengan Gaya Dorong

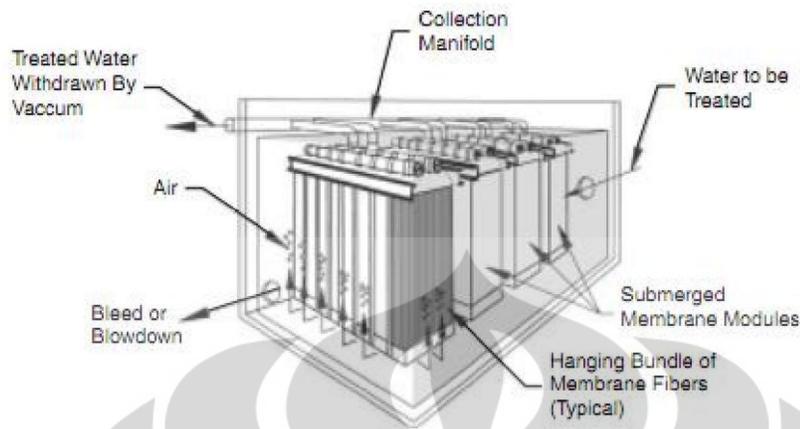
2.4.2.1 Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi menggunakan membrane yang memiliki ukuran pori mikro yang memiliki ukuran pori berkisar $0,07 - 0,3 \mu\text{m}$ (Jacangelo, 1994). Ukuran partikel yang dihilangkan berukuran di antara $0,05 - 1 \mu\text{m}$. Air yang melewati membran yang memiliki pori mikro dapat terjadi tanpa menggunakan tekanan untuk membran. Karena filtrasi granular, sistem penyaringan MF menghilangkan turbiditas, algae, bakteri, dan semua partikel. Biasanya digunakan untuk memisahkan suspended solid dan koloid pada air. Pada mikrofiltrasi tekanan rendah yang digunakan sebesar $21 - 340 \text{ kPa}$ dan pada kondisi vakum tekanannya -7 sampai -83 kPa . Besarnya tekanan yang digunakan mirip dengan proses ultrafiltrasi (Jacangelo, 2004).

2.4.2.2 Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi menggunakan membran yang memiliki pori efektif berukuran $0,005 - 0,25 \mu\text{m}$ (Jacangelo, 1994). Unit UF dapat memisahkan molekul yang besar, organik terlarut, koloid, makromolekul, asbestos, dan beberapa virus yang ada di air dengan membrane semipermeabel dan tekanan hidrostatis (Qasim, 2000). Proses UF didesain untuk menghilangkan partikel yang berukuran $0,005 - 0,1 \mu\text{m}$. UF tidak efektif untuk menghilangkan mineral; namun, kebanyakan kekeruhan berasal dari partikel, virus, dan kebanyakan unsur organik seperti molekul *natural organic matter* (NOMs) serta protein dapat dihilangkan dengan UF. Dengan menggunakan ultrafiltrasi, turbiditas, TDS, kesadahan, dan fosfor dapat diturunkan.

Sistem membran MF dan UF biasanya menggunakan *hollow fiber* yang dapat dioperasikan pada aliran langsung. Tekanan rendah sekitar 34 sampai 240 kPa atau vakum -7 sampai -83 kPa untuk bagian luar pada membran dapat digunakan sebagai gaya dorong melewati membran (Jacangelo, 1994). Membran UF dan MF biasanya terbuat dari berbagai jenis polimer organik seperti selulosa, polysulfones, polypropylene, dan polyvinylidene fluoride (PVDF). Bentuk fisik dari membran MF dan UF termasuk serabut yang berongga, spiral yang melilit, kotak, dan berbentuk panjang bulat. Pada proses pengolahan air MF dan UF digunakan sebagai pretreatment untuk NF dan RO untuk mengganti media filtrasi konvensional. Pada gambar 2.5 dapat dilihat perangkat unit UF.



Gambar 2.5 Perangkat Ultrafiltrasi

(Sumber GE Water & Technologies Zenon Environmental)

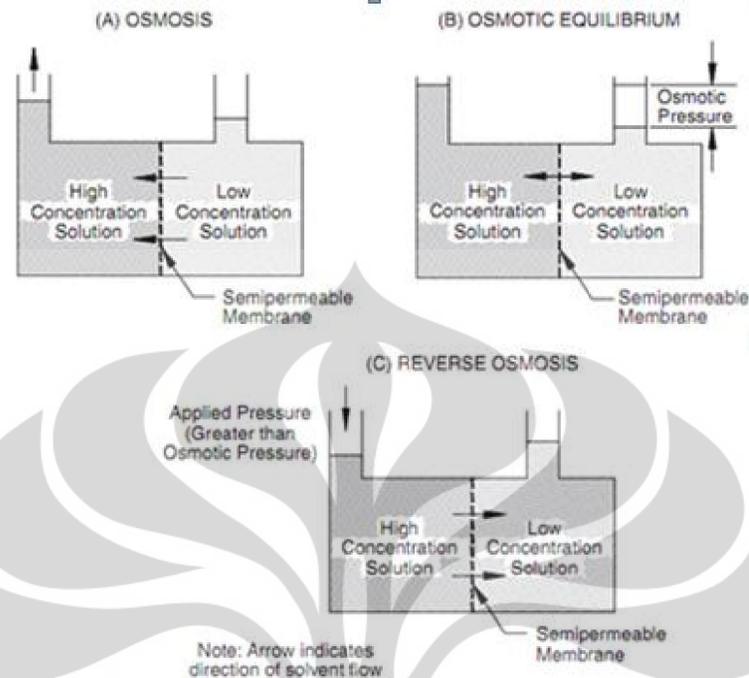
2.4.2.3 Nanofiltrasi

Nano berarti satu per seribu juta (10^{-9}). Satu nanometer (1nm) = 10^{-9}m = $10^{-3}\mu\text{m}$. Nanofiltrasi menggunakan membran yang memiliki ukuran pori $0,0009 - 0,005\mu\text{m}$ ukuran pori ini lebih besar jika dibandingkan dengan membran RO (Qasim et al., 2000). NF dan RO memisahkan zat yang berukuran *molecular weight cutoff* (MWCO) dalam satu unit massa Dalton. Jenis massa yang digunakan untuk NF dan RO adalah 200 sampai 1000 dalton dan <100 dalton masing – masing. Pada nanofiltrasi, kesadahan, TDS, dan warna dapat dihilangkan. Jenis tekanan umpan untuk sistem NF adalah 340 sampai 1030 kPa (Bergman, 2005). Persamaan tekanan osmotik tetap menggunakan NF, tetapi beda tekanan osmotik melewati membran akan lebih rendah.

Perangkat yang digunakan untuk proses NF tidak berbeda jauh dengan sistem RO dan termasuk tipe membran yang mendukung sistem seperti : pompa bertekanan tinggi, pipa, pengendalian konsentrasi, dan sistem pembuangan. Pada NF terdapat *backwash* yang berfungsi pada waktu tertentu dengan menggunakan air atau udara sebagai sistem penyaringan butiran. Membran biasanya dibersihkan otomatis ketika diperlukan.

2.4.2.4 Reverse Osmosis

Peristiwa osmosis pada gambar 2.6 terjadi ketika suatu pelarut mengalir dari larutan yang lebih encer (*low concentration solution*) melewati suatu membran semipermeabel menuju larutan yang lebih pekat (*high concentration solution*). Membran semipermeabel tersebut adalah membran yang hanya dapat melewatkan air, tetapi tidak melewatkan zat terlarut (misalnya garam) yang terlarut dalam air. Sistem tersebut akan mencapai kesetimbangan pada saat konsentrasi pada kedua larutan adalah sama. Pada kondisi ini, beda tekanan antara larutan yang lebih pekat terhadap larutan yang lebih encer disebut tekanan osmotik (*osmotic pressure*). Jika pada larutan yang lebih pekat diberi tekanan yang lebih besar daripada tekanan osmotik, maka akan terjadi aliran balik air dari larutan yang lebih pekat melalui membran menuju larutan yang lebih encer. Peristiwa ini disebut dengan reverse osmosis seperti gambar. Dengan menggunakan *reverse osmosis* TDS, mineral, ion inorganik, organik terlarut, dan warna dapat dihilangkan.



Gambar 2.6 Proses *Reverse Osmosis* (A) Osmosis, (B) Persamaan Tekanan Osmotik, (C) Reverse Osmosis (Wilf, 2006)

Air yang berasal dari proses RO biasanya memiliki pH yang rendah. Hal ini disebabkan alkalinitas pada air sangat rendah. Alkalinitas adalah pengukuran pH buffer dari larutan. Alkalinitas dapat menjadi indikasi dari konsentrasi anion yang dapat meningkatkan buffer pada air laut seperti : karbonat, hidrogen bikarbonat, borat, sulfat, dan hidroksida. Rendahnya alkalinitas menyebabkan air hasil RO mudah mengalami penurunan pH ketika mengalami kontak dengan karbon dioksida (Jacangelo, 2004).

2.5 Membran

Membran dapat didefinisikan sebagai selaput/film tipis yang bertindak sebagai pembatas selektif antara dua fasa atau lebih oleh sebab sifat *semipermeable* yang dimilikinya. Secara fisik membran dapat berwujud cair atau gas, fungsinya sebagai agen pemisah dengan selektifitas berdasarkan perbedaan koefisien difusifitas, potensial listrik, atau solubilitas. Gaya dorong proses

pemisahan melalui membran antara lain perbedaan gaya tekan, konsentrasi, temperatur, atau potensial listrik.

Teknologi membran yang pertama kali muncul dalam skala industri adalah *reverse osmosis*, mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), elektrodialisis (ED), membran elektrolisis (MEL), dan difusi dialisis (DD), serta dialisis. Ketujuh membran diatas adalah generasi membran pertama. Sedangkan membran *gas separation* (GS), *vapour permeation* (VP), *pervaporasi* (PV), dan membran kontaktor (MC) sebagai generasi lanjutan berada dalam tahap pengembangan ke arah industrial (Mulder, 1996).

2.5.1 Prinsip Dasar Membran

Membran memfasilitasi zat secara spesifik untuk berpindah dari satu sisi ke sisi yang lainnya. Membran yang menggunakan beda tekanan sebagai driving force memiliki selektivitas berdasarkan besar pori. *Reverse osmosis* memiliki pori terkecil sehingga hanya air (molekul dalam ukuran nanometer) yang dapat melewati membran tersebut. Kinerja membran dapat diukur melalui pengukuran fluks.

2.5.2 Material Membran

Material membran terbagi menjadi dua yaitu membran biologis dan sintesis. Membran sintesis dapat berupa inorganik atau organik. Beberapa material yang sering dipakai dalam membran organik antara lain selulosa, polisulfon, polietersulfon, poliolefin, poliamida, polipropilen, polietekton, dan poliakilonitril. Material diatas tergolong bahan polimer tunggal. Beberapa campuran antar senyawa karbon dan komposit dapat menjadi material membran sintesis. Termasuk dalam membran inorganik adalah membran keramik, *glassy membrane*, *metallic membrane*, dan zeolit. Materialnya dapat berasal dari Al_3O_2 , SiO_2 , dan ZrO . Jenis membran ini memiliki keunggulan dalam hal ketahanan temperatur dan kekuatan gaya. Namun aplikasinya sangat terbatas karena harganya mahal. Berbeda dengan membran sintesis, membran biologis memiliki struktur yang paling rumit diantara semua jenis membran. Penyebab kerumitan tersebut adalah

fungsi yang spesifik untuk tiap jenis membran. Oleh karena itu membran biologis jarang digunakan dalam teknologi industrial.

2.5.3 Membran Desalinasi

Pengolahan air laut disebut dengan proses desalinasi, penghilangan garam, konversi air garam (Qasim, 2000). Salinitas air berbeda-beda yang tergantung dari sumbernya dan parameter untuk menentukan salinitas air adalah Total Dissolved Solids (TDS), ion klorin (Cl⁻), atau NaCl. Klasifikasi dari air laut dapat dilihat pada tabel 2.3

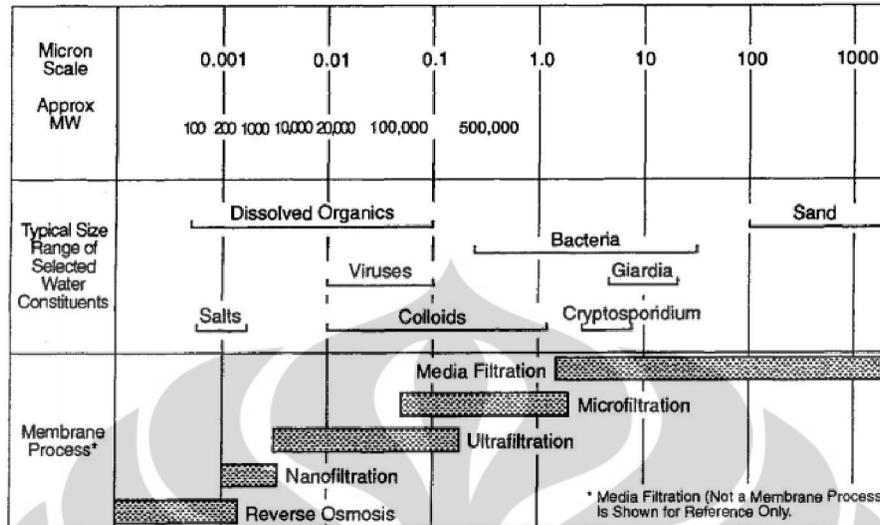
Tabel 2.3. Klasifikasi Salinitas Air

Klasifikasi	Sumber	TDS (mg/L)
Air bersih	Air tanah, sungai, danau	<500
Salinitas kecil	Air tanah, sungai, danau	500-1000
Salinitas sedang	Air payau, muara	1000-2000
Salinitas cukup	Air payau	2000-10000
Salinitas tinggi	Pesisir	10000-30000
Air laut	Laut	30000-36000

(Sumber : Qasim, 2000)

Membran desalinasi mengalami pengembangan yang cukup pesat. *Reverse Osmosis* (RO) dapat dioperasikan dalam tekanan rendah oleh sebab adanya film tipis membran komposit yang memfasilitasi sistem bekerja dibawah 20 bar. RO juga dapat dikombinasikan dengan *accelerated precipitation* untuk meningkatkan *recovery* air. Kombinasi lain yang sudah berkembang adalah UF-MF sebagai pre-treatment RO yang berguna untuk menurunkan tekanan operasi dan turbiditas *brine*. Namun RO membutuhkan energi yang besar dari listrik. Dalam hal ini dibutuhkan teknologi alternatif yang dapat memanfaatkan sumber energi alternatif seperti energi angin, energi matahari, energi nuklir, dan proses eksotermik.

Gambar 2.7 menunjukkan ukuran membran dan zat – zat yang dapat dihilangkan pada *reverse osmosis*, nanofiltrasi, ultrafiltrasi, dan mikrofiltrasi.



Gambar 2.7 Ukuran Membran dan Zat – Zat Yang Dihilangkan
(Sumber : American Water Works Association, 1996)

2.5.4 Faktor – Faktor Yang Memengaruhi Kinerja Membran

Dalam operasi membran dikenal dua jenis aliran umpan, yaitu aliran cross flow dan aliran dead-end. Pada sistem cross flow arah aliran umpan parallel atau sejajar pada permukaan membran. Aliran parallel tersebut akan menghasilkan gaya geser *shear force* dan turbulensi di dekat permukaan membran sehingga pembentukan filter cake (partikel yang menumpuk pada permukaan membran relative kecil. Pada aliran dead-end, keseluruhan dari fluida melewati membran dan partikel tertahan pada membrane, dengan demikian fluida umpan mengalir melalui tahanan membrane dan tahanan penumpukan partikel pada permukaan membrane. Pada aliran dead-end penyumbatan *clogging* dan pembentukan cake pada membran lebih cepat terjadi dibandingkan dengan sistem aliran cross-flow karena penumpukan partikel pada permukaan membran akan tersapu (*swept away*) oleh kecepatan aliran umpan.

Ada dua faktor yang berpengaruh terhadap kinerja membran yaitu selektivitas dan fluks.

1. Selektivitas

Selektivitas suatu membran adalah ukuran laju permeasi relatif suatu komponen yang dipisahkan melalui membran. Selektivitas dapat dinyatakan sebagai rejeksi atau retensi (R) atau faktor pemisahan (α). Untuk larutan encer yang mengandung komponen pelarut (umumnya adalah air) dan komponen zat terlarut, selektivitas biasanya dinyatakan sebagai rejeksi. Rejeksi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (2-3)$$

Dengan C_f dan C_p berturut-turut adalah konsentrasi zat terlarut dalam umpan dan permeat. Nilai R ini bervariasi dalam rentang antara 0 % (seluruh zat terlarut dan pelarut dapat melewati membran) dan 100 % (seluruh zat terlarut tidak dapat melewati membran).

Untuk campuran gas atau campuran cairan organik, selektivitas biasanya dinyatakan sebagai faktor pemisahan α yang dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\alpha_{A/B} = \frac{Y_A/Y_B}{X_A/X_B} \quad (2-4)$$

Dengan Y_A dan Y_B berturut-turut adalah konsentrasi komponen A dan B dalam permeat dan X_A dan X_B berturut-turut adalah konsentrasi komponen A dan B dalam umpan. Proses pemisahan yang baik dinyatakan dengan nilai α yang lebih dari satu.

2. Fluks

Fluks atau laju permeasi adalah laju alir volumetrik suatu larutan melalui membran per satuan luas permukaan dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong atau tekanan. Secara umum fluks dapat dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1991).

$$J = \frac{V}{A.t} \quad (2-5)$$

di mana :

J : fluks ($L/m^2 \cdot jam$)

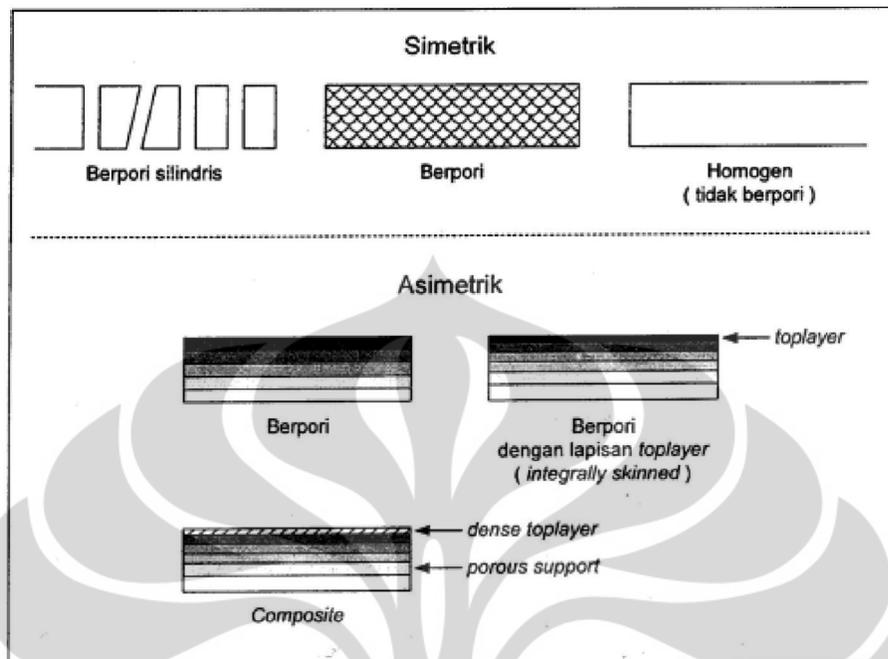
V : Volume permeat (Liter)

A : Luas permukaan membran (m^2)

t : waktu (jam)

Masalah serius yang sering ditemui pada ultrafiltrasi atau *reverse osmosis* adalah terjadinya penurunan fluks sepanjang waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material di permukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling* dan *scaling*. *Fouling* biasanya disebabkan oleh adanya pengendapan oksida logam, material koloid, pertumbuhan biologis, oleh bakteri ataupun mikroorganisme. Sedangkan *scaling* biasanya terjadi akibat pelekatan material seperti $CaSO_4$, $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, dan lain – lain. Terjadinya I disebabkan oleh peningkatan konsentrasi lokal dari suatu larutan pada permukaan membrane sehingga material terlarut berkumpul membentuk gel yang semakin menebal. Pada kondisi ini, fluks mengalami penurunan karena adanya peningkatan pada tahapan hidrodinamik pada lapisan batas dan kenaikan tekanan osmotik lokal.

Fungsi membran juga tergantung dari strukturnya. Berdasarkan struktur membrane, membrane dapat dibedakan atas membran simetrik dan asimetrik seperti gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Penampang Melintang Membran (Suprihantono, 2004)

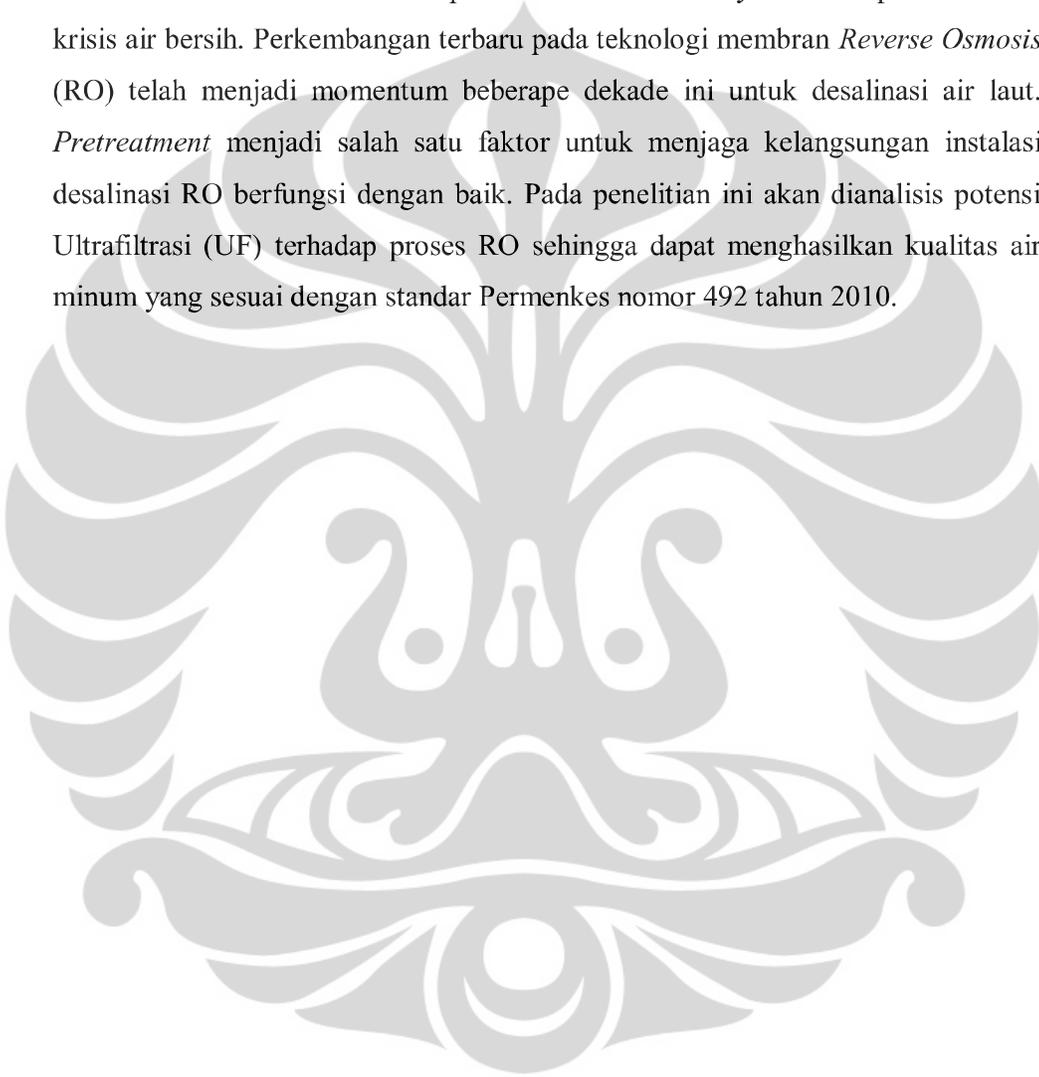
Membran simetrik terdiri dari satu lapisan saja, baik membran berpori maupun tidak berpori dengan ketebalan antara 10 hingga 200 μm . Tahanan perpindahan massa ditentukan oleh ketebalan membran. Semakin tipis membran, semakin tinggi laju permeasi (fluks). Akan tetapi, jika membran semakin tipis, maka membran akan semakin mudah rusak akibat tekanan mekanik. Membran asimetrik terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan atas *top layer* yang tipis dan sangat rapat *dense* serta lapisan penyangga *support*. Lapisan atas yang rapat berfungsi sebagai media pemisah dengan ketebalan antara 0,1 hingga 0,5 μm . Tahanan perpindahan massa sangat ditentukan oleh lapisan atas. Lapisan penyangga adalah lapisan berpori *porous sub layer* yang memiliki tahanan perpindahan massa yang kecil dengan ketebalan antara 50 hingga 150 μm . Membran asimetrik ini memberikan selektivitas dan fluks yang tinggi dengan adanya lapisan atas yang rapat dan tipis. Namun tetap memiliki daya tahan yang tinggi terhadap tekanan mekanik karena adanya lapisan penyangga yang tebal.

BAB 3

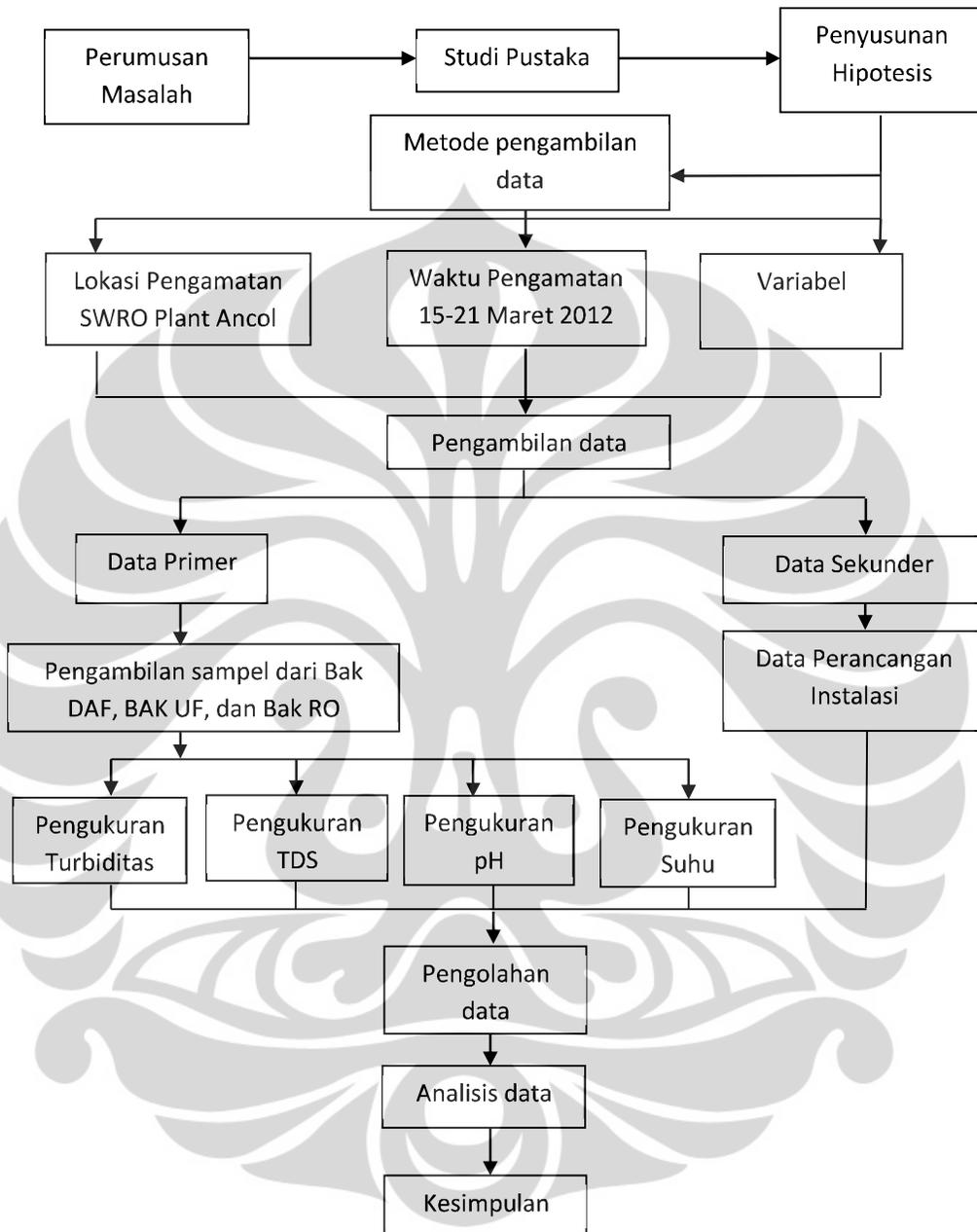
METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Desalinasi air laut merupakan cara untuk menyelesaikan permasalahan krisis air bersih. Perkembangan terbaru pada teknologi membran *Reverse Osmosis* (RO) telah menjadi momentum beberapa dekade ini untuk desalinasi air laut. *Pretreatment* menjadi salah satu faktor untuk menjaga kelangsungan instalasi desalinasi RO berfungsi dengan baik. Pada penelitian ini akan dianalisis potensi Ultrafiltrasi (UF) terhadap proses RO sehingga dapat menghasilkan kualitas air minum yang sesuai dengan standar Permenkes nomor 492 tahun 2010.



3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian (Penulis, 2012)

3.3 Hipotesis Penelitian

1. Proses Ultrafiltrasi dapat digunakan untuk mengurangi nilai TDS 10 %.
2. Terjadi penurunan turbiditas dan TDS air setelah mengalami proses Ultrafiltrasi dan unit *Reverse Osmosis*.

3.4 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*. Pertimbangan dari pemilihan lokasi penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Pada *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol* dilakukan desalinasi dengan menggunakan Proses Ultrafiltrasi dan *Reverse Osmosis*.
- b. Lokasi penelitian ini dapat dijangkau oleh peneliti dengan waktu yang tidak terlalu lama sehingga dapat dilakukan pengambilan sampel untuk penelitian.



Gambar 3.2. Lokasi Penelitian

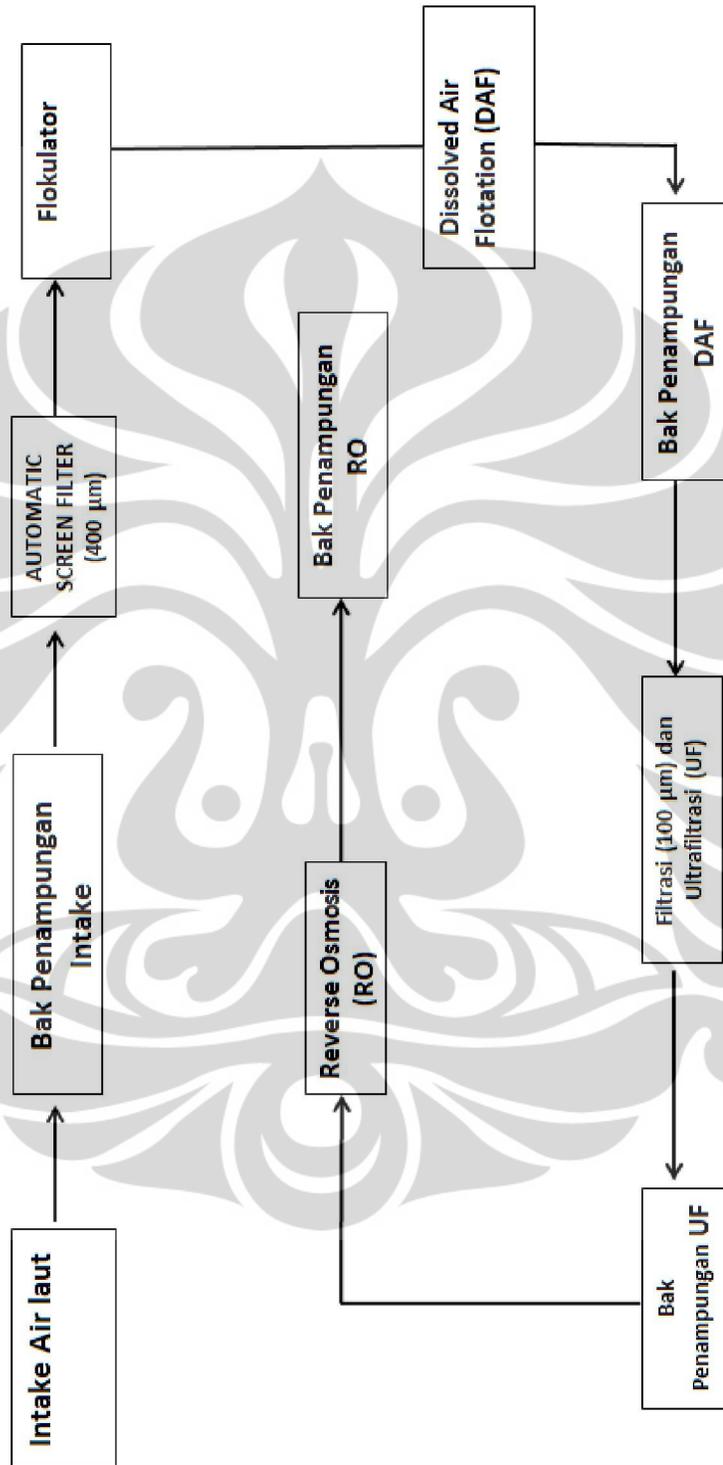
3.5 Metode Pengambilan Sampel

Pengumpulan data merupakan tahapan dalam proses penelitian yang penting karena dengan mendapatkan data yang tepat maka proses penelitian akan berlangsung sampai peneliti mendapatkan jawaban dari perumusan masalah yang sudah ditetapkan. Data yang dicari harus sesuai dengan tujuan penelitian. Dengan

teknik sampling yang benar, dapat diperoleh strategi dan prosedur yang akan digunakan dalam mencari data di lapangan. Data yang diambil pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

Data sekunder merupakan data yang sudah tersedia sehingga peneliti mencari dan mengumpulkannya dari sumber – sumber yang dapat dipercaya dan dipertanggungjawabkan. Data primer adalah data yang dapat diperoleh dari sumber asli atau pertama. Jika data sekunder dapat diperoleh dengan lebih mudah dan cepat karena sudah tersedia, misalnya di perpustakaan, perusahaan-perusahaan, organisasi-organisasi perdagangan, biro pusat statistik, dan kantor-kantor pemerintah maka data primer harus secara langsung diambil dari sumber penelitian.

Data primer yang diukur adalah : kekeruhan, TDS, pH, dan suhu. Pengukuran dilakukan pada parameter tersebut karena parameter tersebut merupakan komponen yang berpengaruh pada unit Ultrafiltrasi dan *Reverse Osmosis* sehingga sampel air dari bak DAF, bak Ultrafiltrasi, dan bak *Reverse Osmosis* dapat dilihat pengaruhnya. Proses pengolahan yang ada pada *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Proses Pengolahan Air Aneol (Sumber : Penulis, 2012)

Bak DAF gambar 3.4 adalah bak yang digunakan untuk menampung air yang berasal dari proses DAF. Bak Penampungan UF gambar 3.5 adalah bak yang digunakan untuk menampung air yang keluar dari unit ultrafiltrasi. Bak Penampungan RO gambar 3.6 adalah bak yang menampung air yang keluar dari unit *Reverse Osmosis*.



Gambar 3.4. Bak DAF



Gambar 3.5. Bak UF



Gambar 3.6. Bak RO

3.5.1 *Total Dissolved Solids (TDS)*

Pengambilan sampel untuk mengukur TDS berasal dari bak DAF, bak UF, dan bak RO. Sampel diambil sebanyak 500 mL lalu akan diuji di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Fakultas Teknik UI. Sampel diukur dengan menggunakan TDS meter seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Gambar TDS meter

3.5.2 Turbiditas

Sampel yang digunakan untuk mengukur turbiditas berasal dari bak DAF, bak UF, dan bak RO. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Fakultas Teknik UI dengan nefelometer sesuai dengan SNI 06-6989.25-2005 tentang Cara Uji Kekeruhan dengan Nefelometer. Alat ukurnya seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Nefelometer

3.5.3 Pengukuran pH

Pengukuran dilakukan di lokasi penelitian yaitu di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Fakultas Teknik UI. Pengukuran pH dilakukan

Universitas Indonesia

dengan alat pH meter sesuai dengan 06-6989.11-2004 tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH) Dengan Menggunakan Alat pH Meter.

3.5.4 Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu pada air dilakukan dengan menggunakan termometer yang berasal dari Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Fakultas Teknik UI. Pengukuran juga dilakukan di *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*.

3.6 Waktu Pengambilan Sampel Air

Pengambilan sampel dilakukan pada Tanggal 15 Maret sampai 21 Maret 2012. Sampel diambil antara pukul 10.00 WIB sampai pukul 12.00 WIB. Tujuan dari pengambilan sampel ini selama tujuh hari adalah untuk mengetahui fluktuasi dari parameter sehingga dapat dilihat kinerja dari unit pengolahan tersebut.

3.7 Metode Pengolahan Data

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh data kekeruhan, TDS, pH, dan suhu. Data ini akan digunakan untuk melihat perubahan yang terjadi dari setiap parameter pada Proses Ultrafiltrasi dan RO.

3.7.1 Pengolahan Data Kekeruhan

Data kekeruhan yang diperoleh selama tujuh hari dari bak DAF, bak UF, dan bak RO akan dibandingkan. Untuk melihat perubahan kekeruhan dari tiap bak dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta \text{Kekeruhan Bak UF} = \text{Kekeruhan Bak DAF} - \text{Kekeruhan Bak UF} \quad (3-1)$$

$$\Delta \text{Kekeruhan Bak RO} = \text{Kekeruhan Bak UF} - \text{Kekeruhan Bak RO} \quad (3-2)$$

Untuk membandingkan kekeruhan dari tiap unit dihitung dengan menggunakan persentase kekeruhan yang dapat diturunkan oleh proses UF dan

proses RO. Setelah diperoleh perubahan kekeruhannya lalu dirata-ratakan untuk mengetahui rata-rata nilai kekeruhan yang dapat dihilangkan pada tiap unit.

$$\% \text{ Kekeruhan Yang Hilang} = \frac{\text{Kekeruhan Awal} - \text{Kekeruhan Akhir}}{\text{Kekeruhan Awal}} \times 100 \% \quad (3-3)$$

Persentase kekeruhan yang dihilangkan akan diketahui seberapa besar efektivitas dari proses UF dan proses RO untuk menurunkan nilai kekeruhan air.

3.7.2 Pengolahan Data TDS

Pengolahan data untuk TDS dilakukan untuk mengetahui selektivitas dari kinerja membran UF dan RO. Perhitungan selektivitas dapat diketahui dengan menghitung persentase dari rejeksi (R) antara air umpas dengan air yang dihasilkan. Perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan (3-4).

$$R = \left(1 - \frac{C_f}{C_p} \right) \times 100 \% \quad (2-3)$$

di mana :

R : rejeksi (%)

C_f : Konsentrasi TDS dari air umpas (mg/L)

C_p : Konsentrasi TDS dari air yang dihasilkan (mg/L)

Jika nilai rejeksi semakin besar maka semakin sedikit kandungan partikel terlarut yang terdapat pada air yang dihasilkan. Jika nilai rejeksinya semakin kecil maka kandungan partikel terlarut pada air yang dihasilkan akan sama atau berkurang sedikit.

BAB 4

GAMBARAN UMUM

4.1 Gambaran Umum *Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol*

Perencanaan pembangunan Ancol diawali dengan pembangunan lahan di pinggir pantai untuk sarana properti. Ancol memiliki luas daerah sekitar 500 hektar di mana dalam pembangunannya dibagi dalam tiga bagian yaitu bagian perumahan, industri/pergudangan, dan wisata. *Masterplan* dari pembangunan Ancol tersebut berasal dari pendiri Ancol yaitu Ir. Ciputra.

PT. Pembangunan Jaya Ancol yang menjadi pengelola Ancol mengalokasikan lahan fasilitas rekreasi seluas 150 hektar sedangkan sisa lahan yang lain digunakan untuk bagian perumahan dan industri/pergudangan. Segmen pariwisata pada Ancol menjadi salah satu sumber pendapatan yang besar sehingga pembangunan pada sektor ini tetap dikembangkan sampai sekarang. Pada tahun 2010 PT. Pembangunan Jaya Ancol memperoleh laba bersih positif sebesar Rp.141,7 miliar yang mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan tahun 2009 yaitu sebesar Rp. 137,3 miliar. Perolehan laba bersih tersebut didukung oleh kinerja perseroan yang berhasil membukukan total penjualan sebesar Rp. 921,9 miliar pada tahun 2010. Peningkatan pendapatan tersebut juga dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah pengunjung pada tahun 2010 yang mencapai 14.333.140 yang menjadikan pendapatan dari penjualan tiket pintu gerbang dan wahana wisata menjadi penggerak utama pada segmen rekreasi.

Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant Ancol merupakan instalasi pengolahan air minum yang terletak di Taman Impian Jaya Ancol. Batas – batas wilayah SWRO Ancol adalah :

- Sebelah utara : Kawasan Putri Duyung
- Sebelah selatan : Atlantis area permainan
- Sebelah timur : Danau Ancol
- Sebelah barat : Jalan



Gambar 4.1. Instalasi SWRO Ancol Melalui Pencitraan Udara
(Sumber : *Google Earth, November 2011*)

Pembangunan instalasi ini bertujuan untuk :

1. Menyediakan pasokan kualitas air bersih pada Ancol sehingga meningkatkan kualitas hidup dan layanan pada daerah sekitar Ancol
2. Mengantisipasi peningkatan kebutuhan terhadap permintaan air bersih pada Ancol yang merupakan *master plan* dari pembangunan area Ancol
3. Menyediakan air minum yang berasal dari pengolahan air laut.

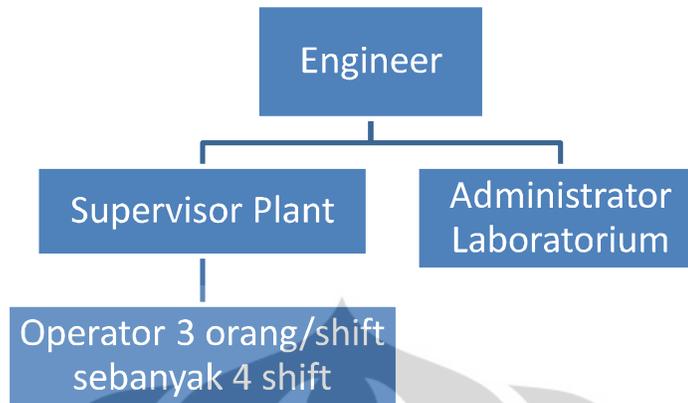
Desain konstruksi dan bangunan SWRO dikerjakan oleh PT. Jaya Arkonin sedangkan pelaksanaan konstruksi dikerjakan oleh PT. Marabuntha. Untuk pelaksanaan proyek sistem pengolahan air laut dilakukan oleh PT. Jaya Teknik Indonesia dengan melibatkan mitra kerja dari PT. Beta Pramesti. Pekerjaan konstruksi instalasi ini dimulai tanggal 2 November 2009 dan selesai pada tanggal 4 Februari 2011. Setelah pekerjaan konstruksi selesai maka dilakukan *start test dan commissioning* pada tanggal 2 Maret 2011. Pada tes ini terdiri dari beberapa tahap yaitu : tes sistem *Dissolved Air Flotation* (DAF), tes sistem Ultrafiltrasi (UF), dan tes sistem *Reverse Osmosis* (RO).

Instalasi ini mulai beroperasi pada tanggal 27 Mei 2011 dengan masa uji coba *trial period* sampai tanggal 14 Agustus 2011. Pada masa uji coba ini dilakukan beberapa analisis pada instalasi yaitu : menentukan *mass balance*, injeksi bahan kimia, waktu pembukaan *valve drain* DAF, gelembung pada proses DAF, menentukan waktu operasi, *backflush*, uji kuantitas air, uji kualitas air, dll. Instalasi ini diserahkan pada tanggal 12 Agustus 2011 dari pihak kontraktor kepada PT. Sarana Tirta Utama (STU) yang berinvestasi pada PT. Pembangunan Jaya Ancol dan PT. Jaya Teknik Indonesia.

Instalasi SWRO Ancol ini mengambil air baku dari pinggir laut Ancol dengan pipa sepanjang 50 meter. Instalasi ini dirancang untuk mengolah air sebanyak 5000 m³/hari. Biaya pengolahan pada instalasi ini diperkirakan Rp.7500 – 8000 per m³. Biaya pengolahan air ini cukup murah bila dibandingkan dengan tarif air bersih dari PDAM yaitu Rp.12.000 – 15.000 per m³ untuk kelas komersil dan industri. Investasi untuk pembangunan instalasi SWRO Ancol ini diperkirakan Rp. 50 miliar yang meliputi bangunan gedung, screening awal, pemipaan, pompa, serta membran treatment (sistem UF dan RO). Untuk detail perhitungan Pay Back Periode dapat dilihat pada lampiran.

4.2 Struktur Organisasi Instalasi Seawater Reverse Osmosis Ancol

Instalasi ini beroperasi selama 24 jam. Pada instalasi ini terdapat 9 orang pekerja yang terbagi dalam 3 shif yang tiap shif terdiri dari 3 orang pekerja. Struktur organisasi dari instalasi ini dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Struktur Organisasi Operasi dan Pemeliharaan
(Sumber : PT. Beta Pramesti)

1. Engineer : Engineer pada instalasi ini bertugas untuk memonitor dan memberikan arahan terhadap sistem operasi instalasi SWRO Ancol.
2. Plant Supervisor : Plant supervisor pada instalasi ini bertanggung jawab terhadap pengoperasian dan pemeliharaan secara keseluruhan instalasi SWRO Ancol.
3. Administor Laboratorium : Administrasi laboratorium pada instalasi ini bertugas untuk melakukan tes laboratorium dari sampel air instalasi SWRO sehingga kualitas air tetap terjaga.
4. Operator : Operator pada instalasi ini bertanggung jawab terhadap peralatan dan sistem pengoperasian yang ada di SWRO Ancol dengan arahan dari plant supervisor.

4.3 Infrastruktur dan Fasilitas Seawater Reverse Osmosis Ancol

Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol terletak di sebelah wahana *Atlantis Water Adventure*. Ukuran instalasi ini 30 x 20 meter yang merupakan tempat pengolahan air dan ruang kontrol. Unit – unit pengolahan yang terdapat pada instalasi ini yaitu :

1. *Raw water tank*
2. *Automatic Screen Filter* (ASF 400 μm)
3. Flokulator
4. Unit *Dissolved Air Flotation* (DAF)
5. Bak DAF
6. Unit Ultrafiltrasi
7. Bak Ultrafiltrasi
8. Unit *Reverse Osmosis*
9. Bak *Reverse Osmosis*
10. *Box Trap*/Pembuangan lumpur
11. Ruang Kontrol

Letak dari unit-unit pengolahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3.

4.4 Operasional Instalasi

Air baku yang berasal dari pinggir laut Ancol diambil dengan menggunakan pipa yang panjangnya 50 meter ke intake.

- Ketika air berada pada intake diberikan H_2SO_4 dan senyawa anorganik *chlorine* yaitu *Biocide Hydro 376*. Senyawa ini berwarna putih dan berbentuk granular dan tablet, tidak menguap, mudah larut dalam air dan merupakan senyawa non-foaming. Tujuan dari pemberian senyawa ini adalah untuk mencegah dan mengontrol terjadinya pertumbuhan organisme dalam air. Dosis yang diberikan untuk H_2SO_4 sebesar 80 ppm dengan injeksi 1 x per bulan selama 8 jam sedangkan untuk *Biocide Hydro 376* diberikan dosis 5 ppm dengan injeksi per hari 6 jam.
- Air dari penampungan intake lalu masuk melewati *Automatic Screen Filter* (ASF) dengan ukuran 400 μm . Pada proses ini diharapkan zat-zat suspended solid dapat tersaring sehingga menurunkan nilai kekeruhan.
- Pada proses selanjutnya air akan masuk melewati flokulator. Flokulator yang digunakan adalah hidrolis. Zat kimia yang diberi adalah Hydro 352 yaitu polimer kimia yang berfungsi untuk proses flokulasi. Dosis yang diberikan sebesar 1 ppm. Pemberian zat kimia ini dilakukan apabila turbiditas > 15 NTU.
- Pada *Dissolved Air Flotation* (DAF) instalasi terdapat 2 unit yang dapat mengolah masing – masing 350 m^3 /jam. Unit DAF berfungsi untuk menurunkan kekeruhan. Pada unit ini, udara terlarut pada tekanan tinggi. Udara tersebut dimasukkan ke dalam bak flotasi yang beroperasi pada tekanan 1 atmosfer. Gelembung udara yang bersih naik yang menyebabkan solid menjadi mengapung. Pada DAF diberikan zat kimia apabila dibutuhkan seperti *Hydro 351* yang berfungsi sebagai koagulan dengan pemberian dosis 10 ppm yang akan menurunkan suspended solid dalam air. Pemberian koagulan dilakukan apabila turbiditas air > 15 NTU. Zat kimia lain yang dapat diberikan juga adalah *Biocide Hydro 376*.

- Pada proses Ultrafiltrasi (UF) dapat diolah air sebanyak 600 m³/jam yang berasal dari unit DAF. Air yang dipompa dengan pompa UF melewati filter dengan ukuran 100 µm. Pada unit UF ini terdapat 3 unit UF yang masing – masing unit UF memiliki 57 buah membran dengan dimensi panjang 60 inch dan diameter 8 inch. Sistem UF menggunakan membran *Polyethersulfone* dengan pori 0,01 – 0,1 µm. Dengan ukuran membran seperti ini pada proses UF dapat dihilangkan atau diturunkan beberapa parameter yaitu :
 - Menghilangkan suspended solids
 - Menghilangkan sebagian dissolved matter
 - Menghilangkan mikroorganisme
 - Mikroorganisme tertentu seperti bakteri dan virus

Sistem UF menghasilkan produk air yang lebih baik dan lebih ekonomis dibandingkan dengan filtrasi konvensional. Dalam prosesnya, air yang masuk ke sistem UF dipompa menuju membran pori dengan hanya satu aliran stream (*dead end filtration*). Karena itu dibutuhkan waktu untuk menghentikan aliran sistem *service reverse flow cleaning* yang menyebabkan kehilangan pada volume sebesar 10%. Membran UF dibersihkan pada kondisi tertentu melalui backwash dan *Chemical Enhanced Backwash* (CEB). Lumpur yang berasal dari backwash lalu dibuang ke pengolahan lumpur. Selama proses CEB, bahan kimia diinjeksikan ke dalam aliran backwash dan senyawa – senyawa yang diadsorpsi ke permukaan membran UF dihilangkan. Untuk mencegah terjadinya dehidrasi dan pertumbuhan bakteri, elemen membran mengandung larutan glycerine/sodium bisulfite. Larutan ini harus dibuang (*flushed out*) sebelum digunakan.

Flushing dapat dilakukan dengan menghubungkan aliran air yang bersih (kualitas air minum) ke feed lalu membuka *valve feed* dan *concentrated* untuk melakukan *flush* selama 5 menit tanpa aliran permeate. Setelah 5 menit, aliran *feed* diturunkan dan *valve* permeate dibuka. Proses filtrasi dapat dimulai selama 15 menit dengan mengatur aliran permeate 50 l/m²/jam setelah

itu *backwash* dapat dilakukan selama 30 detik dengan kecepatan aliran 50 l/m²jam. Tahapan seperti ini dilakukan pada kecepatan filtrasi yang berbeda yaitu 80 l/m²jam, 100 l/m²jam. Pada filtrasi dengan kecepatan 100 l/m²jam dilakukan flushing dengan kecepatan 100 l/m²jam selama 30 detik lalu dilanjutkan dengan kecepatan filtrasi yang sama, tetapi dengan kecepatan flushing berbeda yaitu 200 l/m²jam. Proses filtrasi dengan kecepatan dan waktu yang sama dilakukan kembali setelah itu dilakukan proses CEB dengan Klorin aktif (NaOCL) 100 ppm yang merupakan senyawa anorganik yang mudah larut dalam air. Proses lalu dilanjutkan dengan backwash selama 30 detik dengan fluks 200 l/m²jam, selama 30 detik dengan flux 125 l/m²jam ditambah injeksi NaOCL, perendaman selama 5 menit, dan backwash selama 30 detik dengan flux 200 l/m²jam. Proses filtrasi dapat diulang kembali dengan laju aliran sesuai dengan desain flux selama 15 menit lalu backwash selama 30 detik dengan laju aliran sesuai dengan desain fluks. Selama proses filtrasi dilakukan harus diperhatikan besarnya TMP 0,5 bar. Pada total volume 150 liter air bersih per meter kuadrat membran diperlukan prosedur *flushing*.

Proses pembersihan untuk elemen dan modul ditentukan dari tipe fouling dan material membran yang digunakan. Secara umum anorganik fouling dapat dihilangkan dengan prosedur *acidic cleaning* dan *organic cleaning* dapat dihilangkan dengan menggunakan alkali cleaning sesuai dengan pH yang ditentukan. *Cleaning* sangat efektif dilakukan pada temperatur antara 30 – 40° C.

- Pada proses *Reverse Osmosis* (RO) dapat dihasilkan air sebanyak 210 m³/jam yang terdiri dari 3 unit RO. Pada setiap unit RO terdapat vessel sebanyak 21 unit dan membran dengan tipe *Polyamide Thin – Film Composite* sebanyak 126 buah. Diameter untuk masing – masing membran 8 inch dan memiliki panjang 40 inch. Proses yang terjadi pada unit RO diawali dengan *feed water* mengalir melalui cartridge pre-filter 5 mikron yang dapat menyaring *suspended solid* yang berukuran besar. Air di dalam filter kemudian mengalir ke inlet *valve* kontrol. *Valve* kontrol ini berfungsi untuk mengatur aliran yang

melalui membran sehingga membran dapat tetap terjaga kondisinya. Pompa *feed water* sampai elemen housing membran disusun secara paralel dan seri. Penunjukkan arah flow air biasanya diindikasikan dengan arah panah yang terdapat pada setiap *housing membran*. Aliran air terpecah menjadi dua melalui membran yaitu permeate dan *concentrate*. Permeate mengalir melalui flow meter ke arah outlet sedangkan *concentrate* mengalir melalui housing membran terakhir dan mengalir ke *flow control center (recycle/concentrate manifold)*. Pada mesin dengan *recycle valve*, channel digunakan untuk mengantisipasi *concentrate* yang berlebihan di inlet pompa. *Recovery* meningkat ketika *recycle* dapat mengatasi *flow* yang cukup melalui membran. Dua bagian port lainnya dari *flow control* mengatur *concentrate* dan *pressure gauge*. Katup *concentrate* memiliki tiga fungsi yaitu :

1. Mengatur jumlah *concentrate* yang mengalir ke saluran buangan air
2. Mengatur tekanan pada mesin
3. Mengatur sistem *recovery*

Untuk permeate dan *feed water* telah ditentukan beberapa parameter yang harus dipenuhi supaya kinerja membran berlangsung dengan optimal seperti tekanan membran untuk feed sebesar 52,43 bar, feed debit untuk feed sebesar 200 m³/jam, debit untuk permeate 70 m³/jam, *recovery* untuk permeate 35 %. Pada proses RO diberikan zat kimia *Hydro 259* untuk menurunkan tumpukan pada membran RO. Zat kimia diberikan selama 15 menit untuk setiap hari.

- Setelah air diolah dengan proses *reverse osmosis*, air tersebut lalu dimasukkan ke dalam *reservoir* dengan kapasitas 450 m³ untuk selanjutnya akan didistribusikan.

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengukuran Kekeruhan, TDS, pH, dan Suhu

Untuk mengetahui besarnya nilai dari kekeruhan, TDS, pH, dan suhu maka dilakukan pengukuran di lapangan. Sampel diambil dari instalasi SWRO plant Ancol pada tanggal 15 Maret 2012 sampai 21 Maret 2012. Sampel diambil dari bak DAF, bak UF, dan bak RO yang diambil masing – masing sebanyak 500 ml. Tujuan dari pengambilan sampel ini dilakukan selama tujuh hari adalah untuk melihat fluktuasi dari sampel air yang diuji sehingga dapat dilihat perubahan yang terjadi berdasarkan beberapa sampel yang diuji dan nilai rata-rata dari parameter kekeruhan dan TDS.

Pengukuran sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan dengan menggunakan peralatan yang berasal dari laboratorium. Sampel diambil pada pukul 10.00 wib sampai dengan pukul 12.00 wib. Kondisi cuaca selama pengambilan sampel cerah. Sampel diambil dari masing – masing bak sebanyak 500 mL dan dimasukkan ke dalam botol sampel lalu diukur suhunya. Setelah itu sampel dibawa ke laboratorium dengan lama perjalanan 1,5 jam sampai 2 jam untuk dilakukan pengukuran kekeruhan, TDS, dan pH. Alat yang digunakan adalah : TDS meter, Nefelometer, pH meter, dan termometer.

5.2 Data Penelitian

Dari pengukuran sampel yang berasal dari SWRO plant Ancol yang dilakukan selama tujuh hari dimulai pada tanggal 15 Maret 2012 sampai 21 Maret 2012. Pengukuran sampel pada tanggal 17 Maret dan 18 Maret dilakukan pada tanggal 19 Maret karena keterbatasan waktu penggunaan laboratorium. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut.

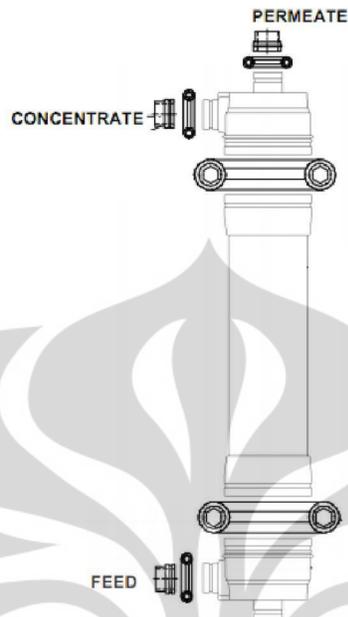
Tabel 5.1. Pengukuran Kekeruhan, TDS, pH, dan Suhu

Hari	Pengambilan Sampel	Kekeruhan (NTU)	TDS (mg/l)	pH	Temperatur (°C)
1	Dissolved Air Flotation	4.1	732	6.8	30.1
	Ultrafiltrasi	0.42	730	7.07	30.4
	Reverse Osmosis	0.27	130	6.75	31
2	Dissolved Air Flotation	5.5	732	7.13	29.9
	Ultrafiltrasi	0.7	731	7.16	30.3
	Reverse Osmosis	0.46	158	6.5	31
3	Dissolved Air Flotation	1.76	746	7	29.4
	Ultrafiltrasi	0.42	746	7	29.7
	Reverse Osmosis	0.32	157	6.56	30.3
4	Dissolved Air Flotation	2.22	762	7.13	29.4
	Ultrafiltrasi	1.42	762	7.22	29.5
	Reverse Osmosis	0.33	132	6.77	30
5	Dissolved Air Flotation	4.52	762	7.12	29.3
	Ultrafiltrasi	0.48	762	7.3	29.5
	Reverse Osmosis	0.33	162	7.01	30.3
6	Dissolved Air Flotation	3.12	746	7.35	28.5
	Ultrafiltrasi	0.4	746	7.44	29
	Reverse Osmosis	0.27	155	6.67	29.4
7	Dissolved Air Flotation	3.46	717	7.42	28.5
	Ultrafiltrasi	0.49	716	7.44	29
	Reverse Osmosis	0.4	153	7.02	29.5

(Sumber : Penulis, 2012)

Pada unit UF dan RO digunakan membran yang berbeda untuk proses pemurnian air. Pada proses UF dapat diolah air sebanyak 600 m³/jam yang berasal dari unit DAF. Air yang dihasilkan dari unit UF sebesar 521 m³/jam atau dengan *recovery* 85 %. Pada unit UF terdapat 3 unit UF yang masing-masing memiliki 57 buah membran dengan dimensi panjang 60 inch dan diameter 8 inch. Pada unit UF terdapat 4 buah pompa untuk menyuplai air umpan ke unit UF. Untuk sehari-hari pompa yang digunakan sebanyak 3 buah dan 1 buah berfungsi sebagai cadangan. Pompa tersebut memiliki kapasitas 233 m³/jam yang mengonsumsi daya sebesar 30 Watt.

Sistem UF menggunakan membran Polyethersulfone dengan pori 0,01 – 0,1 µm dengan modul *hollow fiber* seperti pada gambar 5.1.



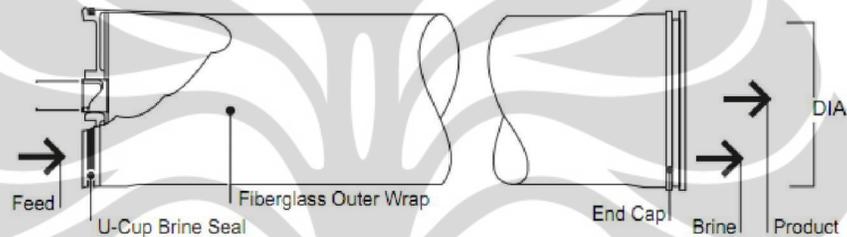
Gambar 5.1. Gambar membran UF (PT. Beta Pramesti)

Dengan menggunakan modul membran hollow fiber dapat dihindari terjadinya kenaikan tekanan permeat dalam fiber dan lapisan tipis bagian atas dapat dijaga lebih baik. Ketebalan pembungkus untuk membran ini mencapai 500-1000 m^2/m^3 dan harganya yang relatif murah. Kerugian dari penggunaan membran dengan modul ini adalah mudah terjadi penumpukan pada membran (*fouling*), sulit untuk membersihkan membran, dan sulit untuk mengganti membran.

Pada proses Reverse Osmosis (RO) dapat diolah sebanyak 521 m^3/jam yang berasal dari Bak UF sebagai air umpan sehingga dihasilkan air sebanyak 210 m^3/jam atau *recovery* sebesar 40 %. Pada SWRO ini terdapat 3 unit RO, setiap unit RO terdapat vessel sebanyak 21 unit dan membran dengan tipe Polyamide Thin – Film Composite dengan modul *spiral wound* sebanyak 126 buah seperti pada gambar 5.2. Membran dengan modul spiral wound berbentuk pembungkus yang terdiri dari dua lapisan membran yang mengelilinginya ditutup pada bagian tepinya. Pipa pada tengah membran digunakan untuk mengalirkan permeat. Pembungkus membran memiliki ketebalan 700-1000 m^2/m^3 yang menghasilkan

head loss lebih kecil. Harga untuk modul membran ini juga relatif murah. Jika tekanan yang diberikan tinggi antara 100-150 kPa maka akan membuat membran tidak berfungsi maksimal. *Pretreatment* sangat diperlukan untuk modul membran seperti ini untuk mengurangi beban pada membran.

Diameter untuk masing-masing membran 7,9 inch dan memiliki panjang 40 inch. Ukuran pori pada membran ini 0,001-0,0001 μm Untuk menyuplai air ke unit RO digunakan pompa bertekanan tinggi yang berjumlah 3 buah dengan kapasitas 300 m³/jam. Daya yang digunakan oleh masing-masing pompa sebesar 200 KW.



Gambar 5.2. Spesifikasi membran RO (PT.Beta Pramesti)

5.3 Analisis Data

Pada analisis data ini akan dijelaskan berbagai data dari setiap parameter kekeruhan, TDS, pH, dan suhu. Dari analisis ini dapat diketahui seberapa besar pengaruh pengurangan kekeruhan dan TDS dari proses UF dan RO.

5.3.1 Analisis Data Kekeruhan

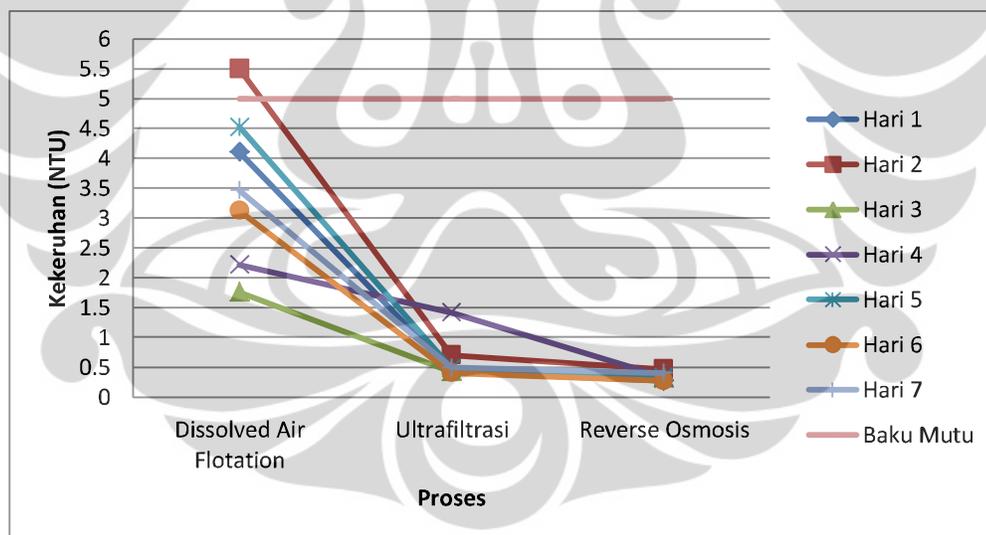
Kekeruhan merupakan salah satu parameter yang berpengaruh pada proses UF dan RO. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan bahwa terjadi penurunan kekeruhan untuk proses UF dan RO. Pada tabel 5.2 dapat dilihat kekeruhan dari tiap proses.

Tabel 5.2 Pengukuran Kekeruhan

Hari	Kekeruhan DAF (NTU)	Kekeruhan UF (NTU)	Kekeruhan RO (NTU)
1	4.1	0.42	0.27
2	5.5	0.7	0.46
3	1.76	0.42	0.32
4	2.22	1.42	0.33
5	4.52	0.48	0.33
6	3.12	0.4	0.27
7	3.46	0.49	0.4
Rata-rata	3.53	0.62	0.34

(Sumber : Penulis, 2012)

Untuk melihat perubahan kekeruhan dari tiap proses dengan grafik dapat dilihat pada gambar 5.3. *Proses Dissolved Air Flotation* pada grafik menunjukkan sampel yang diambil setelah proses *Dissolved Air Flotation*. Proses Ultrafiltrasi adalah sampel yang diambil setelah proses Ultrafiltrasi, dan proses *Reverse Osmosis* sampel yang diambil setelah proses *Reverse Osmosis*.



Gambar 5.3. Perubahan Kekeruhan (Penulis, 2012)

Pada pengukuran hari pertama, kekeruhan air pada bak penampungan DAF adalah sebesar 4,1 NTU. Air yang berasal dari bak DAF ini akan masuk ke unit UF. Setelah air melewati unit UF maka terjadi penurunan kekeruhan menjadi 0,42 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 3,68 NTU atau sebesar

89,76 %. Penurunan kekeruhan ini terjadi karena mikroorganisme dan partikel – partikel tersuspensi seperti, koloid dan partikel lain yang berukuran lebih besar dari 0,1 μm tersaring oleh membran UF sehingga air yang lewat dari unit ini lebih jernih dibandingkan sebelumnya. Berdasarkan fungsi dari unit UF sendiri yaitu sebagai penjernih dan desinfeksi fenomena ini sesuai dengan desain yang dibuat yaitu terjadinya penurunan kekeruhan (Aptel P,1992). Besarnya nilai kekeruhan dari air umpan untuk unit ini juga berpengaruh terhadap kemampuan membran untuk mengurangi nilai kekeruhan. Air yang berasal dari unit UF lalu masuk ke unit RO. Pada unit RO penurunan nilai kekeruhan juga terjadi pada air olahan dari unit ini yaitu menjadi 0,27 NTU dengan perubahan penurunan yang terjadi sebesar 0,15 NTU atau sebesar 35,71 %. Pada unit RO terjadi penurunan kekeruhan lagi disebabkan ukuran pori membran yang sangat kecil sehingga dapat menyaring partikel yang lebih kecil ukurannya yaitu sebesar 10^{-3} μm yang tergolong sebagai membran yang memiliki pori yang sangat rapat (*nonporous membrane*).

Pada hari kedua, air yang berasal dari bak penampungan DAF memiliki kekeruhan sebesar 5,5 NTU. Nilai kekeruhan ini disebabkan pada hari sebelumnya terjadi hujan sehingga menyebabkan air baku mengalami peningkatan kekeruhan. Air tersebut lalu melewati unit UF sehingga kekeruhan dari air ini juga menurun menjadi 0,7 NTU dengan perubahan penurunan sebesar 4,8 NTU atau sebesar 87,21 %. Penurunan kekeruhan yang terjadi pada unit ini tidak berbeda jauh dengan hari sebelumnya. Setelah itu air umpan masuk ke unit RO kekeruhan berkurang menjadi 0,46 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 0,24 NTU atau 34,29 %.

Pada hari ketiga, kekeruhan air dari bak DAF sebesar 1,76 NTU. Besarnya kekeruhan pada hari ketiga ini paling kecil dibandingkan dengan nilai kekeruhan pada hari sebelumnya. Hal ini disebabkan karena partikel tersuspensi yang ada pada air tidak sebesar hari sebelumnya. Air yang berasal dari bak penampungan DAF ini lalu masuk ke unit UF yang menyebabkan nilai kekeruhan menurun menjadi 0,42 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 1,34 NTU atau sebesar 76,14 %. Besarnya kekeruhan pada unit ini sama dengan hari pertama.

Kemampuan dari unit UF untuk menghasilkan air dengan kekeruhan yang masih sangat kecil dapat berjalan dengan baik. Setelah melewati unit UF air lalu masuk melewati unit RO. Pada unit ini kekeruhan air juga berkurang menjadi 0,32 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 0,1 NTU atau sebesar 23,81 %. Perubahan kekeruhan yang terjadi pada hari ketiga lebih kecil dibandingkan pada hari kedua, tetapi nilai kekeruhan pada hari ketiga lebih kecil dibandingkan hari kedua. Kondisi ini disebabkan karena jumlah partikel tersuspensi dan terlarut lebih banyak dibandingkan pada hari kedua.

Pada hari keempat, besarnya nilai kekeruhan pada bak penampungan DAF adalah 2,22 NTU. Kekeruhan ini lebih besar dibandingkan hari ketiga, tetapi lebih kecil jika dibandingkan dengan hari pertama dan kedua. Air ini lalu masuk ke unit UF dan nilai kekeruhannya berkurang menjadi 1,42 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 0,8 NTU atau 36,04 %. Nilai kekeruhan yang terjadi pada hari keempat ini adalah nilai yang paling besar dibandingkan hari lainnya. Besarnya nilai kekeruhan ini disebabkan kandungan partikel tersuspensi pada air yang memiliki ukuran lebih besar dari 0,1 μm lebih sedikit jika dibandingkan hari sebelumnya sehingga partikel penyebab kekeruhan yang berukuran lebih kecil dari 0,1 μm dapat melewati unit UF. Air yang berasal dari unit UF lalu masuk ke unit RO. Setelah keluar dari unit RO terjadi penurunan nilai kekeruhan dari air umpan yaitu menjadi sebesar 0,33 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 1,09 NTU atau sebesar 76,76 %. Nilai kekeruhan untuk unit RO ini merupakan nilai paling besar jika dibandingkan dengan hari lainnya. Besarnya perubahan kekeruhan ini disebabkan air umpan RO memiliki kekeruhan yang cukup besar sehingga pada proses RO partikel penyebab kekeruhan tersebut dapat tersaring.

Pada hari kelima, kekeruhan air sebesar 4,52 NTU. Nilai kekeruhan ini lebih besar dari hari sebelumnya. Air yang berasal dari bak penampungan DAF lalu masuk ke unit UF. Terjadi perubahan kekeruhan pada air yang melewati unit UF, kekeruhan air menjadi sebesar 0,48 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 4,04 NTU atau sebesar 89,38 %. Besarnya nilai kekeruhan pada hari kelima lebih kecil dibandingkan hari keempat. Air ini lalu masuk ke unit RO yang

mengalami penurunan nilai kekeruhan menjadi 0,33 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 0,15 NTU atau 31,25 %. Nilai kekeruhan pada hari kelima sama dengan hari keempat.

Pada hari keenam, nilai kekeruhan pada bak penampungan DAF sebesar 3,12 NTU nilai kekeruhan ini lebih kecil dibandingkan hari sebelumnya. Air tersebut lalu masuk melewati unit UF dan terjadi penurunan nilai kekeruhan air menjadi 0,48 NTU. Perubahan kekeruhan yang terjadi sebesar 2,72 NTU atau sebesar 87,18 %. Nilai kekeruhan pada hari keenam lebih kecil dibandingkan hari sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan partikel ataupun mikroorganisme penyebab kekeruhan berukuran lebih besar dari 0,1 μm lebih banyak dan dapat tersaring pada proses ini. Perubahan nilai kekeruhan pada hari keenam tidak jauh berbeda dengan perubahan kekeruhan pada hari kelima.

Pada hari ketujuh, air yang berasal dari penampungan DAF memiliki kekeruhan sebesar 3,46 NTU. Nilai kekeruhan pada hari ketujuh lebih besar dibandingkan hari keenam. Air tersebut masuk melewati unit UF yang mengalami penurunan nilai kekeruhan menjadi 0,49 NTU. Perubahan nilai kekeruhan yang terjadi adalah sebesar 2,97 NTU atau 85,84 %. Nilai kekeruhan ini lebih besar dibandingkan pada hari keenam sedangkan perubahan nilai kekeruhan lebih kecil dari pada hari keenam.

Jika data pengukuran kekeruhan mulai hari pertama sampai hari ketujuh dirata – ratakan maka dapat dilihat besarnya nilai kekeruhan dari tiap unit. Pada bak penampungan DAF nilai kekeruhan rata – ratanya adalah sebesar 3,53 NTU. Nilai ini mendekati nilai kekeruhan pada hari ketujuh sebesar 3,46 NTU. Pada bak penampungan UF, kekeruhan air sebesar 0,62 NTU. Nilai kekeruhan ini mendekati hari kedua yaitu sebesar 0,7 NTU. Pada bak penampungan RO rata – rata nilai kekeruhannya adalah sebesar 0,34 NTU. Nilai kekeruhan ini mendekati nilai kekeruhan pada hari keempat dan kelima sebesar 0,33 NTU. Untuk rata-rata perubahan nilai kekeruhan, pada unit UF perubahan kekeruhan sebesar 2,91 NTU dan persentase pengurangan kekeruhannya sebesar 78,80 %. Rata-rata nilai perubahan kekeruhan ini mendekati hari ketujuh dan persentase pengurangan kekeruhannya mendekati hari ketiga. Pada unit RO rata-rata nilai perubahan

kekeruhan yang terjadi adalah sebesar 0,28 NTU dan persentase pengurangan kekeruhan adalah sebesar 36,10 %. Rata-rata nilai perubahan kekeruhan pada unit RO mendekati hari kedua yaitu sebesar 0,24 NTU dan nilai rata-rata persentase pengurangan kekeruhan mendekati hari pertama yaitu sebesar 35,71 %. Pada tabel 5.3 dapat dilihat perubahan kekeruhan yang terjadi.

Tabel 5.3. Tabel Perubahan Kekeruhan

Hari	Perubahan Kekeruhan			
	Δ Kekeruhan UF (NTU)	% Pengurangan Kekeruhan	Δ Kekeruhan RO (NTU)	% Pengurangan Kekeruhan
1	3.68	89.76	0.15	35.71
2	4.8	87.27	0.24	34.29
3	1.34	76.14	0.1	23.81
4	0.8	36.04	1.09	76.76
5	4.04	89.38	0.15	31.25
6	2.72	87.18	0.13	32.50
7	2.97	85.84	0.09	18.37
Rata-rata	2.91	78.80	0.28	36.10

(Sumber : Penulis, 2012)

Pada RO dan UF, partikulat pada air baku akan tertinggal pada permukaan membran sedangkan air akan dapat melewati membran. Pada RO, tegangan geser yang ditimbulkan pada aliran air melintang dalam membran akan sebanding dengan tegangan geser yang ditimbulkan oleh aliran air yang menembus membran sehingga dapat mencegah kembalinya kontaminan. Hal ini berbeda dengan proses pada UF yang memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi pada aliran. Tegangan geser yang terjadi pada aliran yang melintang pada membran kurang efektif dalam mencegah kontaminan sebagai pengotor membran..

5.3.2 Analisis Data TDS

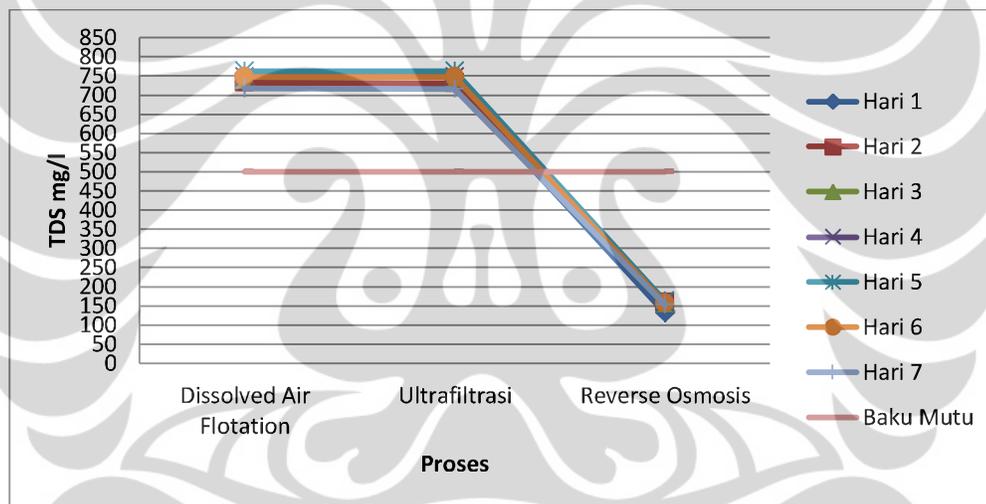
Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran terhadap TDS. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat besarnya padatan terlarut yang dapat dihilangkan atau dikurangi dengan pengolahan unit UF dan unit RO. Dengan mengukur nilai TDS dapat diketahui juga besarnya kandungan zat-zat terlarut seperti mineral, garam, anion, dan kation yang terdapat dalam air. Pada tabel 5.4 dapat dilihat data TDS.

Tabel 5.4 Pengukuran TDS

Hari	TDS DAF (mg/L)	TDS UF (mg/L)	TDS RO (mg/L)
1	732	730	130
2	732	731	158
3	746	746	157
4	762	762	132
5	762	762	162
6	746	746	155
7	717	716	153
Rata-rata	742.43	741.86	149.57

(Sumber : Penulis, 2012)

Berdasarkan data pengukuran TDS dapat dilihat perubahannya dengan grafik pada gambar 5.4.



Gambar 5.4. Perubahan TDS (Sumber : Penulis, 2012)

Perubahan nilai TDS dari setiap proses dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perubahan TDS

Hari	Perubahan TDS (mg/l)	
	Ultrafiltrasi (mg/l)	Reverse Osmosis (mg/l)
1	2	600
2	1	573
3	0	589
4	0	630
5	0	600
6	0	591
7	1	563

(Sumber : Penulis, 2012)

Dari perhitungan data TDS dapat dihitung nilai selektivitas membran yaitu ukuran kemampuan suatu membran menahan atau melewatkan suatu partikel. Selektivitas dari membran tergantung pada interaksi antarmuka dengan partikel, ukuran partikel, dan pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran dan dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \% \quad (2-3)$$

Di mana :

R : koefisien rejeksi

C_p : konsentrasi zat terlarut air (TDS) yang dihasilkan

C_f : konsentrasi zat terlarut air (TDS) umpan

Pada tabel 5.6 disajikan rejeksi membran mulai hari pertama sampai hari ketujuh.

Tabel 5.6 Rejeksi Membran

Hari	Rejeksi	
	UF (%)	RO (%)
1	0.27	82.19
2	0.14	78.39
3	0.00	78.95
4	0.00	82.68
5	0.00	78.74
6	0.00	79.22
7	0.14	78.63

(Sumber : Penulis, 2012)

Dengan mengetahui nilai rejeksi maka dapat diketahui berapa persen jumlah garam yang dapat dihilangkan melalui proses UF dan RO.

Pada pengukuran hari pertama, nilai TDS pada bak DAF sebesar 732 mg/L. Nilai TDS ini cukup rendah jika dibandingkan air laut pada umumnya yang melebihi 1000 mg/L (Qasim, 2000). Rendahnya nilai TDS ini disebabkan oleh air baku yang ada memiliki kualitas cukup baik yang diambil dari danau di tepi laut. Pengaruh dari kondisi geologi dan hidrogeologi menyebabkan pengaruh nilai TDS ini bervariasi (Nepal C. Mondal, 2010). Air dari bak penampungan DAF masuk ke unit UF. Pada unit UF diperoleh nilai TDS sebesar 730 mg/L. Perubahan nilai TDS yang terjadi sebesar 2 mg/L. Penurunan nilai TDS ini disebabkan partikel terlarut yang memiliki ukuran lebih besar dari 0,1 μm tersaring pada unit UF. Membran UF yang dibuat dari bahan polimer ini tidak bersifat hidrofilik dan cenderung memiliki daya adsorpsi yang cukup tinggi sehingga untuk partikel terlarut pada air tidak semua dapat dihilangkan. Besarnya partikel terlarut yang dapat dihilangkan dengan unit UF ini sangat kecil yaitu sebesar 0,27 %. Pengurangan nilai garam yang sangat kecil ini disebabkan pada proses UF yang tidak digunakan untuk tujuan mengurangi kandungan nilai garam dari air umpan yang diberikan. Setelah dari proses UF air tersebut lalu masuk ke proses RO di mana nilai TDS dari air tersebut berkurang. Besarnya nilai TDS setelah melewati unit RO menjadi 130 mg/L dengan perubahan yang terjadi sebesar 600 mg/L. Perubahan nilai TDS ini juga berpengaruh terhadap nilai kandungan partikel

terlarut sebesar 82,19%. Besarnya nilai ini sesuai dengan fungsi dari RO adalah untuk mengurangi kandungan partikel terlarut pada air yang dihasilkan.

Berdasarkan data-data pengukuran nilai TDS untuk hari kedua sampai hari ketujuh pengurangan nilai TDS dari unit UF sangat kecil dan tidak terjadi kekurangan. Rata-rata penurunan nilai TDS yang terjadi pada unit UF selama tujuh hari adalah 0,57 mg/L dan besarnya koefisien rejeksi yang terjadi pada unit UF sebesar 0,08 %. Kecilnya nilai pengurangan partikel terlarut ini menunjukkan bahwa UF tidak efektif digunakan untuk menghilangkan kandungan partikel terlarut pada air yang dihasilkan. Untuk pengukuran nilai TDS pada unit RO terjadi penurunan nilai TDS. Rata-rata penurunan nilai TDS yang terjadi adalah sebesar 592,29 mg/L dan koefisien rejeksi sebesar 79,83 %. Air yang keluar dari unit RO memiliki nilai TDS lebih kecil dari 200 mg/L. Karakteristik dari partikel-partikel terlarut dan diameter ukuran dari membran RO yang sangat kecil yaitu 10^{-4} μm menjadi faktor yang menentukan dalam menurunkan nilai TDS dengan gaya dorong.

Sistem RO bekerja berdasarkan prinsip pemisahan padatan terlarut dari air yang melalui membran semipermeabel yang cenderung melewatkan air daripada larutan/padatan. Membran yang dipakai pada unit RO bersifat hidrofilik di mana partikel air cenderung lebih tertarik pada struktur kimia di dalamnya. Air dapat berikatan dengan polimer pada membran tersebut sehingga memberikan kemudahan bagi air untuk melewati struktur polimer pada membran tersebut.

Berdasarkan data pengukuran nilai TDS yang telah dilakukan, penurunan nilai TDS pada proses UF menunjukkan proses UF tidak efektif untuk digunakan sehingga perlu digunakan proses RO untuk membantu penurunan nilai TDS. Nilai TDS yang digunakan untuk desain instalasi ini sebesar 38000 mg/L bertujuan untuk mengantisipasi menurunnya kualitas air baku. Berdasarkan hipotesis bahwa terjadi penurunan nilai TDS sebesar 10 % tidak terbukti.

5.3.3 Analisis Data pH dan Suhu

Pengukuran pH air dan suhu air pada penelitian ini sangat diperlukan karena berpengaruh terhadap kinerja dari unit UF dan unit RO untuk

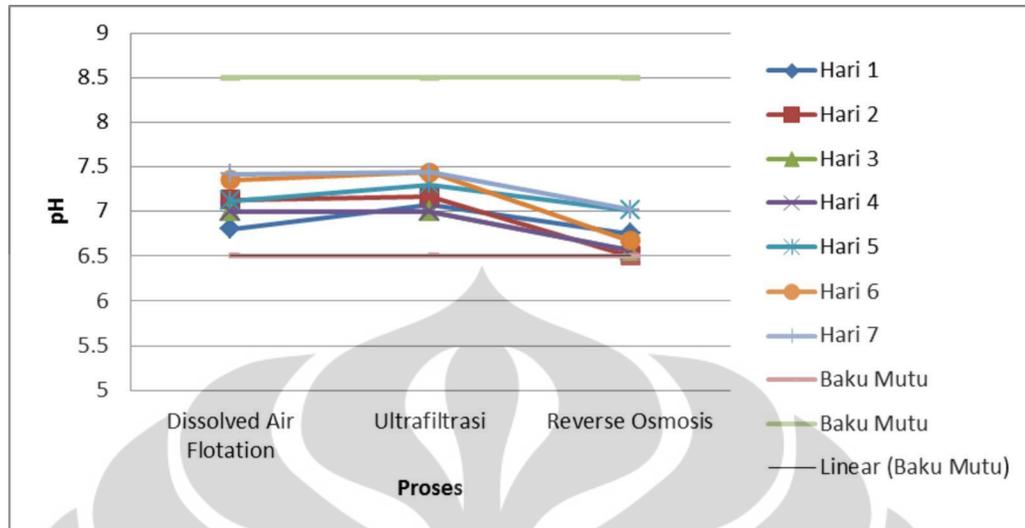
menghasilkan kualitas air yang baik. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan selama tujuh hari diperoleh bahwa nilai pH sekitar 6,5 sampai 7,42. Nilai pH terendah terdapat pada air yang dihasilkan dari proses RO dan pH tertinggi air yang dihasilkan dari bak DAF. Data pengukuran pH disajikan pada tabel 5.7.

Tabel 5.7. Pengukuran pH

Hari ke-	Dissolved Air Flotation	Ultrafiltrasi	Reverse Osmosis
1	6.8	7.07	6.75
2	7.13	7.16	6.5
3	7	7	6.56
4	7.13	7.22	6.77
5	7.12	7.3	7.01
6	7.35	7.44	6.67
7	7.42	7.44	7.02
Rata-rata	7.14	7.23	6.75

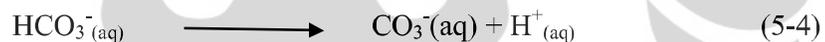
(Sumber : Penulis, 2012)

Dari gambar 5.5 dapat dilihat perubahan grafik yang terjadi dari unit RO. Perubahan pH terjadi pada unit ini karena air mengalami proses pemurnian yang menyebabkan kandungan alkalinitas pada air olahan berkurang. Zat-zat yang tersaring tersebut dapat terdiri dari mikroorganisme, senyawa-senyawa, garam, mineral, dan penurunan alkalinitas yang terlarut dalam air yang dapat menyebabkan buffer. Berdasarkan investigasi pertama yang dilakukan oleh Farchammer (1865) komponen air laut dapat dikelompokkan dalam beberapa komponen inorganik utama yaitu Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan K^+ secara langsung serta variasi kandungan Na^+ . Air yang dihasilkan dari proses RO mengalami penurunan pH ketika mengalami kontak dengan karbon dioksida.



Gambar 5.5. Perubahan pH (Sumber : Penulis, 2012)

Reaksinya dapat dilihat sebagai berikut.



Dari reaksi tersebut dapat dilihat bahwa ketika CO_2 dalam bentuk gas larut dalam air maka akan membentuk H_2CO_3 . Ketika H_2CO_3 ini bereaksi akan melepas H^+ dalam larutan. H^+ ini yang akan menyebabkan pH air menjadi asam atau semakin kecil (Z REEF, 2012).

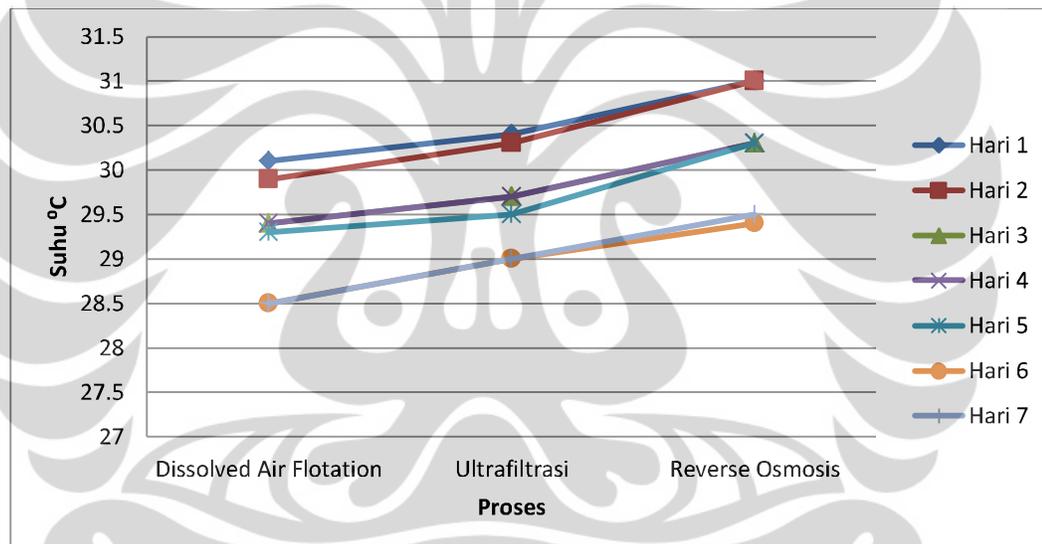
Pada suhu air yang telah diukur suhu air berkisar antara $28,5^\circ\text{C}$ sampai 31°C . Hasil pengukuran suhu disajikan pada tabel 5.8.

Tabel 5.8. Pengukuran Suhu

Hari ke-	Dissolved Air Flotation (°C)	Ultrafiltrasi (°C)	Reverse Osmosis (°C)
1	30.1	30.4	31
2	29.9	30.3	31
3	29.4	29.7	30.3
4	29.4	29.5	30
5	29.3	29.5	30.3
6	28.5	29	29.4
7	28.5	29	29.5
Rata-rata	29.30	29.63	30.21

(Sumber : Penulis, 2012)

Perubahan suhu yang terjadi dapat dilihat seperti pada gambar 5.6.



Gambar 5.6. Perubahan Suhu (Sumber : Penulis, 2012)

Pada proses membran perubahan suhu sangat berpengaruh terhadap jumlah air yang dihasilkan sehingga perlu dilakukan kontrol terhadap suhu. Pada membran UF dan RO dapat bekerja dengan baik pada suhu 25°C sampai 35 °C. Dari data pengukuran yang dilakukan kondisi ini masih dalam batas aman proses UF dan RO. Perubahan suhu yang terjadi masih tergolong sesuai dengan spesifikasi membran pada proses UF dan RO yaitu 20-45°C. Suhu akan berpengaruh terhadap transfer massa dari padatan terlarut. Pada persamaan Stokes-Eisntein (5-6) dapat dilihat kemampuan difusi meningkat dan viskositas

akan menurun karena suhu meningkat. Pengaruh dari proses ini adalah karena suhu meningkat, rejeksi dari kontrol difusi zat terlarut akan menurun walaupun fluks akan meningkat dalam kondisi yang sama. Hal yang sangat disayangkan adalah tidak ada persamaan yang dapat menyesuaikan fluks dari zat terlarut terhadap suhu (Taylor, 1995).

$$D_1 = \frac{D_2 v_2 T_1}{T_2 v_1} \quad (5-5)$$

Di mana :

D_i : difusi pada T_i

v_i : viskositas pada T_i

T_i : suhu

5.3.4 Analisis Data Terhadap Baku Mutu

Berdasarkan baku mutu air minum yang dikeluarkan oleh menteri kesehatan pada Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum bahwa parameter yang diukur pada penelitian ini sesuai dengan baku mutu seperti pada tabel 5.9.

Tabel 5.9. Baku Mutu Air Minum

Parameter	Satuan	Baku Mutu
Kekeruhan	NTU	≥ 5
TDS	mg/L	500
pH		6.5-8.5
Suhu	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 3^{\circ}$ suhu udara

(Sumber : Permenkes Nomor 492 Tahun 2010)

Dengan menggunakan unit UF nilai kekeruhan dapat diturunkan cukup besar, tetapi nilai TDS pada air belum sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Nilai TDS masih tetap di atas 500 mg/L setelah air keluar dari unit UF. Penggunaan unit RO merupakan pilihan yang digunakan untuk menurunkan nilai TDS dan kandungan garam mineral yang terlarut dalam air sehingga nilai TDS menjadi lebih kecil dari 500 mg/L.

5.4 Pengaruh *Pretreatment* UF terhadap RO

Pretreatment untuk proses RO merupakan hal yang sangat penting untuk memaksimalkan masa penggunaan dari membran RO dan biaya operasi untuk instalasi RO. Biaya untuk mengganti membran RO sangat mahal sehingga desain dengan menggunakan *pretreatment* menjadi pilihan yang lebih baik. *Pretreatment* ini digunakan untuk menghasilkan air umpan dengan kekeruhan yang rendah. *Pretreatment* menjadi tahap awal yang dilakukan untuk mengontrol kinerja pada membran sehingga mencegah terjadinya *fouling* dan *scaling* ketika beroperasi. *Fouling* disebabkan material seperti koloid yang terdapat pada air laut dan akan menyebabkan produktivitas membran menurun. *Scaling* disebabkan oleh presipitasi dari garam di dalam membran karena konsentrasi dari aliran air umpan. Jika air umpan untuk RO memiliki kualitas yang sangat buruk maka akan berakibat terjadinya penurunan air olahan yang dihasilkan. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan *pretreatment* adalah :

- Material membran
- Konfigurasi modul membran
- Kualitas air umpan
- Perbandingan *recovery*
- Air olahan yang dihasilkan

Pada Instalasi SWRO Ancol *pretreatment* yang digunakan adalah dengan pengolahan UF. Modul membran yang digunakan pada unit RO di Instalasi SWRO Ancol didesain untuk menggunakan pengolahan awal sehingga peran dari UF sangat membantu untuk proses pengolahan air. Desain membran UF sedikit lebih kompleks untuk menghasilkan *recovery* yang tinggi. Jika hal ini dapat dilakukan proses UF sebagai *pretreatment* akan lebih bernilai ekonomis (Ericsson dan Hallmans, 1991).

Beberapa hal penting yang dapat dilihat dari penggunaan UF sebagai *pretreatment* terhadap RO berdasarkan Hayden adalah :

- Suspended solid dapat tersaring dengan baik jika dibandingkan dengan menggunakan media filter granular.
- Dengan nilai kekeruhan yang cukup rendah dapat mencegah penumpukan pada membran RO yang terlalu cepat.
- Tidak adanya penambahan zat kimia
- Dapat berfungsi sebagai desinfeksi

Membran harus tetap terjaga kebersihannya selama digunakan. Frekuensi dan cara pembersihan membran tergantung pada kualitas air umpan. Proses pengolahan air pada membran untuk menghasilkan air dengan kualitas yang baik akan semakin menurun untuk masa yang akan datang karena pengaruh pematatan, reaksi kimia, dan biodegradasi dari permukaan membran. Dengan menggunakan *pretreatment* pada RO dan operasional yang baik maka membran akan dapat bertahan sekitar tiga sampai lima tahun. Jika hal ini tidak dilakukan maka masa pemakaian membran akan sangat singkat yaitu kurang dari satu tahun (Taylor, 1995).

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

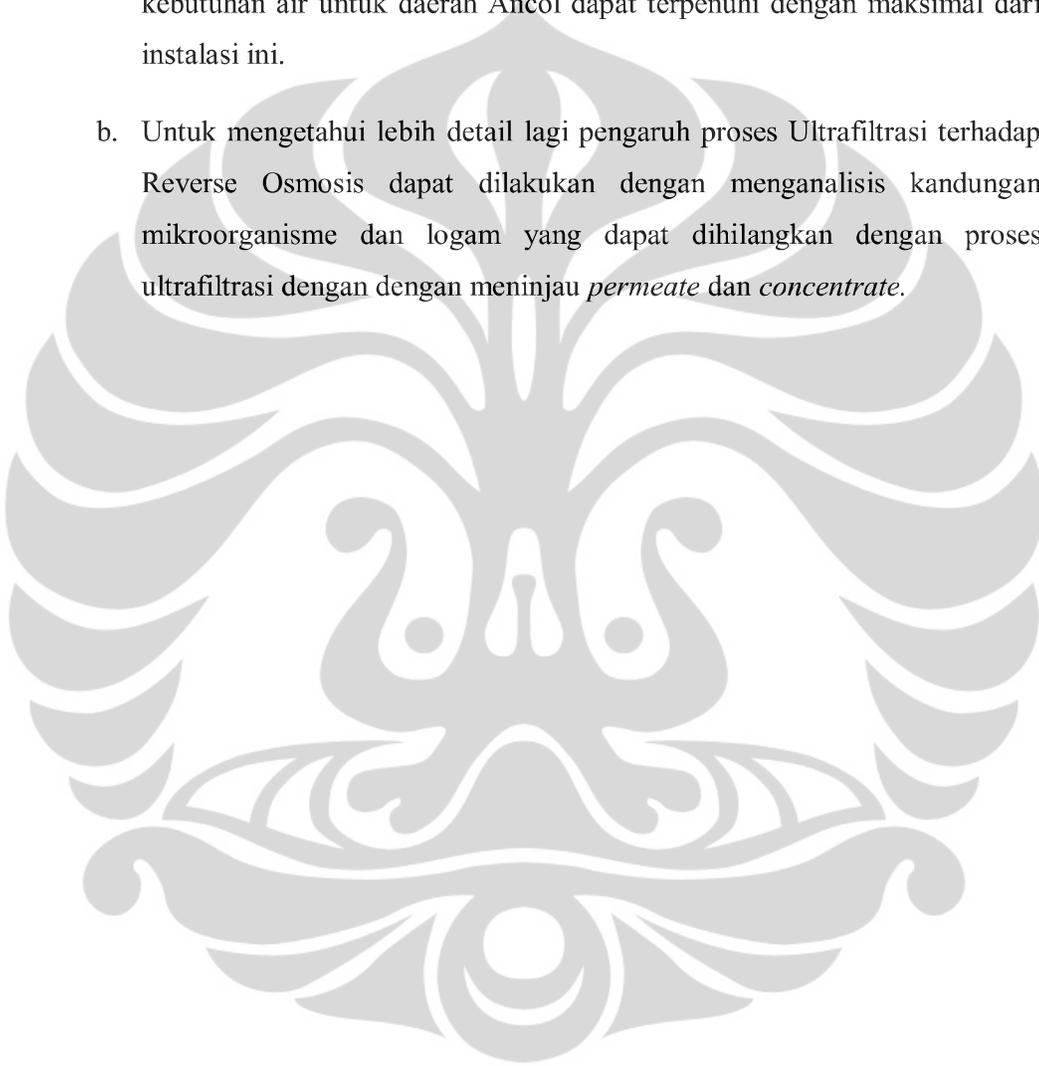
Dari pembahasan dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Nilai kekeruhan rata-rata dari proses *Reverse Osmosis* adalah 0,34 NTU. Nilai TDS rata-rata sebesar 149,57 mg/L. Untuk pengukuran pH, pH rata-rata dari air tersebut adalah 6,75. Pada pengukuran suhu, suhu air rata-rata adalah sebesar 30,21 °C. Pengukuran kualitas air untuk parameter kekeruhan, TDS, pH, dan suhu yang berasal dari *Seawater Reverse Osmosis Plant* Ancol sesuai dengan baku mutu pada Permenkes nomor 492 tahun 2010. Kekeruhan lebih kecil dari 5 NTU, TDS lebih kecil dari 500 mg/L, pH di antara 6,5-8,5, dan suhu $\pm 3^{\circ}\text{C}$ suhu udara.
- b. Pada proses Ultrafiltrasi rejeksi rata-rata sebesar 0,14 % dan rejeksi RO sebesar 78,63 %. Nilai rejeksi proses Ultrafiltrasi yang sangat kecil menunjukkan bahwa proses Ultrafiltrasi tidak efektif digunakan untuk menurunkan nilai TDS. Nilai kekeruhan air rata-rata dari proses Ultrafiltrasi sebesar 0,62 NTU atau terjadi penurunan kekeruhan rata-rata sebesar 78,80 %. Penurunan kekeruhan ini sangat efektif untuk mengurangi beban pada unit *Reverse Osmosis*.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terkait dengan penelitian ini adalah

- a. Seawater Reverse Osmosis Plant Ancol sebaiknya dapat memaksimalkan air yang dihasilkan setiap harinya yaitu sebesar 5000 m³/hari sehingga kebutuhan air untuk daerah Ancol dapat terpenuhi dengan maksimal dari instalasi ini.
- b. Untuk mengetahui lebih detail lagi pengaruh proses Ultrafiltrasi terhadap Reverse Osmosis dapat dilakukan dengan menganalisis kandungan mikroorganisme dan logam yang dapat dihilangkan dengan proses ultrafiltrasi dengan dengan meninjau *permeate* dan *concentrate*.



DAFTAR PUSTAKA

- Kamus Besar Bahasa Indonesia* (Ketiga ed.). (2005).
- Ali, F. (2012). *Water and Food Security : Challenge and Oppornuties for Indonesia World Water Day 2012 Series, April 19th, 2012*. Jakarta.
- Army, D. o. (1986). *Technical Manual Water Desalination*. Washington D.C.: US Government Printing Office.
- Ciptaraharja, I. (2006). Membran Nanofiltrasi Untuk Penghilangan Ion Valensi Tinggi dan Senyawa Organik Dari Sumber Air Salinitas Tinggi.
- Council, N. R. (2008). *Desalination : a National Perspective*. Washington D.C.: The National Academies Press.
- Cowan J. A. C. Mac Tavish, C. J. Brouckaert, & E.P. Jacobs. (1992). water science and technology. *Membrane Treatment Strategies for Meat Abattoir Effluents*, 137-148.
- Dickie, P. (2007). *Desalination : Option or Distraction For a Thirsty World*. World Wide Fund. Switzerland: WWF International.
- Eddy, M. &. (2003). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse* (fourth ed.). Beijing, People's Republic of China: McGraw-Hill.
- Edzwald, J. K. (Ed.). (1999). *Water Quality & Treatment* (Sixth ed.). Colorado: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- George Thomas, R. K. (Ed.). (1991). *Advance in Water Treatment and Environmental Management*. London and New York: Elsevier Science Publisher LTD.
- Herlambang, R. H. (1999). *Pengolahan Air Asin atau Payau Dengan Sistem Osmosis Balik*. Jakarta: Badan Pengajian dan Penerapan Teknologi.
- Jacangelo, J. G. (1994). Comparison of Microfiltration and Ultrafiltration for Microbial Removal . In *Proceeding of Microfiltration for Water Treatment Symposium* . California: Irvine.

- Jakarta, B. P. (2010). *Hasil Sensus Penduduk 2010*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta.
- K.T. Chua, M. N. (2003). Pretreatment of seawater:Results of Pilots. *Desalination*, 159, 225-243.
- Kweon, J. H. (2002). *Water Treatment*. Texas: ProQuest Information and Learning Company.
- Lin, S. D. (2007). *Water and Wastewater Calculations Manual* (Second ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mondal, N. C., & Singh, V. P. (2010). Hydrochemical Characteristic of Coastal Aquifer From Tuticorin, Tamil Nadu, India. *Springer Science*, 531-550.
- Mulder, M. (1991). *Basic Principle of Membrane Technology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Notoadmojo. (2003). *Ilmu Kesehatan Masyarakat*. Jakarta: P.T. Rineka Cipta.
- REEF, O. (2012). *OZ REEF*. Retrieved Juni 20, 2012, from <http://ozreef.org/content/view/115/28/>
- Reynolds, T. D. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Boston: International Thomson Publishing.
- Spellman, F. R. (2009). *Water and Wastewater Treatment Plant Operations* (Second ed.). Broken Sound Parkway: Taylor and Francis Group.
- Spiegler, K. S. (1980). *Principles of Desalination*. New York: Academic Press.
- Suprihanto Notodarmojo, T. Z. (2004). *Efek Pretreatment Terhadap Pembentukan Lapisan Cake dan Struktur Membran Pada Membran Ultrafiltrasi Aliran Cross-Flow Dalam Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak*, 36, 127-144.
- Syed R.Qasim, E. M. (2000). *Water Works Engineering*. Upple Saddle River: Prentice - Hall.
- Taylor, J. S. (1995). Drinking Water Regulations and Membrane Applications. *International DeSalination and Water Reuse Journal*, 4.
- Wiesner, R. M., & Chellam, S. (1992). Mass Transport Consideration for Pressure-Driven Membrane Processes. *Journal American Water Works Association*, 88-85.
- Wilf, M. (2006). *Water Desalination*.

LAMPIRAN



Gambar 1. Instalasi SWRO Ancol



Gambar 2. Lokasi Intake



Gambar 3. Unit DAF



Gambar 4. Unit Ultrafiltrasi



Gambar 5. Unit *Reverse Osmosis*



Gambar 6. *Box Trap*

Pembiayaan

SWRO *Plant* Ancol mulai dioperasikan pada tanggal 27 Mei 2011 dengan masa percobaan lalu beroperasi secara permanen setelah dilakukan serah terima kepada pihak PT. Pembangunan Jaya Ancol pada Bulan Agustus 2011. Investasi untuk pembangunan instalasi ini mencapai 50 miliar rupiah. Besarnya biaya tersebut meliputi bangunan gedung, screening awal, pemipaan, pompa, unit UF, dan unit RO. Dengan beroperasinya Instalasi SWRO Ancol maka diperlukan biaya yang akan dikeluarkan setiap bulan. Pembiayaan ini akan berpengaruh terhadap produksi air yang dihasilkan. Biaya tersebut meliputi biaya penggunaan listrik, biaya penggunaan bahan kimia, dan biaya overhead. Biaya overhead terdiri dari biaya tenaga kerja, laboratorium, cartridge RO, dan biaya manajemen. Pada tabel 1 dapat dilihat rincian dari biaya yang dikeluarkan.

Tabel 1 Biaya Instalasi SWRO Ancol

Bulan	Biaya Instalasi SWRO Ancol				Produksi Air (m ³)
	Listrik (Rp)	Zat Kimia (Rp)	Overhead (Rp)	Sparepart (Rp)	
April	515773968	162095600	63521634	1458000	121741.60
Mei	397721136	150643500	63029610	4680000	92261.40
Rata-rata	456747552	156369550	63275622	3069000	107001.5

(Sumber : SWRO *Plant* Ancol, 2012)

Data yang diperoleh dari Instalasi SWRO Ancol adalah biaya yang dikeluarkan untuk Bulan April dan Bulan Mei. Untuk mengetahui rata-rata biaya produksi air per meter kubik digunakan perhitungan dengan acuan rata-rata biaya total yang dikeluarkan.

Total biaya = biaya listrik + biaya zat kimia + biaya *overhead* + biaya *sparepart*

$$= \text{Rp. } 456.747.552 + \text{Rp. } 156.369.550 + \text{Rp. } 63.275.622$$

$$+ \text{Rp. } 3.069.000$$

$$= \text{Rp. } 679.461.724,-$$

$$\text{Biaya produksi air per meter kubik} = \frac{\text{Total Biaya (Rp)}}{\text{Produksi air (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Biaya produksi air per meter kubik} = \frac{\text{Rp. 679.461.724, -}}{107001,5}$$

$$\text{Biaya produksi air per meter kubik} = \text{Rp. 6350/m}^3$$

Biaya yang dikeluarkan oleh Instalasi SWRO Ancol lebih murah jika dibandingkan dengan harga jual air oleh PT. Aetra Air Jakarta yaitu sebesar Rp.12.550,-

Keuntungan per meter kubik yang diperoleh dengan memanfaatkan Instalasi SWRO Ancol adalah

$$\text{Penghematan} = \text{harga jual} - \text{biaya produksi}$$

$$= \text{Rp.12.550} - \text{Rp.6350}$$

$$= \text{Rp.6200/m}^3 \text{ atau sebesar } 49,4 \%$$

Penghematan yang diperoleh dalam satu tahun adalah

$$\text{Penghematan per tahun} = \text{Penghematan/m}^3 \times \text{debit/hari} \times 360 \text{ hari}$$

$$= \text{Rp.6200/m}^3 \times 5000 \text{ m}^3/\text{hari} \times 360 \text{ hari}$$

$$= \text{Rp.11.600.000.000,-}$$

Untuk mengetahui berapa lama investasi akan kembali dapat dihitung dengan *Pay Back Periode* (PBP).

$$\text{PBP} = \frac{\text{biaya investasi}}{\text{biaya penghematan}}$$

$$\text{PBP} = \frac{\text{Rp.50.000.000.000, -}}{\text{Rp.11.600.000.000, -}}$$

$$\text{PBP} = 4,31 \text{ tahun} = 4 \text{ tahun } 3 \text{ bulan } 22 \text{ hari.}$$

PROJEK :

WATER TREATMENT PLANT MOL - JAKARTA

PEMILIK :



KONTRAKTOR UTAMA :



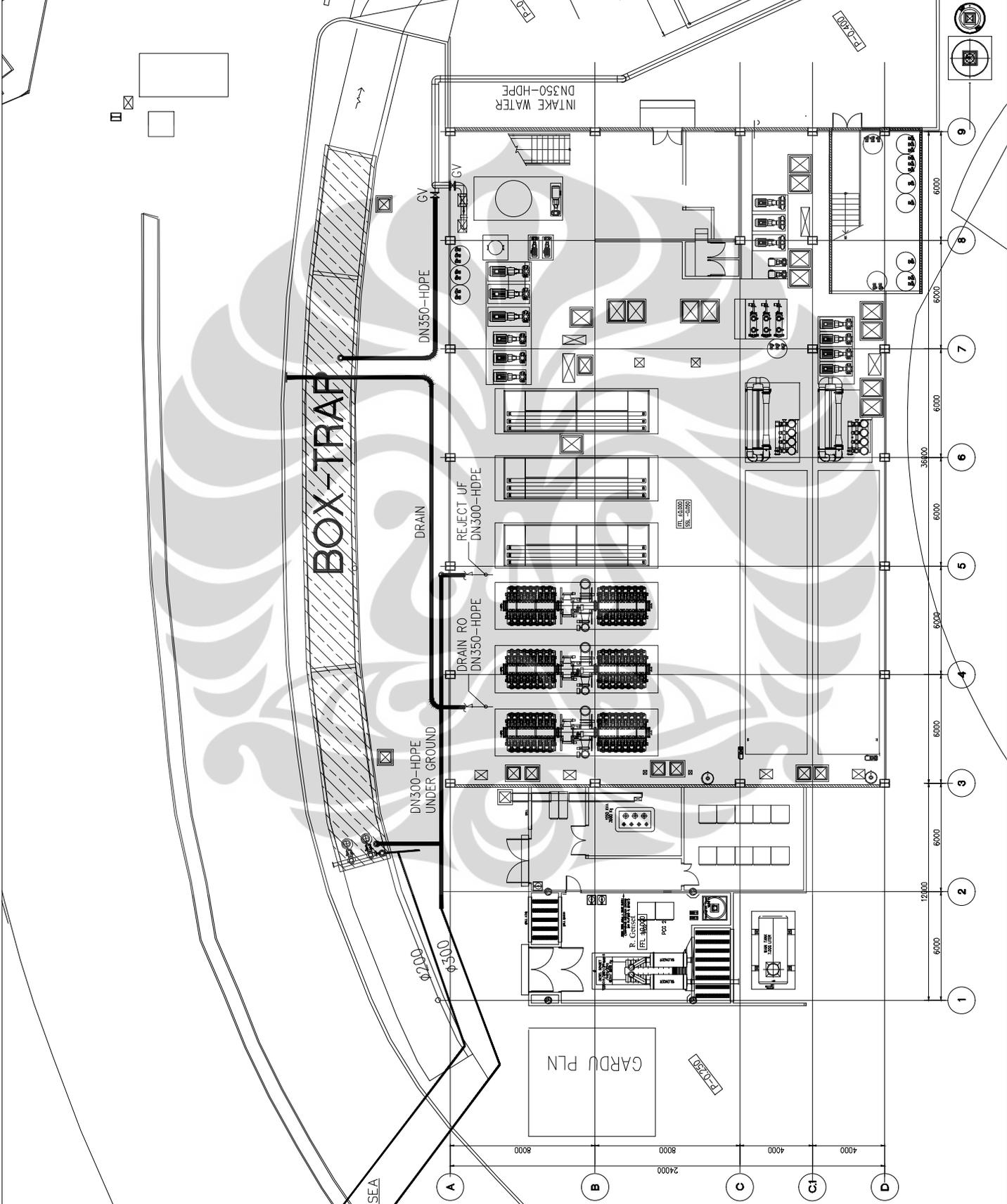
PT. BETA PRAMESTI
Jl. Bina Raya, Tanah Tinggi, Bekasi, Jember
Jember 12300 Telp: 031-7441710 (Dgn) Fax: 031-7443320

SUB KONTRAKTOR :



PT. BETA PRAMESTI
Jl. Bina Raya, Tanah Tinggi, Bekasi, Jember
Jember 12300 Telp: 031-7441710 (Dgn) Fax: 031-7443320

CATATAN :



REVISI		TANGGAL	PARAF
NO.			

AS BUILT DRAWING	
KETERANGAN	PARAF
DIGAMBAR	TANGGAL
DIKERJAKAN	
PERAWAHDAN JAWAB	
KOORDINATOR PROJEK	

PT. ARKONIN	
KETERANGAN	PARAF
DISETUIHI	TANGGAL
DISETUIHI	

PT. JAYA TEKNIK	
KETERANGAN	PARAF
DISETUIHI	TANGGAL
DISETUIHI	

ASBIL GAMBAR :	
KETERANGAN	PARAF
DISETUIHI	TANGGAL
DISETUIHI	

GENERAL ARRANGEMENT BOXTRAP LAYOUT	
SKALA :	1:100
NO GAMBAR :	AS-202-EP-PA-10

