

PENGOLAHAN AIR PAYAU MENJADI AIR BERSIH DENGAN MENGGUNAKAN MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*

Etikasari Yusuf – Tuhu Agung Rachmanto – Rudi Laksmono
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya – Gunung Anyar Surabaya 60294
Telp. (031)8430620. email: tuhuagung@yahoo.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengolah air payau menjadi air bersih dengan menggunakan membran reverse osmosis jenis hollow fiber dan mengetahui kemampuan membran reverse osmosis jenis hollow fiber dalam mengefisienkan penyisihan kadar salinitas (Cl) dan TDS (Total Dissolved Solid) dalam air payau dengan menggunakan tekanan rendah. Contohnya air sumur payau pada Perumahan Siwalan Sidoarjo. Penelitian ini menggunakan membran reverse osmosis (RO) yang terbuat dari polysulfon (PSF) dengan jenis hollow fiber dan berukuran pori 0,01 μm . Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah laju aliran (Q) 300 – 500 ml/menit dan tekanan operasi (P) pada 1,5 – 3,5 bar. Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa membran RO mampu memberikan % penyisihan pada debit aliran 500 ml/menit dengan tekanan operasi 3,5 bar yang menghasilkan kemampuan penyisihan Cl sebesar 57,89 % dengan penurunan kadar awal Cl dari 990 mg/l menjadi 416,89 mg/l dan kemampuan penyisihan TDS sebesar 58,59 % dengan penurunan kadar awal TDS dari 2970 mg/l menjadi 1230 mg/l, air payau tersebut mempunyai kandungan garam tinggi dan belum memenuhi baku mutu untuk air bersih.

Kata kunci: Air payau, hollow fiber, membran, reverse osmosis.

Abstract

This research aim to process brackish water become clean water using by reverse osmosis membrane with hollow fiber type and know ability of reverse osmosis membrane with hollow fiber type in efficiency exclusion of rate salinity (Cl) and TDS (Total Dissolved Solid) in brackish water using by low pressure. The example is brackish water well at Perumahan Siwalan Sidoarjo. This research using by reverse osmosis membrane (RO) which made from polysulphone (PSF) with hollow fiber type and the pore size 0,01 μm . Variable which used in this research is stream accelerate (Q) 300 – 500 ml/min and operating pressure (P) 1,5 – 3,5 bar. The result show from this research is, stream accelerate 500 ml/min with operating pressure 3,5 bar yielding exclusion ability Cl equal to 57,59 % with degradation of Cl rate early from 990 mg/l become 416,89 mg/l and exclusion ability TDS equal to 58,59 % with degradation of TDS rate early from 2970 mg/l become 1230 mg/l, brckish water having high sal content anad not yet fulfilled is quality standard for clean water.

Keywords : brackish water, hollow fiber, membrane, reverse osmosis.

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan pada air payau yang sering terjadi adalah salinitas dan TDS (*Total Dissolved Solid*). Salinitas adalah jumlah garam – garam dalam gram pada setiap kilogram air. Salah satu garam – garam yang terdapat dalam air adalah klorida (Cl^-), natrium (Na^+), sulfat (SO_4^{2-}), magnesium (Mg^{2+}), dan kalsium (Ca^{2+}) (*Sutrisno, 2004*). Sedangkan TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah jumlah padatan terlarut yang terdapat dalam air. Padatan terlarut diakibatkan oleh bahan pelarut dari air yang padat, cairan, dan gas. Contohnya air sumur payau pada Perumahan Siwalan Sidoarjo. Kadar salinitas (Cl^-) dan TDS pada Perumahan Siwalan Sidoarjo tersebut masih belum memenuhi baku mutu sehingga perlu diolah karena dapat mengganggu kesehatan apabila terlalu sering dikonsumsi untuk kebutuhan sehari-hari. Oleh karena itu diperlukan pengolahan agar memenuhi standar lingkungan yaitu dengan menggunakan membran *reverse osmosis*.

Pengolahan dengan menggunakan membran *reverse osmosis* merupakan pengolahan proses fisika yang dilakukan dengan memberikan dorongan atau tekanan, menahan semua ion, melepaskan air murni dan membuang air kotor. Membran *Reverse Osmosis* memiliki ukuran pori persepuluh ribu mikron dan dapat menghilangkan zat organik, bakteri, pirogen, juga koloid yang tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring (*Metcalfe and Eddy, 2004*).

TINJAUAN PUSTAKA

Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasinya 0,05 sampai 3% atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Lebih dari 5%, disebut *brine* (*Anonim, 2007*). Air payau adalah air yang salinitasnya lebih rendah dari pada salinitas rata-rata air laut normal (<35 permil) dan lebih tinggi dari pada 0,5 permil, dan terjadi karena pencampuran antara air laut dengan air tawar baik secara alamiah maupun buatan (*Anonim, 1991*). Menurut Soedjono (2002), berdasarkan kandungan kloridanya, maka air dibedakan atas air :

- 1) Air tawar (< 1.000 mg/l)
- 2) Air payau (*brackish* = 1.000 – 35.000 mg/l)
- 3) Air asin (*saline* = ± 35.000 mg/l)
- 4) *Brine* (berkadar garam tinggi : Laut Mati)

Menurut Soedjono (2002), Air payau terjadi karena intrusi air asin ke air tawar. Hal ini dikarenakan adanya degradasi lingkungan. Pencemaran air tawar juga dapat terjadi karena fenomena air pasang naik. Saat air laut meluap, masuk ke median sungai. Kemudian terjadi

pendangkalan di sekitar sungai sehingga air asin ini masuk ke dalam air tanah dangkal dan menjadi payau.

Dari hasil pengamatan sebelumnya, banyak sumur–sumur yang masih banyak mengandung ion–ion besi (Fe), natrium (Na), zink (Zn), sulfat (SO_4), dan chlorida (Cl^-) (*Novitasari, 2006*). Terutama apabila sumur–sumur tersebut letaknya berada di daerah pesisir pantai, air laut akan merembes masuk kedalam pori–pori tanah (peristiwa kapilaritas) yang menyebabkan sumur di daerah pemukiman sekitar pesisir pantai akan menjadi payau (*Atlas & Bartha, 1992*).

Air tanah dangkal bisa dijadikan alternatif sumber air baku. Tetapi bila ditinjau lebih lanjut dari segi kualitas air tanah dangkal agak baik, dari segi kuantitas kurang cukup dan tergantung pada musim (*Novitasari, 2006*). Pada umumnya air tanah mempunyai sifat-sifat tertentu sebagai sumber air bersih. Adapun sifat-sifat dari air tanah adalah sebagai berikut :

- 1) pH air antara 6 – 8,5
- 2) CO_2 agresif tinggi
- 3) Mudah melarutkan garam-garam
- 4) Adanya bakteri E. Coli yang dapat menyebabkan sakit perut
- 5) Kadar Fe^{3+} tinggi yang menimbulkan bercak pada pakaian
- 6) Kadar NO_2 yang tinggi bersifat racun.

1. Pengertian Membran

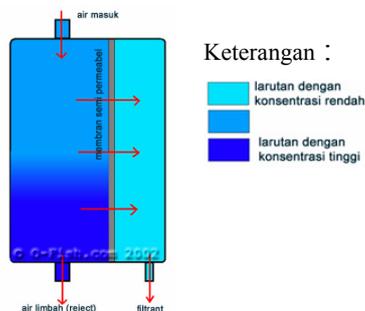
Membran merupakan media pemisah yang bersifat selektif permeabel dengan menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya. Proses pemisahan dengan menggunakan membran pada pemisahan fasa cair-cair umumnya didasarkan atas ukuran partikel dan beda muatan dengan gaya dorong (*driving force*) berupa beda tekanan, medan listrik, dan beda konsentrasi. Proses pemisahan dengan gaya dorong berupa beda tekanan dapat dibedakan menjadi proses *reverse osmosis*, nanofiltrasi, ultrafiltrasi, dan mikrofiltrasi.

Perbedaan ini didasarkan atas tekanan operasi yang digunakan dan ukuran pori membran. Semakin kecil ukuran pori membran maka tekanan operasi yang digunakan akan semakin tinggi (*Misran, 2002*). Selain dibedakan berdasarkan gaya dorong, membran juga dapat dibedakan berdasarkan tipe material pembuatan membran, mempunyai lapisan yang sangat tipis antara 0,20 – 0,25 μm yang didukung dengan ketipisan ukuran pori antara 100 μm . Membran yang paling sering digunakan adalah *flat sheets*, *fine hollow fibers*, *tubular form* (*Metcalfe and Eddy, 2004*)

2. Reverse Osmosis (RO)

Menurut Metcalf and Eddy (2004), membran *Reverse Osmosis* tidak membunuh mikroorganisme melainkan hanya membuang dan menghambatnya. Pada desain sistem membran RO terdapat beberapa parameter – parameter kritis yang harus diuji secara cermat, yaitu : kalsium, magnesium, kalium, mangan, natrium besi, sulfat, barium, khlorida, amonia, fosfat, nitrat, stronsium, dan sebagainya. Apabila parameter- parameter tersebut dibiarkan maka akan terjadi penyumbatan (*fouling*) (Hartomo dan Widiatmoko, 1994).

Prinsip kerja filter *Reverse Osmosis* adalah berdasarkan pada peristiwa osmosis yang terjadi di alam. Osmosis adalah peristiwa Bergeraknya air dari larutan yang mempunyai konsentrasi lebih rendah melalui membran semi permeabel ke larutan yang mempunyai konsentrasi lebih tinggi sampai tercapainya keseimbangan. Proses *Reverse Osmosis* merupakan kebalikan dari proses osmosis, yaitu memberikan tekanan balik dengan tekanan osmotik lebih besar pada permukaan cairan yang lebih kental, maka cairan yang lebih murni akan menembus permukaan membran menjadi cairan yang lebih murni (Heitmann, 1990). Berikut ini adalah gambar Mekanisme Kerja Reverse Osmosis



Gambar 1 Mekanisme Kerja Reverse Osmosis

Gambar 1 diatas menunjukkan diagram suatu filter *Reverse Osmosis*. Dalam hal ini, air yang mengandung garam-garaman (atau air dengan konsentrasi yang tinggi) dimasukkan dengan tekanan tertentu, sehingga melebihi tekanan osmotiknya, kedalam ruangan di bagian kiri. Maka air (murni) akan berjalan melewati membran semi permeabel dan tertampung di ruangan sebelah kanan. Tidak semua air bisa dilewatkan melalui membran tersebut, hal ini tergantung pada tekanan yang diberikan dan karakter dari membran. Oleh karena itu, dalam filter *Reverse Osmosis* akan dihasilkan air limbah (*reject*), yaitu air yang mengandung garam-garaman konsentrasi tinggi.

Dalam proses filtrasi dengan menggunakan membran *reverse osmosis*, terdapat beberapa faktor-faktor yang saling berkaitan sehingga

akan mempengaruhi pula kualitas air hasil filtrasi. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut :

1) Tekanan

Menurut Heitmann (1990), tekanan mempengaruhi laju alir bahan pelarut yang melalui membran itu. Laju alir meningkat dengan terus meningkatnya tekanan, dan mutu air olahan (*permeate*) juga semakin meningkat. Tekanan memegang peranan penting bagi laju *permeate* yang terjadi pada proses membran. Semakin tinggi tekanan suatu membran, maka semakin besar pula fluks yang dihasilkan *permeate* (Nassa dan Dewi, 2004).

2) Temperatur/suhu

Standar temperatur yang digunakan dari 70°F (21°C), tetapi umumnya yang digunakan mulai dari 85°F (29°C) (Eckenfelder, 2000),

3) Kepadatan/kerapatan membran

Semakin rapat membran, maka semakin baik air olahan yang dihasilkan (Eckenfelder, 2000),

4) Flux (fluks)

Gerakan air yang terus menerus. Untuk menentukan fluks dapat diperoleh dengan menghitung laju alir *permeate* per satuan luas membran (Nassa dan Dewi, 2004).

5) Recovery Factor

Semakin tinggi faktor perolehan maka semakin baik konsentrasi garam pada proses pengolahan air payau yang didapat. Umumnya factor recovery mempunyai batasan 75 – 95 % (Eckenfelder, 2000),

6) Salt Rejection (rejeksi garam-garaman)

Garam rejeksi tergantung dari tipe dan karakteristik pemilihan membran. Namun juga sangat tergantung pada kondisi operasi, konsentrasi larutan umpan dan debit aliran. Nilai rejeksi merupakan angka mutlak (Nassa dan Dewi, 2004). Umumnya nilai rejeksi dari 85 – 99,5% dengan 95% yang lebih sering digunakan (Eckenfelder, 2000)

7) Ketahanan Membran

Membran hanya dapat bertahan sebentar (akan cepat rusak) apabila terlalu banyak komponen – komponen yang tidak diinginkan ikut masuk di dalam air umpan, seperti bakteri, jamur, phenol, dan bahkan nilai pH terlalu tinggi/rendah. Biasanya membran dapat bertahan selama 2 tahun dengan perubahan pada efisiensinya (Eckenfelder, 2000),

8) pH

pH pada membran yang sering digunakan memiliki batasan operasi antara 6 – 7,7

9) Kekeruhan (*Turbidity*)

Reverse Osmosis digunakan untuk memindahkan/menyinkirkan kekeruhan dari air umpan (air masuk). (Eckenfelder, 2000)

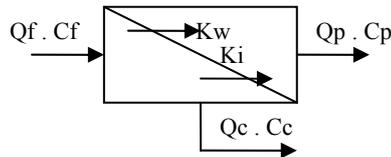
10) Pengolahan awal (*Pretreatment*)

Pretreatment merupakan proses awal agar membran tidak cepat rusak dan dapat tahan lebih lama. Selain itu *pretreatment* juga dilakukan agar partikel – partikel yang tidak diinginkan yang berat molekulnya lebih besar tidak ikut masuk kedalam membran.

11) Pembersihan (*Cleaning*)

Pembersihan pada membran tergantung dari jenis membran yang digunakan dan proses penggunaannya. (*Eckenfelder, 2000*)

Mekanisme filtrasi yang bekerja pada membran reverse osmosis adalah pada gambar berikut :



Adanya kemampuan yang terbatas dari suatu media akan memberikan pengaruh dalam pertimbangan mendesain debit aliran.

1) Pengaruh Debit Air Masuk terhadap Effluent

Input – Output = Akumulasi

$$\begin{aligned} Q_f \cdot C_f - Q_p \cdot C_p &= Q_c \cdot C_c \\ Q_f \cdot C_f &= Q_p \cdot C_p + Q_c \cdot C_c \\ Q_f &= \frac{Q_p \cdot C_p + Q_c \cdot C_c}{C_f} \dots\dots(1) \end{aligned}$$

Debit air baku dipengaruhi oleh dua faktor yaitu debit air hasil penyerapan dan debit air buangan. Debit air masuk (Q_f) berbanding lurus dengan konsentrasi zat terlarut pada aliran masuk (C_f), dimana bila debit pada aliran masuk besar maka konsentrasi zat terlarut pada aliran masuk akan besar pula. Debit air pada aliran masuk merupakan penjumlahan dari debit konsentrasi aliran hasil penyerapan ditambah debit dan konsentrasi aliran pembuangan. Bila konsentrasi ditetapkan maka debit aliran pembuangan (Q_c) lebih besar dibandingkan debit air hasil penyerapan (Q_p) hal ini disebabkan oleh banyaknya padatan tersuspensi yang menempel pada daya serap atau permukaan membran, (*Metcalf and Eddy, 2004*).

2) Pengaruh Tekanan Operasi terhadap Penyerapan Aliran

Jika ditinjau dari tekanan operasi pada membran, maka berlaku persamaan berikut:

$$\Delta P = \left[\frac{P_f + P_c}{2} \right] - P_p \dots\dots\dots(3)$$

Tekanan operasi pada membran (ΔP) dipengaruhi oleh tekanan penyerapan aliran (P_p). Untuk mendapatkan tekanan hidrostatis yang besar maka tekanan aliran masuk (P_f) dan tekanan aliran pada aliran pada zat terlarut (P_c)

harus besar, sedangkan tekanan penyerapan aliran (P_p) harus kecil karena tekanan operasi (ΔP) berbanding lurus dengan tekanan penyerapan (P_p). Tekanan aliran masuk (P_f) dan tekanan zat terlarut (P_c) berbanding terbalik dengan tekanan hidrostatis (ΔP), (*Metcalf and Eddy, 2004*).

3) Persentase Penyisihan untuk menentukan mutu produk

Jika didasarkan pada persentase penyisihan dapat digunakan dengan persamaan berikut :

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Persentase penyisihan berpengaruh terhadap konsentrasi zat terlarut pada aliran masuk. Persentase penyisihan berbanding terbalik dengan konsentrasi akhir (C akhir), sehingga bila persentase penyisihan besar maka konsentrasi awal (C awal) akan besar. Begitu juga sebaliknya bila persentase penyisihan kecil maka konsentrasi awal (C awal) akan kecil (*Hartomo dan Widiatmoko, 1994*).

Karakteristik *Reverse Osmosis* dapat ditentukan dari :

1. Cepat mampat oleh partikel koloid,
2. Tekanan tinggi antara (15 – 70 bar),
3. Membutuhkan Energi tinggi,
4. *Recovery* rendah 75 - 95 %,
5. *Rejection* hampir ± 80 – 90 %,
6. pH antara 2 – 11,
7. Dapat mencapai temperatur tinggi (60 - 100°F) (*Eckenfelder, 2000*)

Keuntungan dari *Reverse Osmosis* antara lain :

- a. Bisa mengurangi jumlah dari pengolahan kimia,
- b. Mengurangi kebutuhan laboratorium,
- c. Dapat mencapai pada tekanan tinggi,
- d. Dapat mengurangi kandungan garam, karbonat, *total hardness*, sulfat, dan nitrat dari air umpan. Zat-zat yang tidak terlarut dalam air juga dipisahkan seperti koloid dan bakteri (*Metcalf & Eddy, 2004*) .

Kerugian dari *reverse osmosis* :

Sering terjadi penyumbatan (*fouling/clogging*) karena bahan – bahan tertentu pada permukaan membran seperti membran berkerak karena pengendapan garam terlarut dalam air karena konsentrasi air cukup pekat dan batas kelarutan terlampaui. Kerak dapat berupa kalsium karbonat atau sulfat, silika, dan kalsium klorida (*Misran, 2002*), dan perawatannya lebih mahal dibandingkan dengan pengolahan secara konvensional (*Metcalf & Eddy, 2004*).

3. Membran Jenis Hollow Fiber

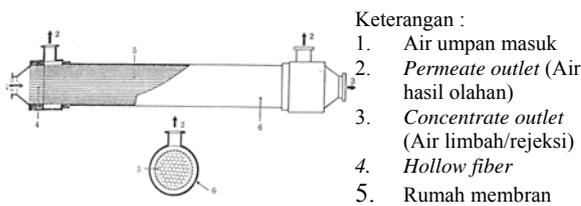
Modul / bentuk / jenis *Hollow fiber* yang digunakan terbuat dari polysulfon. Polysulfon dipercaya baik untuk penggunaan, membran ini memiliki konfigurasi lainnya seperti tabel berikut ini.

Tabel 1. Konfigurasi Hollow Fiber untuk skala laboratorium

Konfigurasi	Hollow Fiber
Karakteristik Membran	PSF - <i>Hydrophilic</i> <i>Double-Skin type</i>
Kapasitas Filtrasi (Volume)	3200 L
<i>Nominal Molecular Weight</i>	10.000 - 500.000
Diameter Membran	0,01 μm
Diameter Casing Membran	2 cm
Panjang Membran.	34 cm
Panjang Casing Membran	37 cm
Laju Alir dalam Membran	110 L/det
Toleransi pH	2 – 13
Temp. Operasi Max	25 °C
Tekanan Operasi Max.	2 - 7 bar
Periode Penggunaan	6 – 18 bulan

Sumber: *Data Primer, 2008*

Menurut Baker (2004), *Hollow fiber modul*, mempunyai ukuran diameter membran yang sangat kecil (< 1 mm), densitasnya sekitar 30.000 m^2/m^3 , ukurannya lebih kecil dari kapasitas modul yang lain., merupakan bundel mampat ribuan serat tipis menyejajar mengitari inti distribusi air umpan. Tiap serabut serat diletakkan dalam bentuk U atau O dan ujung – ujungnya dibungkus wadah pipa resin epoksi. Lalu bundel dibungkus kain dan kasa, diletakkan dalam bejana tahan tekanan tinggi terbuat dari baja stainless terlapis epoksi.



Gambar 2 Modul Hollow Fiber

Kelebihan membran *hollow fiber* :

- 1) Biaya operasi murah
- 2) Fleksibel
- 3) Unit volume permukaan lebih besar

Kerugian dari membran *hollow fiber* ini adalah :

- 1) Hasil penelitian kurang spesifik
- 2) Membrannya berbau (*Matrix Membran, 2005*)

4. Penyumbatan (Fouling/Clogging)

Salah satu yang menyebabkan keterbatasan penggunaan membran adalah terjadinya

penyumbatan (*fouling/clogging*). Fouling merupakan perubahan yang bersifat irreversible karena interaksi secara fisik dan kimia antara membran dan partikel yang terdapat pada proses pemisahan. Pada dasarnya diatas permukaan membran atau pori terdapat endapan partikel (koloid, garam, makromolekul, dsb), (Wenten, 1999).

Selain itu *fouling* juga dapat mengakibatkan matinya sistem secara tiba-tiba, hilangnya waktu produksi dan pergantian membran. Pencegahan dan pengontrolan terhadap *fouling* sangat penting dilakukan pada proses membrane dan membutuhkan penanganan yang serius dan membutuhkan biaya yang besar termasuk pergantian membran. Peristiwa *fouling* pada membran ini harus dihilangkan dengan melakukan optimasi pada teknik pembersihan membran. *Fouling* tergantung dari kualitas air umpan, keefektifan pengolahan pendahuluan, dan aliran yang mengalir pada permukaan membran (*Hartomo dan Widiatmoko, 1994*).

METODE PENELITIAN

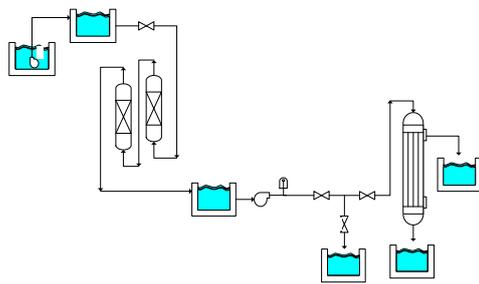
Proses penelitian ini dimulai dengan mengalirkan air baku pada sistem yang dirancang sedemikian rupa sehingga *permeate* (air bersih hasil olahan) tertampung pada wadah tersendiri dan *concentrate* (air buangan) menuju wadah effluent.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air payau yang diambil pada Perumahan Siwalan Sidoarjo, Membran reverse osmosis dengan jenis hollow fiber berukuran pori 0,01 μm . Alat yang digunakan yaitu : bak air umpan, pompa *submersible*, selang plastik, filter karbon dan pasir, pompa diafragma, membrane *reverse osmosis, pressure gauge*, dan *valve*.

Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi tekanan operasi (P) yang rendah antara 1,5 – 3,5 bar. Pemilihan tekanan rendah ini dikarenakan biaya pengoperasiannya dan perawatannya tidak terlalu mahal, dan energi yang dibutuhkan juga rendah sehingga membran tidak cepat rusak dan memiliki ketahanan yang lebih lama. Selain variasi tekanan, pada penelitian ini digunakan juga variasi debit (Q). Debit yang digunakan adalah 300 – 500 ml/menit.

Pada penelitian ini terdapat variabel yang ditetapkan yaitu membran RO berukuran pori 0,01 μm , jenis membran hollow fiber, panjang membran 34 cm, panjang rumah membran 37 cm, diameter rumah membran 2 cm, lamnya proses 10 jam. Parameter yang diteliti pada penelitian ini adalah kadar salinitas (Cl) dan kadar TDS (Padatan Terlarut).

Berikut ini adalah gambar kerja proses RO



Gambar 3 Proses Kerja Reverse Osmosis

Keterangan gambar:

- 1) Bak air umpan
- 2) Pompa *submersible*
- 3) Bak penampung 1
- 4) *Check valve*
- 5) Filter pasir
- 6) Filter karbon
- 7) Bak penampung 2
- 8) Pompa diafragma bertekanan 4 – 5 bar
- 9) *Pressure gauge*
- 10) Valve 1
- 11) Valve 2
- 12) Valve 3
- 13) Membran *Hollow fiber*
- 14) Bak penampung untuk air yang telah diolah (*permeate*)
- 15) Bak Penampung untuk air limbah (*retentate/concentrate*)
- 16) Bak Penampung sisa debit

Prosedur kerja dari penelitian ini adalah :

- 1) Bak umpan yang telah diisi air payau kemudian dipompa menuju bak penampung atas.
- 2) Kemudian air payau dialirkan melalui selang berukuran $\frac{3}{4}$ inci menuju filter karbon dan pasir. Aliran air melalui pipa diatur oleh *check valve* kemudian air mengalir ke filter pasir dan filter karbon secara gravitasi.
- 3) Aliran air dari filter pasir dan filter karbon kemudian ditampung di bak penampung sementara.
- 4) Kemudian air dari bak penampung sementara di pompakan dengan menggunakan pompa diafragma. Sebelum air tersebut menuju membran terlebih dahulu tekanan dan debit yang mengalir dari pompa diatur sesuai dengan peubah yang dijalankan dengan menggunakan valve. Lalu lihat pada *pressure gauge* besar tekanan yang diinginkan.
- 5) Setelah itu air masuk ke rumah membran dan melewati pori membran.
- 6) Air dengan konsentrasi yang rendah lolos melewati pori membran reverse osmosis

akan mengalir menuju ke bak panampung hasil keluaran.

- 7) Air yang keluar melewati pori – pori membran R.O kemudian dianalisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan sampel air payau yang berasal dari air sumur warga Perumahan Siwalan Sidoarjo. Sebelum dilakukan penelitian air payau dianalisa terlebih dahulu untuk mengetahui kadar cemarannya.

Tabel 2. Data analisa Awal Air Payau Perumahan Siwalan Sidoarjo

Parameter	Satuan	Air Payau
Jumlah zat padat terlarut (TDS)	Mg/L	3300
Kekeruhan	NTU	3,9
Salinitas (Cl ⁻)	Mg/L	1100
Fe	Mg/L	36
Mn	Mg/L	15,8

Sumber : data primer 2008

Pada penelitian ini air yang masuk ke dalam membran sebelumnya dilakukan proses pengolahan awal terlebih dahulu menggunakan filter pasir dan karbon aktif, kedua filter ini digunakan untuk menurunkan kandungan TSS, kekeruhan, serta polutan mikro lainnya termasuk TDS. Dalam proses pengolahan menggunakan filter pasir dan karbon aktif, TDS dan salinitas yang terdapat dalam air payau mengalami penurunan. TDS mengalami penurunan dari 3300 mg/l menjadi 2970 mg/l, untuk salinitas mengalami penurunan dari 1100 mg/l menjadi 990 mg/l.

Air sumur payau tersebut diolah dengan proses fisik, yaitu dengan menggunakan membran RO jenis *hollow fiber*. Variasi tekanan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 1,5 – 3,5 bar. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyisihan membran RO jenis *hollow fiber* dengan tekanan rendah.

Hasil penelitian yang dilakukan dengan berbagai variasi yang dikerjakan adalah sebagai berikut :

1) Pengaruh Tekanan Operasi (P) dan Debit Aliran (Q) Terhadap Persen (%) Penyisihan Kadar Salinitas (Cl⁻)

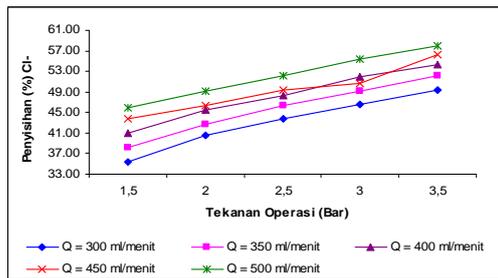
Berdasarkan tabel 3 pengaruh tekanan operasi pada proses pengolahan air sumur payau menggunakan membran *reverse osmosis* jenis *hollow fiber*, menunjukkan bahwa dengan tekanan operasinya 1,5 bar debit aliran (Q) adalah 300 ml/menit diperoleh kemampuan penyisihan Cl⁻ mencapai 35,43 %. Apabila tekanan dinaikkan menjadi 2 bar dan debit 300 ml/menit kemampuan penyisihan Cl⁻ naik

menjadi 40,64 % dan bila secara berturut tekanan dinaikkan dinaikkan masing – masing 2,5 bar (Q = 300 ml/menit), 3 bar (Q = 300 ml/menit) dan 3,5 bar (Q = 300 ml/menit) maka kemampuan penyisihan CI menjadi 43,85 %, 46,66 % dan 49,47 %.

Tabel 3. Pengaruh Tekanan Operasi (Bar) Terhadap Persen (%) Penyisihan Kadar Salinitas (CI) pada Berbagai Laju Alir (ml/menit)

Q (ml/menit)	P (Bar)				
	1,5	2	2,5	3	3,5
	Penyisihan CI (%)				
300	35,43	40,64	43,85	46,66	49,47
350	38,24	42,65	46,26	49,07	53,08
400	41,05	45,46	48,26	51,87	54,29
450	43,85	46,26	49,47	50,67	56,29
500	45,86	49,07	52,27	55,48	57,89

Secara keseluruhan penyisihan CI yang dipengaruhi oleh variasi tekanan operasi dapat ditunjukkan pada gambar 4 berikut:

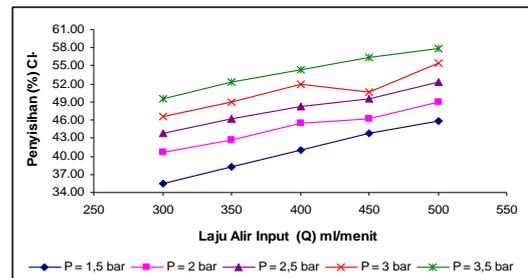


Gambar 4. Hubungan Antara Tekanan Operasi (Bar) dengan % Penyisihan CI pada Berbagai Laju Alir (ml/menit)

Grafik prosentase penyisihan kadar CI pada tekanan 3 bar dengan debit 400 ml/menit dan 450 ml/menit mengalami penurunan sebesar 51,87 % dan 50,67 % dengan selisih 1,2 %. Hal ini disebabkan membran terlalu lama bekerja dengan tekanan operasi yang terlalu rendah sehingga menjadikan membran jenuh dan membuat laju aliran air dalam membran membutuhkan waktu yang lama untuk mengalir. Selain tekanan rendah, yang mempengaruhi membran menjadi jenuh adalah air yang masuk dalam membran kemungkinan masih memiliki kandungan TDS yang tinggi dan kandungan logam serta mikroorganisme yang tidak ikut tersaring pada filter pasir dan karbon. Sehingga perlu untuk dilakukan pembersihan agar kerja membran menjadi maksimal kembali.

Hal ini membuktikan bahwa tekanan operasi pada membran sangat mempengaruhi kemampuan membran, selain tekanan operasi, tekanan osmosis juga mempengaruhi mutu produk (prosentase penyisihan), Winduwati dan Yohan (2000).

Pada gambar 5 dapat dijelaskan juga bahwa semakin besar debit aliran masuk pada membran, maka semakin besar kadar akhir CI yang dihasilkan dan semakin meningkat prosentase penyisihan kadar CI dalam air payau.



Gambar 5. Hubungan Antara Laju Alir Input (ml/menit) dengan % Penyisihan CI pada Berbagai Tekanan Operasi (Bar)

Gambar 5 juga diketahui hasil efisiensi penyisihan kadar CI terbesar dan maksimum berada pada debit 500 ml/menit dan tekanan operasi 3,5 bar sebesar 57,89 %. Sedangkan hasil efisiensi penyisihan kadar CI terkecil pada debit 300 ml/menit dan tekanan 1,5 bar sebesar 35,42 %.

Dapat dijelaskan bahwa semakin besar debit aliran masuk pada membran, maka semakin besar kadar akhir CI yang dihasilkan dan semakin meningkat prosentase penyisihan kadar CI dalam air payau. Sebaliknya jika semakin kecil debit aliran masuk pada membran maka semakin kecil pula kadar akhir CI yang dihasilkan dan semakin meningkat pula prosentase penyisihan kadar CI.

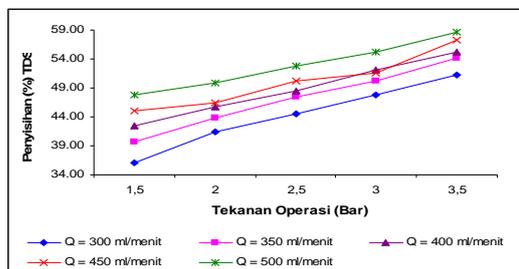
2) Pengaruh Tekanan Operasi (P) dan Debit Aliran (Q) Terhadap Persen (%) Penyisihan Kadar TDS

Pada tabel 4 diketahui lebih jelas prosentase penyisihan kadar TDS yang maksimum berada pada tekanan operasi 3,5 bar dan debit 300 ml/menit, 350 ml/menit, 400 ml/menit, 450 ml/menit, dan 500 ml/menit dengan hasil berturut – turut sebesar 51,18 %, 54, 21 %, 55,22 %, 57,24 %, 58,89 %.

Tabel 4. Pengaruh Tekanan Operasi (Bar) Terhadap Persen (%) Penyisihan Kadar TDS pada Berbagai Laju Alir (ml/menit)

Q (ml/ me nit)	P (Bar)				
	1,5	2	2,5	3	3,5
	Penyisihan TDS (%)				
300	36,03	41,41	44,44	47,81	51,18
350	39,73	43,77	47,47	50,17	54,21
400	42,42	45,79	48,48	52,19	55,22
450	45,12	46,46	50,17	51,52	57,24
500	47,81	49,53	52,86	55,22	58,59

Secara keseluruhan penyisihan TDS yang dipengaruhi oleh variasi tekanan operasi dapat ditunjukkan pada gambar 6 berikut:



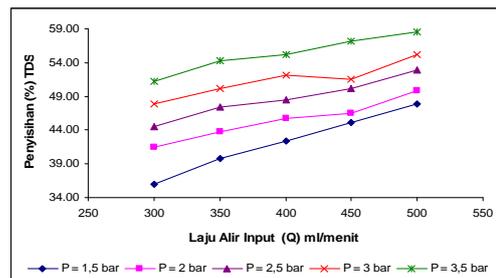
Gambar 6. Hubungan Antara Tekanan Operasi (Bar) dengan % Penyisihan TDS pada Berbagai Laju Alir (ml/menit)

Dari gambar 6 di atas dapat dilihat bahwa prosentase penyisihan TDS air payau yang terbesar terletak pada tekanan operasi 3,5 bar dengan debit 500 ml/menit, yaitu sebesar 59,09 %. Seperti yang terlihat pada gambar di atas, pada tekanan operasi 1,5; 2; 2,5 dan 3 bar dengan debit yang sama yaitu 500 ml/menit prosentase penyisihan TDS air payau mengalami kenaikan sebesar 47,81 %, 49,83 %, 52,86 %, dan 55,22 %. Dapat dijelaskan bahwa kemampuan penyisihan kadar TDS dipengaruhi oleh tekanan operasi. Apabila tekanan yang diberikan pada membran terlalu rendah maka garam yang disisihkan membran hanya sedikit (prosentase penyisihan garam menurun).

Semakin tingginya tekanan operasi yang diberikan pada membran, maka semakin meningkat prosentase penyisihan TDS dalam air payau dan air olahan atau *permeate* (debit aliran keluar) yang dikeluarkan juga semakin banyak, sebaliknya jika semakin kecil tekanan operasi pada membran maka semakin kecil pula prosentase penyisihan kadar TDS dan air olahan atau *permeate* (debit aliran keluar) yang dikeluarkan juga semakin sedikit. Sedangkan debit air buangan atau *concentrate* akan semakin kecil apabila tekanan operasi semakin tinggi, sebaliknya debit air buangan atau

concentrate akan semakin tinggi jika tekanan operasi semakin rendah.

Pada gambar 7 dapat dijelaskan juga bahwa debit air baku dipengaruhi oleh dua faktor yaitu debit air hasil penyerapan dan debit air buangan. Dimana bila debit pada aliran masuk besar maka konsentrasi zat terlarut pada aliran masuk akan besar pula. Bila konsentrasi ditetapkan maka debit aliran pembuangan lebih besar dibandingkan debit air hasil penyerapan (Metcalf and Eddy, 2004).



Gambar 7. Hubungan Antara Laju Alir (ml/menit) dengan % Penyisihan TDS pada Berbagai Tekanan Operasi (Bar)

Gambar 7 juga diketahui hasil efisiensi penyisihan kadar TDS terbesar dan maksimum berada pada debit 500 ml/menit dan tekanan operasi 3,5 bar sebesar 58,59 %. Sedangkan hasil efisiensi penyisihan kadar TDS terkecil pada debit 300 ml/menit dan tekanan 1,5 bar sebesar 36,03 %.

Kenaikan secara perlahan mulai terjadi pada debit 300 ml/menit, 350 ml/menit, dan 400 ml/menit dengan tekanan 3 bar sebesar 47,81 %, 50,17 %, dan 52,19 %. Kemudian pada debit 400 ml/menit dan debit 450 ml/menit dengan tekanan sama pula mengalami penurunan, sebesar 52,19 % dan 51,52 %. Dengan selisih penurunan sebesar 0,67 %.

KESIMPULAN

1. Air payau pada perumahan Siwalan Sidoarjo yang telah diolah dengan menggunakan *reverse osmosis* jenis *hollow fiber* belum memenuhi baku mutu, oleh sebab itu belum dapat digunakan sebagai air bersih. Karena kandungan garam (Salinitas) dan padatan terlarut (TDS) dalam air payau masih terlalu tinggi sehingga tidak sesuai dengan spesifikasi membran *hollow fiber*. Selain itu tekanan yang terlalu rendah menyebabkan membran bekerja tidak maksimal untuk mengolah air payau menjadi air bersih.
2. Kemampuan membran *reverse osmosis* jenis *hollow fiber* dalam mengoptimalkan penyisihan kadar salinitas (Cl) dan TDS (*Total Dissolved Solid*) dalam air payau

dengan menggunakan tekanan rendah belum mampu menurunkan kadar salinitas (Cl) dan padatan terlarut (TDS) dengan optimal. Membran *reverse osmosis* jenis *hollow fiber* hanya mampu menurunkan kadar salinitas (Cl) dalam air payau sebesar 57,89 % dengan penurunan kadar awal Cl dari 990 mg/l menjadi 416,89 mg/l dan padatan terlarut (TDS) sebesar 58,59 % dengan penurunan kadar awal TDS dari 2970 mg/l menjadi 1230 mg/l. Penurunan TDS dan Cl ini terjadi pada tekanan 3,5 bar dan laju alir sebesar 500 ml/menit. Hal ini menunjukkan bahwa kadar salinitas (Cl) dan padatan terlarut (TDS) pada air payau belum memenuhi baku mutu air bersih.

DAFTAR NOTASI

- Q_f = Debit air pada aliran masuk (ml/menit)
 C_f = Konsentrasi zat terlarut pada aliran masuk (mg/l)
 Q_p = Debit air keluar (ml/menit)
 C_p = Konsentrasi zat terlarut hasil olahan (*permeate*) (mg/l)
 Q_c = Debit air pembuangan (ml/menit)
 C_c = Konsentrasi zat terlarut pada aliran pembuangan (*retentate/concentrate*) (mg/l)
 Q_p = Debit air keluar (ml/menit)
 ΔP = Tekanan operasi pada membran (Bar)
 P_f = tekanan untuk aliran masuk (Bar)
 P_c = tekanan aliran pada zat terlarut (Bar)
 P_p = tekanan penyerapan aliran (Bar)
 C_{awal} = Konsentrasi Awal (mg/l)
 C_{akhir} = Konsentrasi Akhir (mg/l)

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts G, dan Santika Simestri Sri, 1984, "Metode Penelitian Air", Usaha Nasional. Surabaya – Indonesia.
- Andriani, Susi., 1998, "Transfer Massa NaCl Pada Telur Red Leghorn dengan Proses Perendaman: Skripsi", Program Sarjana Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Anonim, 1991, "Tata Cara Perencanaan Umum Irigasi Tambak Udang SNI 03-2402-1991 (SK SNI T-03-1990-F)".
- Anonim, 2007, "Salinitas", the free encyclopedia, Wikipedia Indonesia.
- Arfiantinosa, Nassa., dan Dwirianti, Dewi., 2004, "Pengaruh Trans Membrane Pressure dan Permeabilitas Pada Rejeksi Membran Ultrafiltrasi: Skripsi", Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Baker, R. W, 2004, "*Membrane Technology and Applications*", 2nd ed, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Bartha, Richard., and Atlas, Ronald., 1992, "*Microbial Ecology Fundamentals and Applications*", Third edition, New York.
- Eckenfelder, W Wesley, Jr, 2000, "*Industrial Water Pollution Control*", Third edition, Mc Graw-Hill, Inc, New York.
- Heitmann, Gunter – Hans, 1990, "*Saline water Processing*", VCH Publishers, New York.
- Ilham, Rachmannu., 2008, "Penurunan Kekeruhan pada Air Sungai Kebon Agung dengan Menggunakan Saringan Pasir Lambat Sebagai Air Bersih: Skripsi", Program Sarjana Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Maulana, Ardi, Tri, 2008, "Pemanfaatan Enceng Gondok Untuk Menurunkan Salinitas dan Kesadahan pada Air Payau: Skripsi", Program Sarjana Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Membrane, Matrix, 2005, "*Matrix Membranes *DB Hollow Fibers A Specialty Hollow Fiber Membrane Technology Developer and Manufacturer**".
- Metcalf and Eddy, 2004, "*Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse*", Fourth edition, McGraw-Hill, Inc. New York, St. Fransisco, Auckland.
- Misran, Erni, 2002, "Aplikasi Teknologi Berbasis Membran dalam Bidang Bioteknologi Kelautan: Pengendalian Pencemaran: Skripsi", [Fakultas Teknik](#) Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Novitasari, Dian, 2006, "Reduksi Total Disolved Solid dengan Penambahan Koagulan PAC pada Air Sumur UPN "Veteran" Jatim: Skripsi", Program Sarjana Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Permenkes No. 907/Menkes/SK/VII/2002 "Syarat-syarat dan pengawasan kualitas air bersih".

- Hartomo, J. A., dan Widiatmoko, M. C., 1994, "Teknologi Membran Pemurnian Air", Andi Offset, Yogyakarta.
- Herlina, Renny., 1999, "Uji Kemampuan Membran Reverse Osmosis Untuk Memperbaiki Kualitas Air Minum: Skripsi", Program Sarjana, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
- Sutrisno, Totok., 2004, "Teknologi Penyediaan Air Bersih", Rineka Cipta, Jakarta.
- Soedjono, Eddy., 2002, "Diktat Kuliah : Pengelolaan Penyediaan Air Bersih", Program Sarjana dan Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Wenten, I.G., dan Adityawarman, D., 1999, "Prospek Pemanfaatan Teknologi Membran dalam Bidang Bioteknologi Kelautan", Bandung.
- Yohan., dan Winduwati, 2000, "Karakteristik Osmosis Balik Membran Spiral Wound", Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif.