

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Pengendalian *Fouling* Pada Membran *Reverse Osmosis* Toray TM710 Dengan Modul *Spiral Wound* Sebagai Pengolah Air Laut” menjelaskan prinsip kerja pada membran *reverse osmosis* dalam melakukan filtrasi pada air baku dari air laut serta mengatasi masalah pada saat membran *reverse osmosis* terjadi *fouling* atau kerak dengan memanfaatkan larutan kimia. Berikut adalah beberapa referensi yang berkaitan dengan judul penelitian yaitu sebagai berikut :

Penelitian yang berbentuk jurnal yang ditulis oleh Siti Alimah, Sudi Ariyanto, Erlan Dewita yang berjudul “Pembersihan Kimiawi *Fouling* Membran Desalinasi RO” ditulis pada tahun 2014 berisi bahwa masing – masing jenis *foulant* membutuhkan senyawa kimia tertentu. Pada umumnya asam sitrat, klorida, fosfat, sulfat dan nitrat sering digunakan untuk membersihkan endapan garam dan kerak. Sedangkan senyawa alkali digunakan untuk membersihkan endapan organik dan koloid. Alkali merupakan larutan kimia dengan kemampuan pembersihan yang sedang, tetapi apabila dikombinasikan dengan chelating agent dan surfaktan akan mempengaruhi efisiensi pembersihan menjadi lebih baik. Larutan alkali membersihkan endapan organik pada membran dengan hidrolisis dan pelarutan, meningkatkan muatan negatif, meningkatkan pH larutan dan

kelarutan endapan organik. Sedangkan surfaktan bekerja melarutkan makromolekul dengan membentuk *micelle* dan membersihkan kerak dari permukaan membran.

Penelitian yang berbentuk jurnal yang ditulis oleh Dyah Sulistyani yang berjudul “Studi Tentang Bahan Penyebab *Fouling* Dan Cara Pemisahannya Pada Cellulosa Acetate Blend Membran RO” ditulis pada tahun 2005 mengatakan bahwa salah satu kendala utama untuk mendapatkan hasil yang optimal dari sistem pemisahan dengan membran adalah *fouling* pada membran. Pada umumnya, secara garis besar ada 4 tipe penyebab terjadinya *fouling*, yaitu : zat padat yang tidak terlarut, zat padat yang tersuspensi, zat organik non – biologi, dan organisme biologi. Zat padat yang tidak terlarut adalah zat inorganik dan material pembentuk gel, seperti kalsium, barium dan silika, yang ada pada larutan umpan dalam jumlah kecil. Selain itu dapat juga terbentuk dari pengendapan garam-garam kation dan anion seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat, barium sulfat dan stronsium sulfat. Zat padat yang terbentuk kemudian akan menempel pada permukaan membran. Sedang yang termasuk dalam zat padat yang tersuspensi adalah bentuk-bentuk koloid dari oksida logam, seperti besi, aluminium dan silika. Zat padat yang tersuspensi (koloid dan partikulat) akan menggumpal pada permukaan membran.

Dari literature yang sudah ada, telah banyak pembahasan mengenai membran khususnya membran *reverse osmosis*, tetapi dari literature yang sudah ada belum terdapat pembahasan mengenai analisis membran *reverse*

osmosis secara rinci. Untuk itu penulis melakukan penelitian perihal “Analisis Pengendalian *Fouling* Pada Membran *Reverse Osmosis* Toray TM710 Dengan Modul *Spiral Wound* Sebagai Pengolah Air Laut “.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Teknologi Membran

Membran merupakan penahan selektif atau memiliki daya pilih antara dua fasa, yaitu homogen dan heterogen yang memiliki ukuran yang berbeda. Membran bekerja memisahkan partikel berdasarkan ukuran serta bentuk molekul, menahan partikel yang memiliki ukuran dan bentuk lebih besar dari pori – pori membran dan melewatkan cairan yang mempunyai ukuran dan bentuk lebih kecil dari pori – pori membran. Filtrasi atau penyaringan yang menggunakan membran selain berfungsi sebagai pemisah selektif juga berfungsi sebagai pemurnian larutan yang melewati membran. Pemisahan pada membran dapat dilakukan pada temperatur kamar untuk menghindari kerusakan unsur – unsur sensitif terhadap panas sehingga kualitas membran terjaga. Kinerja yang tinggi serta desain yang solid membuat sistem filtrasi menggunakan membran menjadi lebih efisien dan efektif. (Pabby *et al*, 2009)

Singkatnya, *Reverse osmosis* (RO) adalah teknologi penjernihan air yang menggunakan membran semipermeabel untuk menyeleksi partikel yang lebih besar dari air minum. Tekanan digunakan untuk mengatasi tekanan osmotik dan properti koligatif yang didorong oleh potensi kimia,

reverse osmosis dapat menghilangkan banyak jenis ion dan molekul dari air, termasuk bakteri yang digunakan dalam proses produksi air minum dan industri. Pada prinsipnya zat terlarut ditahan pada sisi bertekanan membran dan melewatkan air bersih lolos ke sisi *permeate*. Untuk menjadi “selektif”, membran *reverse osmosis* tidak melewatkan molekul atau ion yang lebih besar dari ukuran pori – pori membran, tetapi harus memungkinkan komponen yang lebih kecil dari solusi (seperti pelarut) untuk lewat. *Reverse osmosis* yang paling umum digunakan untuk pemurnian air laut, air payau, dan menghilangkan logam berat serta bahan limbah lainnya dari molekul air . (Pabby *et al*, 2009)

Proses osmosis melalui membran semipermeabel pertama kali diteliti oleh Jean-Antoine Nollet pada tahun 1748. Pada 200 tahun berikutnya, proses osmosis hanya diteliti di laboratorium dan pada tahun 1949, University of California di Los Angeles pertama kali menganalisa penjernihan air laut atau desalinasi dengan menggunakan membran semipermeabel.

Pada pertengahan tahun 1950-an, para peneliti dari University of Florida dan University of California berhasil menghasilkan air tawar dari air laut, tetapi fluks atau volume yang dihasilkan terlalu rendah untuk menjadi komersial.

Penelitian yang dilakukan di University of California Los Angeles oleh Sidney Loeb dan Srinivasa Sourirajan di Dewan Riset Nasional

Kanada, Ottawa, teknik untuk membuat membran asimetris dengan efektif tipis “kulit” lapisan dibuat di atas wilayah substrat yang sangat berpori dan lebih tebal dari membran.

Penelitian John Cadotte dari Filmtec Corporation mengemukakan bahwa membran dengan nilai fluks yang sangat tinggi dan bagian rendah garam bisa dibuat dengan polimerisasi antar muka dari trimesoyl klorida dan m-fenilena diamina. Paten Cadotte pada proses ini adalah subjek litigasi. Sejak kadaluwarsa, hampir semua produksi membran *reverse osmosis* komersial dibuat dengan metode ini.

Pada tahun 1977 Cape Coral, Florida menjadi kotamadya pertama di Amerika Serikat yang menggunakan sistem *reverse osmosis* pada skala besar dengan kapasitas operasi awal 3 juta galon per hari. Pada tahun 1985, karena pertumbuhannya yang cepat dalam populasi kota, Cape Coral memiliki kapasitas terbesar pabrik *reverse osmosis* di dunia, mampu menghasilkan 15 juta galon / hari (MGD). (Koltuniewicz, 2005)

2.2.2 Klasifikasi Membran

Pengelompokan membran dapat diklasifikasikan berdasarkan material membran, morfologi, bentuk, fungsi dan ada tidaknya pori (Mulder, 1996).

1. Material Membran

- a. Membran alam merupakan membran yang berasal dari jaringan tubuh makhluk hidup dimana berfungsi melindungi sel dari pengaruh lingkungan serta membantu proses metabolisme dengan sifat permeabilitas yang dimilikinya.
- b. Membran sintetik adalah membran yang dibuat dengan reaksi kimia dan digunakan sesuai dengan kebutuhan manusia.

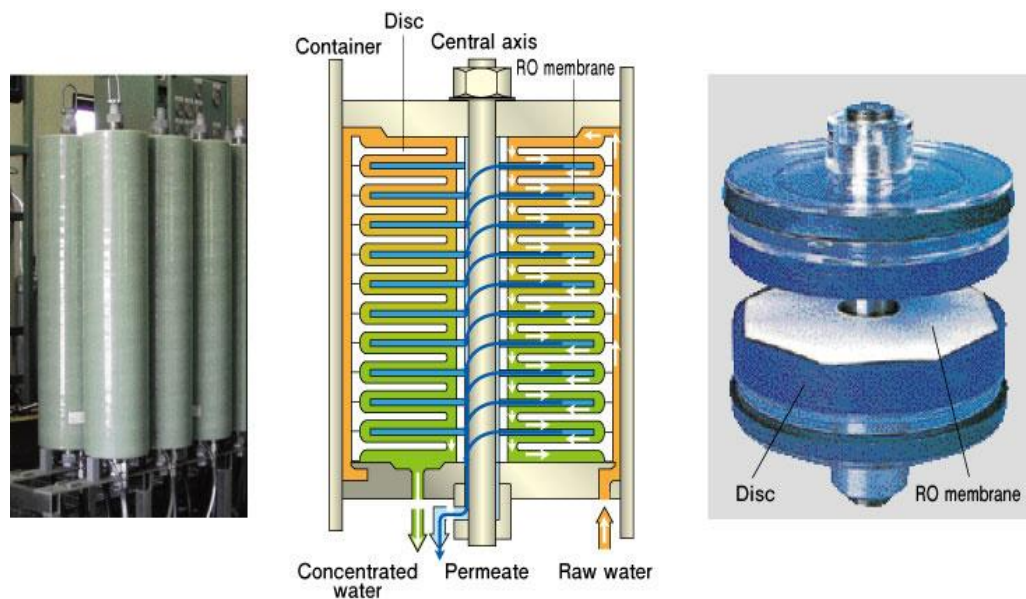
2. Morfologi Membran

- a. Membran simetris merupakan membran yang memiliki ukuran pori dan struktur yang seragam. Membran simetris memiliki dua jenis ukuran, yaitu membran berpori dan membran rapat.
- b. Membran asimetris merupakan membran yang memiliki ukuran pori dan struktur tidak seragam. Lapisan atas membran memiliki pori berukuran kecil dan rapat sedangkan lapisan bawah membran mempunyai pori yang berukuran besar. Pada membran asimetris ketahanan terhadap transfer massa ditentukan oleh lapisan atas yang tipis.

3. Bentuk Membran

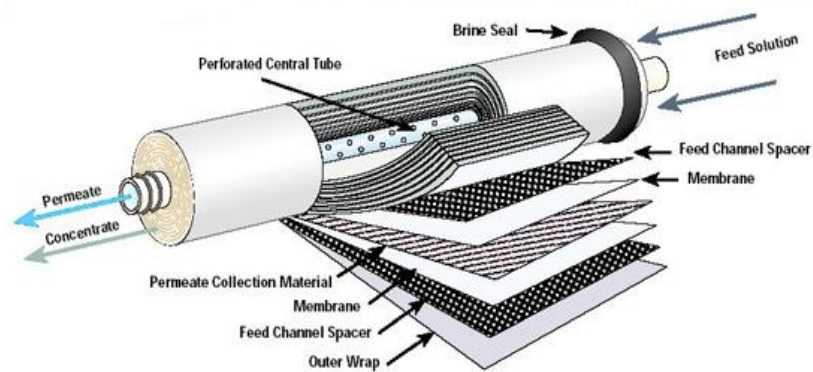
- a. Bentuk datar pada membran yaitu mempunyai karakteristik bentuk melebar dengan penampang lintang yang besar. Ada dua macam membran bentuk datar yang umum digunakan, yaitu membran yang mirip dengan alat filtrasi yang disebut bentuk *plate and frame* dan *spiral wound*.

- b. Bentuk tubular pada membran terdiri dari membran serat berongga dengan diameter lebih kecil dari 0,5 mm, membran kapiler dengan diameter 0,5 – 5 mm dan membran *hallow fiber* dengan diameter lebih tebal yaitu lebih dari 5 mm.



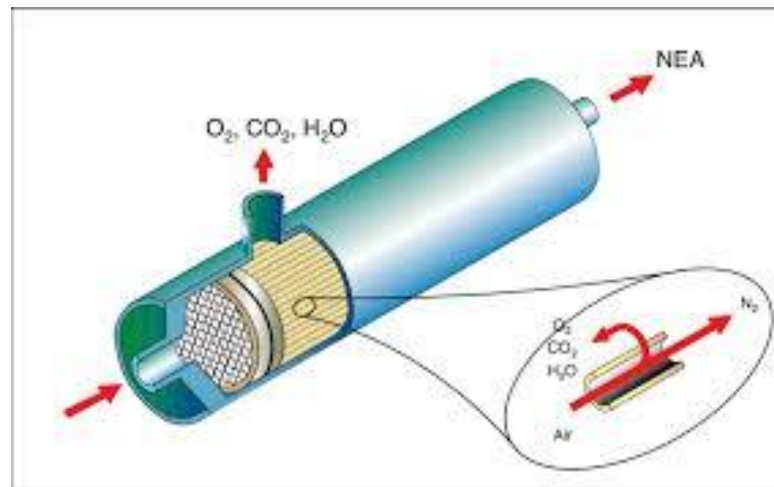
Gambar 2.1 Membran modul *plate and frame*

Sumber : www.cobelco-eco.co



Gambar 2.2 Membran modul *spiral wound*

Sumber : Agnur, 2009



Gambar 2.3 Membran Modul *hallow fiber*

Sumber : Agnur, 2009

4. Fungsi Membran

Berdasarkan fungsi, membran terbagi atas teknik penyaringan mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), dan *reverse osmosis* (RO).

a. Mikrofiltrasi (MF)

Mikofiltrasi merupakan membran yang mengacu pada proses filtrasi menggunakan membran berpori untuk memisahkan partikel tersuspensi dengan diameter antara 0,1 dan 10 μm . Membran mikrofiltrasi (MF) berasal dari kata “mikro” yang artinya kecil dan “filtrasi” yang artinya pemisahan, sehingga membran mikrofiltrasi dapat menyisahkan mikroorganisme seperti bakteri didalam air. Membran mikrofiltrasi dapat menyaring zat terlarut didalam air mampu bekerja pada tekanan

< 2 bar. Membran ini dapat memisahkan partikel – partikel kecil seperti mikroorganisme (sel, bakteri dan virus) tetapi untuk senyawa makromolekul (protein, karbohidrat, lemak), gula dan garam masih mampu melewati membran mikrofiltrasi. (Mulder, 1996)

b. Ultrafiltrasi (UF)

Ultrafiltrasi merupakan salah satu sistem dari filtrasi membran dimana tekanan hidrostatik memaksa cairan melewati membran semipermeable. Padatan tersuspensi serta pelarut dengan berat partikel yang tinggi akan tertahan, sedangkan air dan pelarut dengan berat partikel yang rendah bebas melewati membran. Membran ultrafiltrasi (UF) memiliki kemampuan pemisah yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan mikrofiltrasi. Istilah “ultra” yang berarti teramat sangat. Membran ultrafiltrasi dapat menyaring padatan terlarut dengan ukuran pori 0,1 – 0,01 μm dan mampu bekerja pada tekanan 1 – 10 bar, dimana semua mikroorganisme serta makromolekul (protein, karbohidrat, lemak) serta gula dapat dipisahkan melalui membran ultrafiltrasi, tetapi senyawa garam masih mampu untuk melewati membran ultrafiltrasi. Secara prinsipnya, ultrafiltrasi sama dengan mikrofiltrasi dimana terdapat 2 proses mekanisme : *dead – end* dan *cross flow*. Perbedaan utamanya adalah ukuran pori membran yang

menunjukkan bahwa membran ultrafiltrasi lebih baik dari membran mikrofiltrasi. (Mulder, 1996)

c. Nanofiltrasi (NF)

Nanofiltrasi merupakan proses filtrasi membran yang relatif baru yang seringkali digunakan dengan air dengan jumlah total padatan terlarut yang sedikit seperti air permukaan dan air tanah, dengan tujuan untuk softening (penyisihan kation polovalen) dan penyisihan produk samping desinfektan seperti zat organik alam dan sintetik. Membran nanofiltrasi (NF) berasal dari kata “nano” yang artinya mampu menyaring zat terlarut dengan ukuran pori 0,01 – 0,001 μm yang beroperasi pada tekanan 10 – 25 bar. Membran nanofiltrasi mampu memisahkan semua mikroorganisme, senyawa makromolekul, dan dapat menahan ion divalent seperti ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion magnesium (Mg^{2+}) akan tetapi mampu melewatkan ion monovalent seperti ion natrium (Na^+), ion kalium (K^+) dan senyawa garam. Untuk senyawa organik dengan berat molekul 200 – 300 gram dapat di pisahkan secara sempurna seperti sukrosa (gula pasir). Penggunaan filtrasi meliputi demineralisasi, penghilang warna dan *desalting*. (Mulder, 1996).

d. *Reverse Osmosis* (RO)

Reverse osmosis merupakan sebuah metode filtrasi yang mampu menyisihkan banyak jenis ion besar dan molekul dari larutan dengan memberikan tekanan pada larutan yang berada pada salah satu sisi membran selektif. Membran *reverse osmosis* (RO) merupakan membran yang mampu memfilter mulai dari mikroorganisme, makromolekul, sukrosa, garam hingga ion monovalent yang terkandung didalam air. Dengan ukuran pori $< 0,001 \mu\text{m}$ dan beroperasi pada tekanan 15 – 25 bar untuk air payau dan 40 – 80 bar untuk air laut tergantung dari komponen zat terlarut di dalam air, dengan demikian teknologi membran *reverse osmosis* sedikit berbeda dengan teknologi filtrasi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan nanofiltrasi karena gaya dorong bukan hanya dipengaruhi oleh tekanan tetapi konsentrasi zat terlarut melalui proses difusi. Teknologi ini banyak digunakan untuk proses pemurnian air siap konsumsi dari air laut, penghilang garam dan material terlarut lainnya di dalam air. (Mulder, 1996)

5. Berdasarkan Ukuran Pori Membran

a. Membran Berpori

Membran berpori biasa digunakan untuk jenis mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Untuk mikrofiltrasi, ukuran pori berkisar antara $0,1 - 10 \mu\text{m}$ sedangkan pada membran

ultrafiltrasi berkisar antara 2 – 100 nm. Pada prinsipnya filtrasi zat terlarut didasarkan pada perbedaan ukuran partikel. Selektifitas atau pemisahan akan semakin tinggi apabila ukuran zat terlarut atau ukuran partikel lebih besar dari ukuran pori membran. (Mulder, 1996)

b. Membran tak berpori

Membran ini biasa digunakan untuk memisahkan partikel dengan ukuran yang relatif sama. Pemisahan partikel terbentuk melalui perbedaan jenis kelarutan dan perbedaan difusitas. Sifat instrinsik dari material membran menentukan selektifitas serta permeabilitas. (Mulder, 1996)

Berdasarkan ukuran pori, membran dapat dibedakan menjadi dua, yaitu membran berpori dan tidak berpori (*dense*). Membran berpori dibedakan menjadi dua, yaitu membran dengan pori mikro (*microporous*) dan pori makro (*macroporous*). Sedangkan pada membran tidak berpori tidak terdapat pori baik berukuran mikro maupun makro. Mekanisme pemisahan partikel yang terjadi merupakan pemisahan berdasarkan mekanisme solusi – difusi, dimana larutan yang dipisahkan pertama kali akan larut dalam membran kemudian berdifusi melalui membran karena adanya tekanan yang dihasilkan dari pompa. Untuk mendapatkan permeabilitas yang besar pada membran tidak berpori, struktur atau lapisan membran dibuat setipis mungkin yang dikuatkan dengan lapisan cukup tebal sehingga membuat membran

tersebut dapat menahan tekanan yang sangat tinggi. Struktur membran tidak berpori atau asimetrik dapat memisahkan partikel terkecil sekalipun baik dalam bentuk cair maupun gas, sedangkan pada membran berpori ukuran molekul sangat menentukan karakteristik pemisahan. (Nasori, 2016)

Mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi menggunakan membran berpori sementara nanofiltrasi dan *reverse osmosis* menggunakan membran tidak berpori. Faktor utama dalam proses pemisahan pada membran berpori adalah ukuran pori, stabilitas kimia dan termal pada membran. Sedangkan pada membran tidak berpori pada umumnya menggunakan membran asimetrik dimana proses pemisahannya ditentukan oleh performa membran yaitu fluks dan selektifitas. (Nasori, 2016)

2.2.3 Definisi Membran *Reverse Osmosis*

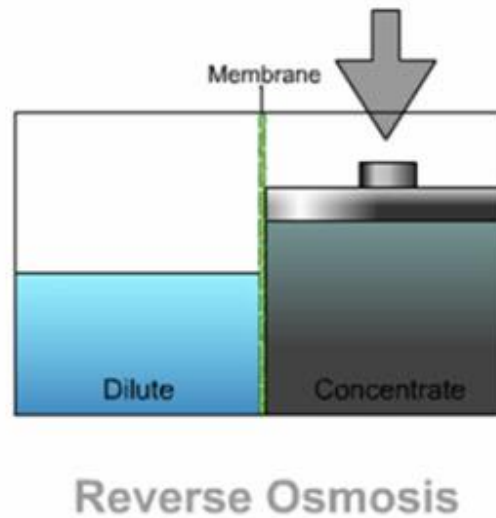
Membran dapat didefinisikan sebagai film tipis atau selaput yang bertindak sebagai pembatas selektif antara dua fasa atau lebih dikarenakan sifat semipermeable yang dimilikinya (Wenten, 2002)

Reverse osmosis adalah suatu teknologi dimana air masuk melalui membran semi permeable. Air yang memasuki membran disebut air umpan sedangkan air yang telah melewati filtrasi pada membran disebut air hasil pengolahan atau *permeate*. Air yang kembali disebut air yang ditolak atau *reject*. *Reverse osmosis* dapat meminimalisir komponen bakteri, organik, inorganik, dan partikulat yang terdapat di dalam air

yang tercemar. Agar proses filtrasi dapat berjalan, air yang akan difiltrasi dari larutan yang tidak dikehendaki diberi suatu tekanan melebihi tekanan osmotik sehingga air dapat melewati membran, tetapi kontaminan tidak dapat melewati dinding membran (tertahan). Hal ini akan menyebabkan air murni terkumpul disisi tengah membran. Air tersebut kemudian ditampung dan langsung dapat digunakan. (Byrne,1995).

Dapat diambil kesimpulan bahwa *reverse osmosis* adalah sebuah pemaksaan fluida dari daerah konsentrasi 'solute' tinggi melalui sebuah membran *reverse osmosis* menuju daerah dengan konsentrasi 'solute' rendah dengan memanfaatkan tekanan melebihi tekanan osmotik.

Pada dasarnya membran digunakan untuk menyeleksi air melewati lapisan padat dan mencegah bagian dari zat terlarut (ion garam) melewatinya. Pada proses ini tekanan yang tinggi sangat dibutuhkan pada sisi konsentrasi tinggi membran, biasanya 15 – 25 bar untuk air tawar dan payau dan 40 – 80 bar untuk air laut. Proses ini terkenal karena pemanfaatannya dalam menghilangkan garam dan mineral pada air laut untuk menghasilkan air tawar. Pada proses filtrasi *reverse osmosis*, fenomena ini memberikan tekanan pada larutan yang padat (air tercemar) melalui membran sehingga menghasilkan air bersih dan bebas dari polutan. (Mulder, 1996)



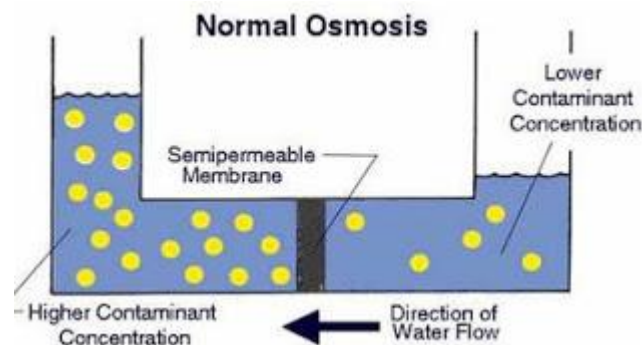
Gambar 2.4 Proses *Reverse Osmosis*

Sumber : Santoso, 2009

2.2.4 Prinsip Kerja Membran *Reverse Osmosis*

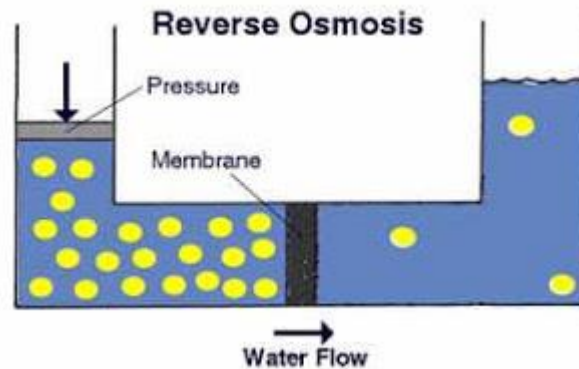
Sebuah membran *reverse osmosis*, seperti halnya membran yang tersusun dari dinding – dinding sel atau susunan sel pada kantung kemih yang bersifat selektif dan memiliki daya pilih terhadap cairan yang akan melewatinya. Pada dasarnya membran sangat mudah dilalui oleh air karena ukuran molekulnya yang kecil tapi juga mencegah zat terlarut seperti ion garam yang mencoba untuk melewatinya. Untuk penelitian, air dipisahkan pada kedua sisi membran, dimana air disalah satu sisinya mempunyai tingkat perbedaan konsentrasi mineral – mineral terlarut, karena air memiliki sifat difusi dimana air akan berpindah dari larutan berkonsentrasi rendah menuju larutan berkonsentrasi tinggi, maka air akan berpindah melalui membran dari sisi konsentrasi rendah ke sisi

konsentrasi yang lebih tinggi. Sehingga, tekanan osmotik yang dihasilkan pompa akan melawan proses difusi dan akan terbentuk kesetimbangan. (Santoso, 2009)



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Normal Osmosis
Sumber : (Santoso, 2009)

Proses *reverse osmosis* mengalirkan air yang mempunyai konsentrasi kontaminan tinggi (air baku) menuju air yang mempunyai kontaminan rendah. Dengan adanya tekanan yang terjadi pada sisi air baku sehingga menciptakan proses yang berlawanan (*reverse*) dari proses alamiah osmosis. Dengan menggunakan membran semi-permeable maka cairan akan diseleksi sehingga hanya molekul air saja yang akan melewatinya dan menahan bermacam – macam kontaminan zat terlarut (ion garam). Proses yang spesifik terjadi dimana sejumlah molekul yang ada pada permukaan membran merupakan pembatas sehingga hanya molekul air saja yang bisa melewatinya seiring dengan melepas substansi – substansi lain. (Santoso, 2009)

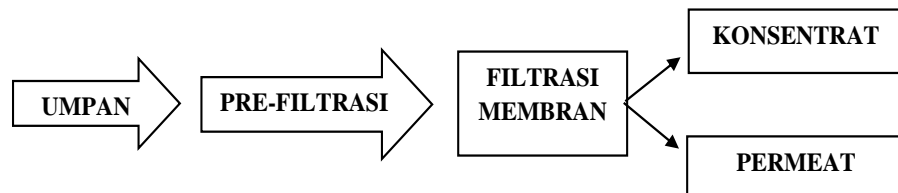


Gambar 2.6 Prinsip Kerja *Reverse Osmosis*
 Sumber : (Santoso, 2009)

Meskipun membran *reverse osmosis* ini mempunyai kemampuan memurnikan air baku, sebuah filtrasi *reverse osmosis* harus dibersihkan secara berkala untuk mencegah terbentuknya kerak (*fouling*) di permukaan membran yang akan mengakibatkan membran tersumbat. Proses filtrasi dengan sistem *reverse osmosis* memerlukan karbon aktif atau arang sebagai penyaringan awal (*pre-filtrasi*) untuk mengurangi kandungan klorin yang akan mengakibatkan lapisan membran rusak dan menggunakan filter sedimen untuk menyaring material – material terlarut dari air baku sehingga tidak menyumbat pada membran. Mereduksi kesadahan melalui proses *water softening* atau *chemical softening* juga diperlukan untuk daerah yang memiliki air baku yang sadah. (Santoso, 2009)

Pada sistem pengolahan air, fase pada membran bisa berupa fase cair atau fase gas. Zat campuran dalam fase tersebut bisa berupa homogen atau heterogen baik itu berupa padatan, cairan atau gas. Proses

seleksi dengan teknologi membran dapat terjadi karena membran mempunyai sifat selektifitas yang tinggi sehingga mampu memisahkan suatu partikel dari campurannya. Untuk lebih jelasnya bagaimana alur proses pemisahan dengan teknologi membran dapat diamati pada gambar berikut :



Gambar 2.7 Tahap – Tahap Filtrasi Membran *Reverse Osmosis*

Air umpan merupakan air yang mempunyai kontaminan sangat tinggi. Air umpan yang berasal dari air laut mengandung TDS sekitar 35.000 ppm sehingga harus dilakukan pre-filtrasi sebelum masuk ke membran *reverse osmosis* karena ada nilai maksimal molekul garam yang masuk ke membran untuk memperlambat terjadinya *fouling* dan memperpanjang umur penggunaan membran. Konsentrat merupakan larutan dengan komponen yang tertahan dan permeate merupakan air hasil dari filtrasi yang mempunyai TDS rendah dan layak untuk dikonsumsi manusia.

2.2.5 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Membran *Reverse Osmosis*

Membran *reverse osmosis* atau osmosis balik bersifat selektif atau mempunyai daya pilih yang tinggi sehingga kualitas air yang dihasilkan sesuai dengan standar kelayakan untuk dikonsumsi. Dalam proses filtrasi dengan menggunakan membran *reverse osmosis*, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja membran yang berpengaruh terhadap nilai fluks dan rejeksi. Faktor – faktor tersebut antara lain : tekanan, temperature, kecepatan aliran atau *cross flow*, konsentrasi larutan dan pengolahan awal (pre-filtrasi).

1. Tekanan

Tekanan akan mempengaruhi laju alir bahan pelarut yang melalui membran. Laju alir meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan serta mutu air olahan (*permeate*) juga semakin meningkat. Tekanan memegang peranan penting bagi laju *permeate* yang terjadi pada proses filtrasi. Semakin tinggi tekanan suatu membran, maka semakin besar pula fluks yang dihasilkan. Pengaturan tekanan bertujuan untuk mengoptimalkan air olahan sehingga tidak terjadi penurunan fluks. Tekanan berfungsi sebagai *driving force* untuk melawan gradien konsentrasi. Pada kondisi ideal, fluks akan berbanding lurus dengan tekanan pada saat kondisi tekanan rendah, konsentrasi umpan rendah, dan laju air umpan yang tinggi. Jika proses tidak sesuai dengan kondisi tersebut, fluks menjadi tidak bergantung pada tekanan yang dihasilkan. (Heitmann, 1990)

2. Temperatur

Secara umum temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan nilai fluks yang lebih tinggi pula, karena apabila temperatur yang dihasilkan tinggi akan berlaku asumsi bahwa tidak terjadi pengaruh tertentu secara simultan, seperti *fouling* pada membran akibat dari pengendapan garam tak terlarut pada temperatur yang tinggi. Pada *pressure control region*, temperature berpengaruh karena tingkat densitas dan viskositas. Energi aktivasi baik untuk fluks dan viskositas pada 20 – 50 °C berkisar antara 3.400 kalori/mol, dengan kata lain fluks akan meningkat dua kali lipat setiap kenaikan suhu 30 – 40 °C. Penggunaan membran pada temperatur yang tinggi akan meningkatkan nilai fluks tetapi memperpendek umur membran. (Wanten, 1999)

3. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran atau *cross flow* sangat berpengaruh pada nilai fluks yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan aliran akan mengurangi akumulasi partikel pada permukaan membran. Aliran umpan sejajar terhadap permukaan membran akan menggerakkan padatan terakumulasi di atas permukaan membran sehingga mengurangi ketebalan pada lapisan batas dan semakin tinggi kecepatan *cross flow* maka semakin banyak partikel yang dapat digerakkan. Peningkatan laju aliran atau turbulensi merupakan salah

satu metode untuk mengendalikan polarisasi konsentrasi yang paling sederhana dan efektif (Wenten, 1999).

4. Konsentrasi Larutan

Konsentrasi merupakan faktor penting dalam proses filtrasi, konsentrasi zat terlarut yang tinggi akan menyebabkan penurunan nilai fluks. Konsentrasi yang tinggi juga akan menyebabkan membran cepat tersumbat karena untuk proses filtrasi menggunakan membran ada nilai maksimum konsentrasi suatu larutan sebelum di proses oleh membran, hal ini dilakukan untuk menjaga performa membran pada nilai yang optimal. Air umpan yang berasal dari air laut mempunyai konsentrasi yang masih sangat tinggi yaitu sekitar 35.000 ppm sehingga perlu dilakukan pre-filtrasi terlebih dahulu sebelum di proses membran. (Mahmud, 2005)

5. Pengolahan Awal (Pre-filtrasi)

Pre-filtrasi merupakan proses pembersihan awal agar membran tidak cepat rusak dan dapat bertahan lebih lama. Selain itu pre-treatment juga bekerja agar *foulant* yang tidak diinginkan dimana ukuran molekulnya lebih besar dari pori membran tidak masuk kedalam membran. Proses ini sangat penting dilakukan pada penyaringan membran *reverse osmosis* dalam menurunkan nilai TDS yang terkandung di air laut dan meminimalkan nilai *fouling* sehingga membran bisa bekerja secara optimal. Pengolahan air menggunakan teknologi *reverse osmosis* memiliki tingkat konsumsi energi yang

lebih rendah dari sistem penyulingan panas sehingga mampu membantu mengurangi biaya operasional. *Pre-treatment* dapat mencakup penyaringan media untuk menghilangkan unsur partikel, pertukaran ion dengan perlahan, atau menghilangkan *anti-scalant*. Temperatur dan pH disesuaikan untuk merendahkan daya larut terhadap bahan kimia. Dengan proses demikian pencegahan *fouling* dengan mengaktifasi karbon aktif atau sodium bisulfit untuk menghilangkan kandungan klorida, pada penyaringan mikro dapat menghancurkan beberapa partikel atau unsur dan membuang padatnya. (Ananto, 2013)

Penggunaan batu zeolite pada proses pre-filtrasi sangat diperlukan karena bisa menurunkan kadar garam dan bakteri e-coli secara signifikan karena kemampuan *adsorb* yang sangat baik. zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Secara umum, zeolit memiliki molekular struktur yang unik, di mana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom silicon digantikan dengan atom aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom oksigen. Atom aluminium ini hanya memiliki muatan 3+, sedangkan silicon sendiri memiliki muatan 4+. Keberadaan atom aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan

negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation. (Normalita, 2016)

zeolit juga sering disebut sebagai ‘molecular sieve’ / ‘molecular mesh’ (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu. (Normalita, 2016)

zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembap. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air. zeolit dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin. (Normalita, 2016)

2.3 Pengendalian *Fouling* pada membran *reverse osmosis*

2.3.1 Definisi *Fouling*

Membran RO atau membran *reverse osmosis* merupakan sebuah media pengolahan air yang kini banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih yang memanfaatkan air laut sebagai air baku. Kemampuannya untuk menurunkan TDS (*Total Dissolved Solids*) sudah

tidak diragukan lagi. Tetapi karena kurangnya pengetahuan akan membran *reverse osmosis* banyak yang belum tahu bagaimana pengendalian *fouling* dan membersihkannya.

Kinerja suatu membran ditentukan oleh dua faktor, yaitu fluks dan selektifitas. Fluks volume adalah jumlah volume *permeat* yang diperoleh dalam waktu tertentu dan satuan luas permukaan membran. Permeabilitas akan menentukan nilai fluks yang merupakan volume *permeat* melewati satuan luas permukaan membran per satuan waktu. (Mulder, 1996)

$$Jv = \frac{V}{A \times t}$$

Keterangan :

Jv = fluks volume (L/m². Jam)

V = Volume *permeat* (L)

A = luas permukaan (m²)

t = Waktu (Jam)

Beberapa satuan standar internasional yang digunakan untuk menyatakan nilai fluks antara lain : L/m² jam dan L/m² hari. Sebelum dilakukan pengujian nilai fluks, terlebih dahulu dilakukan kompaksi terhadap membran yang akan diuji, kompaksi didapatkan dengan mengalirkan air melewati membran hingga volume *permeat* yang

dihasilkan konstan sehingga nilai fluks yang diperoleh lebih presisi. Penurunan fluks *permeate* akan terjadi karena adanya deformasi mekanik pada matriks membran akibat adanya tekanan yang diberikan. Proses deformasi akan mengakibatkan pepadatan pori pada membran sehingga nilai fluks yang dihasilkan menurun. (Mulder 1996)

Menurut Mulder (1995), *Fouling* dapat didefinisikan sebagai pengendapan ireversibel partikel, koloid, makromolekul, garam, dan lain – lain yang tertahan pada permukaan membran atau di dalam dinding pori membran, yang menyebabkan penurunan fluks yang berkelanjutan. *Fouling* pada membran dapat menurunkan nilai laju air yang dihasilkan, adanya *fouling* juga akan merusak membran karena membran akan sering dicuci. Proses pembentukan *fouling* pada membran tidak dapat dicegah namun bisa diperlambat dengan proses perlakuan awal umpan (pre-filtrasi) dan meningkatkan fluks pada membran. Untuk menghilangkan *fouling* pada membran umumnya menggunakan bahan kimia dengan proses asam atau basa sehingga membran kembali ke nilai optimal dengan *permeate* yang diinginkan.

Masalah yang terjadi terjadi pada membran ini biasanya ditemui setelah membran *reverse osmosis* berjalan lebih dari setahun. Masalah ini biasanya dikarenakan membran sudah tertutupi dengan kotoran. Hasilnya air yang seharusnya masuk ke area *permeate* akhirnya ter-*reject*. Jika masalah ini terjadi dalam kurun waktu kurang dari setahun,

maka artinya ada yang salah pada sistem pre-filtrasi. Karena membran *reverse osmosis* sangat sensitif sehingga air yang masuk harus diperhatikan. Peristiwa *fouling* terjadi karena adanya polarisasi konsentrasi, kemudian diikuti dengan perpindahan padatan dari permukaan membran ke dalam material membran dan dilanjutkan oleh proses *adsorbs* padatan pada pori membran sehingga terjadi penyempitan dan penyumbatan pori.

2.3.2 Jenis-jenis *Fouling*

1. *Anorganic Fouling*

Fouling anorganik mengacu pada pembentukan *scaling*, yakni pengendapan mineral menjadi suatu endapan yang keras yang berasal dari senyawa umpan. Adapun contoh dari partikel koloid anorganik yang dapat menyebabkan endapan adalah silika, lumpur, tanah liat, produk korosi dan lain-lain. Adapun jenis *fouling* anorganik adalah CaCO_3 , CaSO_4 , kalsium fosfat, dan silikat. *Fouling* anorganik lainnya yang berpotensi muncul pada membran adalah BaSO_4 , SrSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , besi oksida dan aluminium oksida. (Nainggolan, 2015)

2. *Organic fouling*

Fouling organik adalah adsorpsi / pengendapan bahan organik terlarut dan koloid pada permukaan membran seperti protein, polisakarida dan asam karboksilat. *Fouling* organik pada umumnya

susah untuk dibersihkan dan umumnya dibersihkan dengan menggunakan bahan kimia. *Fouling* organik pada umumnya yang terjadi adalah *fouling* NOM. NOM merupakan zat humat dan umumnya jumlahnya melimpah pada perairan. (Nainggolan, 2015)

3. *Biological Fouling*

Fouling biologis atau biofouling adalah akumulasi dan pertumbuhan spesies biologis pada permukaan membran yang mempengaruhi permeabilitas membran yang menyebabkan hilangnya produktivitas dan masalah operasional lainnya. Mikroorganisme adalah penyebab utama biofouling. Temperatur kondisi pada membran mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan membran. Suhu yang diatur diatas suhu pertumbuhan mikroorganisme akan membatasi pertumbuhannya. (Nainggolan, 2015)

2.3.3. Mekanisme Terjadinya *Fouling*

1. Adsorpsi

Adsorpsi terjadi ketika diameter dari *foulant* lebih kecil dibandingkan besar pori pada membran. Ketika diameter lebih kecil maka, partikel *foulant* akan masuk ke dalam pori-pori membran. Adanya *foulant* tipe ini dapat menyebabkan terjadinya *fouling*. Adsorpsi juga terjadi jika terdapat gaya tarik-menarik antara *foulant* dan membran. (Nainggolan, 2015)

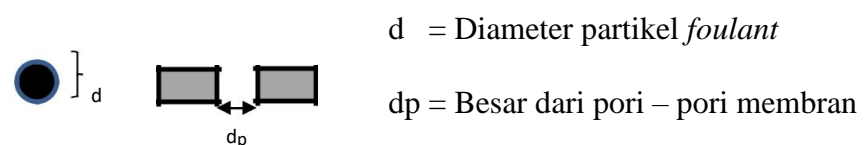
2. *Blockage*

Blockage terjadi ketika diameter dari *foulant* sama besarnya dengan besar dari pori-pori dari membran. Partikel dari *foulant* akan menutup secara total maupun menutup secara parsial pori-pori dari membran sehingga dapat menimbulkan *fouling*. (Nainggolan, 2015)

3. Deposisi

Deposisi terjadi ketika diameter dari *foulant* lebih besar dari pada besar dari pori-pori dari membran. Partikel dari *foulant* akan membentuk lapisan pada permukaan membran sehingga terjadi *fouling*. *Foulant* yang telah terdeposisi atau terjadinya pengkristalan pada permukaan membran dapat terus tumbuh membentuk lapisan *cake* yang menyebabkan penambahan tahanan hidrolis. (Nainggolan, 2015)

Untuk ketiga mekanisme terjadinya *fouling* pada membran, deposisi adalah mekanisme *fouling* yang paling cepat membentuk *fouling* dan membentuk *fouling* yang lebih besar lapisannya.



Gambar 2.8 simbol diameter *foulant* dan pori – pori membran



Gambar 2.9 Mekanisme *fouling* secara adsorpsi (I.G. Wenten Lecture Note)



Gambar 2.10 Mekanisme *fouling* secara *blockage* (I.G. Wenten Lecture Note)



Gambar 2.11 Mekanisme *fouling* secara deposisi (I.G.Wenten Lecture Note)

2.3.4. Faktor-faktor mempengaruhi *Fouling*

Proses filtrasi menggunakan teknologi membran *reverse osmosis* merupakan teknologi yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat, tetapi kurangnya pengetahuan tentang *fouling* yang terjadi pada membran sehingga umur pemakaian membran menjadi tidak maksimal, untuk itu pengguna harus mengetahui apa saja faktor yang menyebabkan *fouling*. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya *fouling* pada membran yaitu :

1. Temperatur

Temperatur adalah salah satu faktor dominan dalam terbentuknya *fouling* pada membran. Solubilitas dan pembentukan kristal sangat dipengaruhi oleh temperatur. Kristal yang terbentuk dapat menjadi *fouling* pada pori-pori membran. Pada umumnya pada umpan, temperatur akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Menurut penelitian yang telah dilakukan pada temperature diatas

60⁰C, kebanyakan organisme yang terdapat di lingkungan tidak akan tumbuh pada membran. Dapat disimpulkan bahwa temperatur yang lebih tinggi akan mengurangi kepadatan dan viskositas, meningkatkan difusivitas serta mengurangi pertumbuhan mikroba. (Nainggolan, 2015)

2. Gas terlarut pada air umpan.

Gas terlarut terdapat pada hampir setiap air umpan untuk membran. Adapun efek dari gas terlarut pada *fouling* sangat kecil dan tidak langsung. Gas terlarut menghalangi proses aliran permeal dan mengurangi besarnya konsentrasi. Ini terjadi dapat terjadi karena gas terlarut pada aliran umpan dapat mengalir pada pori membran. Adanya gas pada membran dapat menjadi penghalang terjadinya *fouling*. (Nainggolan, 2015)

3. Sumber air

Adanya *fouling* dan jenis *fouling* yang terjadi pada permukaan membran tergantung pada kandungan sumber air sebagai umpan masuk pada membran. Pada umumnya setiap sumber air yang tersedia memiliki karakteristik akan kondisi dan komponen yang terdapat pada sumber air. Sumber air yang umum digunakan adalah air dari danau, sungai, air tanah maupun air sisa pembuangan limbah industri. Komponen mineral paling umum ditemui pada air adalah kalsium karbonat dan sangat berpotensi untuk membentuk *fouling*. Untuk air

sungai dan danau, bertipikal mengandung kadar silika tinggi, special biologis dan suspense padat. Air laut mengandung kadar garam yang tinggi dan larutan garam juga dapat menyebabkan terbentuknya *fouling* pada permukaan membran. (Nainggolan, 2015)

2.3.5 Pembersihan *Fouling* Secara Kimia

Dalam pengoperasian secara *reverse osmosis*, akan terjadi *fouling* pada membran, dan *fouling* dapat menurunkan kinerja dan membahayakan membran. Namun dengan proses pengolahan awal, laju *fouling* dapat diminimalkan dan dilambatkan. Karena adanya pembentukan *fouling*, maka diperlukan proses pembersihan yang dapat menghilangkan deposit, mengembalikan karakteristik pemisahan dan mengembalikan kapasitas normal dari sistem. Pada umumnya pembersihan dilakukan apabila salah satu parameter berikut terjadi, yaitu laju alir permeat normal turun hingga $\geq 10\%$, konsentrasi garam yang lewat normal meningkat $\geq 10\%$ atau perbedaan tekanan (tekanan umpan dikurangi dengan tekanan konsentrat) normal meningkat $\geq 15\%$, setelah 48 jam operasi. Bila hal tersebut terjadi, membran harus dibersihkan untuk mengembalikan kinerja sistem. (Alimah, 2014)

Beberapa jenis metode pembersihan *fouling* pada membran instalasi desalinasi *reverse osmosis* adalah pembersihan hidraulik, pembersihan mekanik, pembersihan kimia dan pembersihan elektrik. Pembersihan hidraulik meliputi : *backward flushing* (mengubah tekanan

dan arah aliran pada frekuensi tertentu), air *flushing* yang menggunakan campuran air dan udara, *vibrating membrane* dan *forward flushing* (autoflush). Pada pembersihan mekanik yaitu dengan teknik *sponge ball cleaning*, sedangkan pembersihan kimia adalah metode pembersihan yang paling banyak digunakan untuk meminimalisasi kerak di hampir semua industri yang menggunakan membran. Pembersihan elektrik dilakukan dengan menambahkan elemen listrik pada membran sehingga partikel yang semula menempel pada membran akan berpindah ke elemen listrik tersebut. Metode ini dapat dilakukan tanpa menghentikan proses membran. Penggunaan metode pembersihan tergantung pada ketahanan membran, konfigurasi modul dan jenis *fouling*. Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, metode pembersihan kimia merupakan metode yang paling sesuai untuk pembersihan *fouling* membran desalinasi *reverse osmosis*, bila dibandingkan dengan metode pembersihan yang ada. Penentuan senyawa pembersih sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja membran. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari metode pembersihan kimiawi termasuk mengetahui jenis senyawa pembersih untuk jenis *fouling* yang berbeda. (Alimah, 2014)

Dalam operasi *reverse osmosis*, akan terjadi *fouling* pada membran, namun laju *fouling* dapat diminimalkan dan dilambatkan dengan proses pengolahan awal. Adanya pembentukan *fouling* pada membran dibutuhkan proses pembersihan kimiawi yang tepat secara periodik. Pada kasus pengolahan awal tidak sesuai standar, diperlukan

pembersihan kimia dengan frekuensi yang lebih sering. Proses pembersihan kimia tidak hanya efektif terhadap *foulant*, tetapi juga terhadap membran sehingga menjaga dan mengembalikan karakteristik membran, sehingga kinerja proses membran akan terjaga. Proses pembersihan dengan metode kimiawi disebut juga sebagai teknik untuk meregenerasi membran. (Alimah, 2014)

Pembersihan kimiawi bertujuan menghilangkan impuritas (*foulant*) dengan senyawa kimia. Dalam proses pembersihan kimiawi, gaya kohesi antar *foulant* dan gaya adhesi antara *foulant* dan permukaan membran akan diperlemah. Senyawa pembersih mengangkat *foulant*, melarutkan, mendispersi dan menghilangkannya dari permukaan, mencegah terbentuknya *fouling* baru dan tidak membahayakan permukaan membran, serta menjaga sifat-sifat membran. Oleh karena itu pembersihan akan mempengaruhi pori-pori permukaan menjadi lebih hidrofilik serta fluks membran akan meningkat. (Alimah, 2014)

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembersihan kimiawi, yaitu temperatur, pH, konsentrasi bahan kimia pembersih, waktu kontak antara larutan kimia dan membran, serta kondisi operasi seperti kecepatan aliran lawan arah dan tekanan. Pengaruh pH larutan pembersih terhadap efisiensi pembersihan untuk masing-masing jenis *foulant* berbeda-beda, karena tingkat pengaruh pH larutan terhadap reaksi kimia dan larutan pembersih juga berbeda. Untuk memperoleh efek pembersihan yang baik, kecepatan aliran lawan arah

harus lebih tinggi dan tekanan lebih rendah dari yang biasa digunakan selama operasi normal. Waktu kontak antara larutan kimia dan membran tergantung pada jenis dan tingkatan *fouling*. (Alimah, 2014)