

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

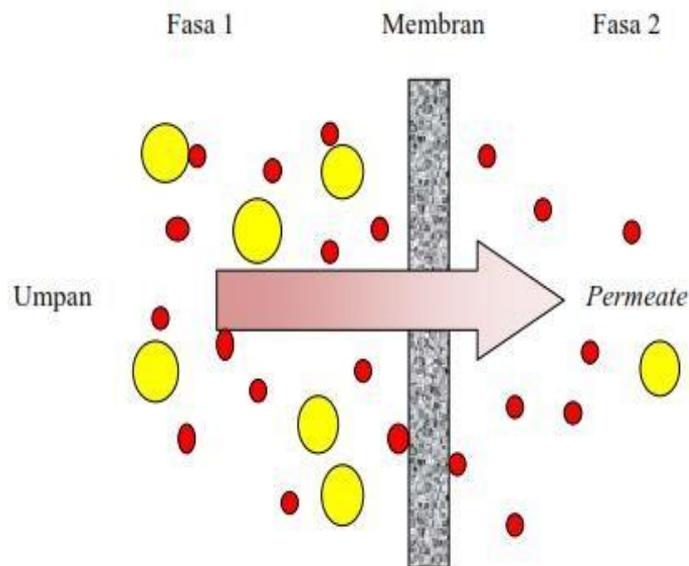
#### **2.1 Membran**

Polysulfon merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan dalam teknologi membran karena memiliki kestabilan kimia dan termal yang cukup baik (Cynthia,2002). Salah satu jenis polimer yang sering digunakan untuk membuat membran ultrafiltrasi adalah polysulfon (PSf). Membran yang terbuat dari PSf memiliki struktur yang kuat, stabil pada pH 1-13, serta karakteristik mekanik yang baik. Kekurangan utama dari membran PSf adalah sifat hidrofobiknya (J.-J. Qin,2002). Polysulfon bersifat hidrofobik karena mempunyai gugus aromatik pada struktur kimianya dan memiliki kelarutan yang rendah dalam larutan alifatik tetapi masih bisa larut dalam pelarut polar (Radiman dkk,2000.) Teknologi membran telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti dalam hal pengolahan minyak, air, terutama reverse osmosis (RO), nano-filtrasi (NF), mikrofiltrasi (MF) dan ultra- filtrasi (UF). Semua metode pemisahan membran ini adalah didasarkan pada membran berpori, dimana metode masing-masing dalam penggunaannya sesuai dengan karakteristik cairan atau air yang akan dipisahkan (Arifin,2014).

Membran merupakan penghalang yang bersifat selektif dan terletak di antara dua fasa yang dipisahkan. Jenis membran yang sangat banyak dengan karakteristik yang berbeda-beda membuat membran sulit didefinisikan secara tepat dan menyeluruh (Mulder,1996). Aplikasi membran telah merambah ke berbagai industri diantaranya industri logam (metal recovery, pengendalian polusi, pengayaan udara untuk pembakaran), industri makanan, bioteknologi (pemisahan, pemurnian, sterilisasi, perolehan produk samping), serta industri kulit dan tekstil (sensible heat recovery, pengendalian polusi, perolehan bahan-bahan kimia) (Wenten,2002).

Struktur membran dapat homogen dan heterogen dan dapat berukuran tebal atau tipis. Ketebalan dan struktur membran tersebut yang menyebabkan membran memiliki fungsi yang berbeda-beda dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan proses pemisahan (Mulder,1996). Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori, berbentuk film tipis, bersifat semipermeable yang berfungsi

untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dari pori membran akan lolos menembus pori membrane. Membran demikian biasa disebut sebagai membran semipermeable, artinya dapat menahan spesi tertentu, tetapi dapat melewatkan spesi yang lainnya. Fasa campuran yang akan dipisahkan disebut umpan (feed), hasil pemisahan disebut sebagai permeat.



(Sumber : Mulder, 1996)

Gambar 1. Skema pemisahan dengan membran

## 2.2 Teknologi Membran

Saat ini proses pemisahan konvensional seperti distilasi, kristalisasi, dan ekstraksi dilakukan menggunakan bantuan membran. Membran dipilih karena memiliki beberapa keuntungan, yaitu proses pemisahan dapat dilakukan secara kontinyu, konsumsi energi yang rendah, dapat dengan mudah digabungkan dengan proses pemisahan lain, kondisi operasi pemisahan (tekanan dan temperatur) lunak, mudah digunakan pada skala industri, karakteristik membran dapat ditentukan, serta tidak memerlukan tambahan zat lain (Anita,2013).

Proses membran adalah proses pemisahan pada tingkat molekuler atau partikel yang sangat kecil. Proses pemisahan dengan membran dimungkinkan karena membran mempunyai kemampuan memindahkan salah satu komponen lebih cepat daripada komponen lain berdasarkan perbedaan sifat fisik dan kimia

dari membran serta komponen yang dipisahkan. Perpindahan dapat terjadi oleh adanya gaya dorong (driving force) dalam umpan yang berupa beda tekanan ( $\Delta P$ ), beda konsentrasi ( $\Delta C$ ), beda potensial listrik ( $\Delta E$ ), dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) serta selektifitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi (R). Hasil pemisahan berupa permeat (bagian dari campuran yang melewati membran). (Mulder, 1996).

Teknologi membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses lain, antara lain:

1. Pemisahan dapat dilakukan secara kontinu;
2. Konsumsi energi umumnya relatif lebih rendah;
3. Proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*);
4. Pemisahan dapat dilakukan dalam kondisi yang mudah diciptakan;
5. Mudah dalam *scale up*; tidak perlu adanya bahan tambahan; dan
6. Material membran bervariasi sehingga pemakaiannya mudah diadaptasikan

Namun demikian, dalam pengoperasiannya, perlu juga diperhatikan hal-hal berikut :

- Penyumbatan/fouling.
- Umur membran yang singkat.
- Selektivitas yang rendah.

Fouling atau penyumbatan merupakan masalah yang sangat umum terjadi, yang terjadi akibat kontaminan yang menumpuk di dalam dan permukaan pori membran dalam waktu tertentu. Fouling tidak dapat dielakkan, walaupun membran sudah melalui proses pre-treatment. Jenis fouling yang terjadi sangat bergantung pada berbagai faktor, termasuk diantaranya kualitas umpan, jenis membran, bahan membran, dan perancangan serta pengendalian proses. Tiga jenis fouling yang sering terjadi pada membran adalah fouling akibat partikel, biofouling, dan scaling. Kontaminasi ini menyebabkan perlunya beban kerja lebih tinggi, untuk menjamin kapasitas membran yang berkesinambungan. Pada titik tertentu, beban kerja yang diterapkan akan menjadi terlalu

tinggi, sehingga proses tidak lagi ekonomis. Fouling dapat diminimalisasi dengan cara menaikkan pH sistem, menerapkan sistem backwash, serta penggunaan zat disinfektan untuk mencegah bakteri yang dapat menyerang membran. Sedangkan cara untuk menyingkirkan fouling adalah dengan flushing atau chemical cleaning.

7. Kekurangan teknologi membran antara lain fluks permeasi dan selektifitas membran pada umumnya terjadi fenomena bahwa fluks permeasi berbanding terbalik dengan selektifitas membran. Semakin tinggi fluks permeasi seringkali berakibat menurunnya selektifitas membran dan sebaliknya. Sedangkan hal yang diinginkan dalam proses berbasis membran adalah mempertinggi fluks permeasi dan selektifitas membran.

## **2.3 Klasifikasi Membran**

### **2.3.1 Berdasarkan Jenis**

Dilihat dari jenisnya membran dibagi menjadi 2, yakni:

#### **a. Membran non komposit**

Membran non komposit merupakan media berpori yang tersusun dari satu polimer yang memiliki karakteristik yang kurang baik, seperti selektifitas yang dimilikinya relatif rendah.

#### **b. Membran komposit**

Membran komposit merupakan membran asimetrik yang terdiri dari lapisan berpori rapat dan lapisan pendukung dengan material yang berbeda. Membran ini dapat memberikan suatu kinerja yang optimal terhadap selektifitas, laju permeasi dan kestabilan termal.

### **2.3.2 Berdasarkan Asalnya**

Membran berdasarkan asalnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Membran alamiah, yaitu membran yang terdapat di dalam sel makhluk hidup.

- b. Membran sintetis, yaitu membran buatan berdasarkan sifat sifat membran alamiah sehingga memiliki sifat dan proses pemisahan yang mirip dengan membran alamiah

### 2.3.3 Berdasarkan Morfologinya

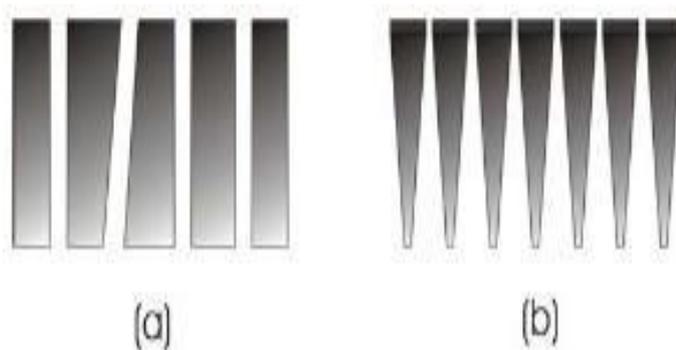
Dilihat dari morfologinya, membran dapat digolongkan dalam dua bagian yaitu :

- a. Membran Asimetrik

Membran asimetrik adalah membran yang terdiri dari lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya. Ukuran dan kerapatan pori untuk membran asimetris tidak sama, dimana ukuran pori dibagian kulit lebih kecil dibandingkan pada bagian pendukung. Ketebalan lapisan tipis antara 0,2-1,0 dan lapisan pendukung sublayer yang berpori dengan ukuran antara 50-150 .

- b. Membran Simetrik

Membran simetris adalah membran yang mempunyai ukuran dan kerapatan pori yang sama disemua bagian, tidak mempunyai lapisan kulit. Ketebalannya berkisar antara 10-200 . Membran ultrafiltrasi terdiri atas struktur asimetris dengan lapisan kulit yang rapat pada suatu permukaan. Struktur demikian mengakibatkan solut didalam umpan tertahan dipermukaan membran dan mencegah terjadinya pemblokiran didalam pori.



(Sumber : Wenten, 2000)

Gambar 2. Klasifikasi membran berdasarkan morfologi (a) simetri; (b) asimetri

### 2.3.4 Berdasarkan kerapatan pori

Membran digolongkan tiga kelompok, yaitu:

#### a. Membran berpori

Membran jenis ini memiliki ruang terbuka atau kosong, terdapat berbagai macam jenis pori dalam membran. Pemisahan menggunakan membran ini berdasarkan ukuran pori. Selektivitas ditentukan lewat hubungan antara ukuran pori dan ukuran partikel yang dipisahkan. Jenis membran ini biasanya digunakan untuk pemisahan mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Berdasarkan ukuran kerapatan pori, membran dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

- 1) Makropori : membran dengan ukuran pori  $> 50$  nm,
- 2) Mesopori : membran dengan ukuran pori antara  $2 - 50$  nm,
- 3) Mikropori : membran dengan ukuran pori  $< 2$  nm

#### b. Membran non-pori

Membran non-pori dapat digunakan untuk memisahkan molekul dengan ukuran yang sama baik, baik gas maupun cairan. Membran non-pori berupa lapisan tipis dengan ukuran pori kurang dari  $0,001 \mu\text{m}$  dan kerapatan pori rendah. Membran ini dapat memisahkan spesi yang memiliki ukuran sangat kecil yang tidak dapat dipisahkan oleh membran berpori. Membran non-pori digunakan untuk pemisahan gas dan penguapan, jenis membran dapat berupa membran komposit atau membran asimetrik, pemisahannya berdasarkan pada kelarutan dan perbedaan kecepatan difusi dari partikel (Mulder,1996).

#### c. Carrier Membran (membran pembawa)

Mekanisme perpindahan massa pada membran jenis ini tidak ditentukan oleh membran (atau material dari membran) tetapi ditentukan oleh molekul pembawa yang spesifik yang memudahkan perpindahan spesifik terjadi. Ada dua konsep mekanisme perpindahan dari membran jenis ini yaitu: carrier tidak bergerak di dalam matriks membran atau carrier bergerak ketika dilarutkan dalam suatu cairan. Selektivitas terhadap suatu komponen sangat tergantung pada sifat molekul carrier. Selektivitas yang tinggi dapat dicapai jika digunakan carrier khusus. Komponen yang akan dipisahkan dapat berupa gas atau cairan, ionik atau non-ionik

### **2.3.5 Berdasarkan bentuknya**

Berdasarkan bentuknya membran dapat dibagi menjadi dua macam yaitu :

#### **a. Membran Datar**

Membran datar mempunyai penampang lintas besar dan lebar. Pada operasi membran datar terbagi atas :

1. Membran datar yang terdiri dari satu lembar saja
2. Membran datar bersusun yang terdiri dari beberapa lembar tersusun bertingkat dengan menempatkan pemisah antara membran yang berdekatan.

#### **b. Membran spiral**

Membran spiral bergulung yaitu membran datar yang tersusun bertingkat kemudian digulung dengan pipa sentral membentuk spiral.

#### **b. Membran Tubular**

Membran tubular adalah membran yang membentuk pipa memanjang. Membran jenis ini terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Membran serat berongga ( $d < 0,5$  mm)
2. Membran kapiler ( $d$  0,5-5,0 mm)

Membran tubular ( $d > 5,0$  mm)

### **2.3.6 Berdasarkan tekanan yang digunakan sebagai gaya**

Berdasarkan tekanan yang digunakan sebagai gaya, membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu :

#### **a) Mikrofiltrasi**

Membran mikrofiltrasi (MF) dapat dibedakan dari membran reverse osmosis (RO) dan ultrafiltrasi (UF) berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkannya. Pada membran mikrofiltrasi, garam-garam tidak dapat direjeksi oleh membran. Proses filtrasi dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu di bawah 2 bar. Membran mikrofiltrasi dapat dibuat dari berbagai macam material baik organik maupun anorganik. Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi. Beberapa teknik yang digunakan untuk membuat membran antara lain sintering, track atching, stretching, dan phase inversion (Wenten, 2000).

#### b) Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 1  $\mu\text{m}$  sampai 1 nm. Ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi merupakan membran berpori dimana rejeksi zat terlarut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan berat zat terlarut relatif terhadap ukuran pori membran. Ukuran molekul yang dapat lolos melewati membran ultrafiltrasi berkisar antara 10<sup>4</sup> - 10<sup>8</sup> dalton (Mulder, 1996).

#### c) *Reverse Osmosis*

Membran reverse osmosis (osmosis balik) digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya. Membran yang lebih dense (ukuran pori lebih kecil dan porositas permukaan lebih rendah) dengan tahanan hidrodinamik yang lebih besar diperlukan pada proses ini. Hal ini menyebabkan tekanan operasi pada osmosis balik akan sangat besar untuk menghasilkan fluks yang sama dengan proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Untuk itu pada umumnya, membran osmosis balik memiliki struktur asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan padat serta matriks penyokong dengan tebal 50 sampai 150  $\mu\text{m}$ . Tahanan ditentukan oleh lapisan atas yang rapat (Wenten, 2000).

### **2.3.7 Berdasarkan Strukturnya**

Berdasarkan strukturnya, membran dibedakan menjadi dua golongan (Mulder, 1996), yaitu :

#### a. Membran Homogen

Membran Homogen merupakan membran yang tidak berpori, mempunyai sifat sama setiap titik, tidak ada internal layer dan dalam perpindahan tidak ada hambatan.

#### b. Membran Heterogen

Membran Heterogen adalah suatu membran berpori atau tidak berpori, tersusun secara seri dari tipe yang berbeda, sehingga dalam perpindahan mengalami hambatan.

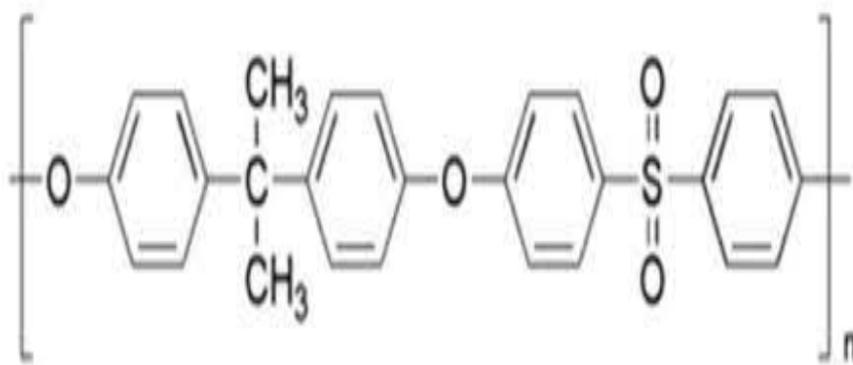
## 2.4 Material Membran

Proses pembuatan membran sintetik dapat dilakukan dengan menggunakan bahan material organik maupun anorganik. Material organik berupa polimer selulosa asetat, polikarbonat dan polisulfon sedangkan material anorganik berupa keramik, kaca dan logam (Scott, 1995). Pelarut yang digunakan pada sintesis membran tergantung polimer yang digunakan, membran polisulfon yang di sintesis pada penelitian ini menggunakan pelarut N,N-dimetilacetamida (DMAc) dengan penambahan zat aditif polietilen glikol (PEG) serta berbagai keasaman pada non pelarut (HCl, akuades dan NaOH).

### 2.4.1 Polysulfon

Polysulfon merupakan polimer yang paling banyak dalam teknologi membran karena memiliki kestabilan kimia dan termal yang cukup baik. Polysulfon bersifat hidrofobik karena mempunyai gugus aromatik pada struktur kimianya dan memiliki kelarutan yang rendah dalam larutan alifatik tetapi masih bisa larut dalam pelarut polar. Sifat hidrofobik tersebut yang menyebabkan permeabilitasnya untuk sistem larutan air tidak terlalu baik.

Keuntungan menggunakan polysulfon, yaitu tahan terhadap panas dan kaku. Stabil antara pH 1,5 – 13. Batasan temperatur kisaran 75°C – 125°C, resistansi yang tinggi (asam mineral, alkali, dan garam). Polysulfon memiliki densitas 1,24 g/cm<sup>3</sup>, transisi glas 190 – 230°C, parameter kelarutan 10,5 (Cal/cm<sup>3</sup>)<sup>0,5</sup> dan kelarutan dalam air 20°C sebesar 0,8 g/100mL.



(sumber : Moerniati, dkk.; 1996)

Gambar 3. Struktur Polysulfon

Polysulfon bersifat hidrofobik karena mempunyai gugus aromatik pada struktur kimianya dan memiliki kelarutan yang rendah dalam larutan alifatik rendah tetapi masih bisa larut dalam beberapa pelarut polar. Polysulfon adalah polimer yang banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran. Hal ini dikarenakan memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi, rentang pH yang lebar 1–13, memiliki resistansi yang baik terhadap klorin, serta mudah dipabrikasi.

#### **2.4.2 Sifat Fisik dan Kimia Polysulfon**

Berikut ini merupakan sifat fisis dan kimia dari polimer polysulfon, yakni:

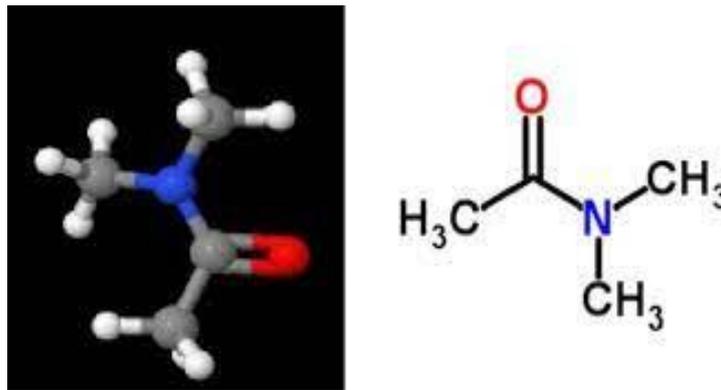
- Tahan terhadap panas (termoplastik)
- Kaku dan transparan
- Stabil antara pH 1,5-13
- Tidak larut atau rusak oleh asam-asam encer atau alkali
- Punya kekuatan tarik yang baik

#### **2.4.3 Dimetilacetamida DMAc**

DMAc banyak dipilih sebagai zat pelarut pada pembuatan membran, dikarenakan struktur dan karakteristik membran yang terbentuk dipengaruhi oleh zat pelarut ini (Puntoajeng, 2006). Dalam berbagai teknik pembuatan membrane DMAc banyak di pilih sebagai media pelarutnya karena nilai kelarutannya yang tinggi yaitu 22.1 Mpa 12. Jenis polimer yang digunakan dalam pembuatan membran seperti PES, sangat sulit untuk menjadi larutan homogen jika dicampur dengan bahan aditif lainnya, oleh sebab itu DMAc dipilih sebagai jenis pelarut yang dapat membuat campuran antara polimer PES dan bahan aditif menjadi larutan yang homogen. Karena dilihat dari nilai kelarutannya yang di miliki DMAc yang tinggi (Putoajeng, 2006). Karakteristik yang dimiliki N-Dimethylacetamide DMAc NO N-Dimethylacetamide DMAc

1. Bentuk Cairan tak berwarna
2. Titik lebur  $-20^{\circ}\text{C}$
3. Titik didih pada 1013 hPa  $165^{\circ}\text{C}$
4. Massa jenis  $0.9366\text{ g/cm}^3$
5. Sifat kelarutan larut pada semua jenis pelarut

6. Tekanan uap pada 20 °C 1.76 hPa
7. Tekanan uap pada 40 °C 6.52 hPa
8. Indeks kelarutan -0.77
9. Titik nyala pada kondisi terbuka 70 °C
10. Titik nyala pada kondisi tertutup 63 °C
11. Kemudahan zat dapat menyala 490 °C



(Sumber: SIDS Initial Assessment Report N-Dimethylacetamide DMAc 2001)

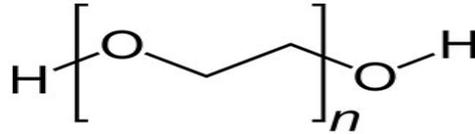
Gambar 4. Struktur ikatan kimia N-Dimethylacetamide

#### 2.4.4 Polietilen Glikol PEG

Polimer sintesis seperti polietilen digunakan sebagai bahan dasar untuk penyusunan membran sintetik. Polimer ini dapat menunjukkan pengaruh pada sifat mekanik kekuatan, stabilitas kimia dan termal dari ester selulosa. Polietilen glikol digunakan karena bahan hidrofiliknya (Nurkhamidah et al., 2019).

Polietilen glikol merupakan polimer larut air, tidak berbau dan kekentalannya berbeda-beda tergantung jumlah  $n$  yang maksimumnya berjumlah 180. Polimer dengan berat molekul rendah disebut dietil glikol ( $n=2$ ) dan tetra etil glikol ( $n=4$ ), sedangkan polimer dengan berat molekul yang tinggi disebut polietilena glikol (Mudmainah, 2017). Oleh karena nilai  $n$  yang bervariasi, sehingga berat molekul dari PEG dapat berkisar antara 150-10.000. Dimana berat molekul 150-700 berbentuk cairan dan berat molekul 1.000-10.000 berbentuk padatan (Sari, 2017). Peningkatan berat molekul aditif PEG juga memberikan kecenderungan yang sama terhadap karakteristik membran yang dihasilkan (Safiah et al, 2018). Polietilen glikol dipilih dan menonjol karena biayanya yang

rendah dan biokompatibilitas yang baik serta dapat menjadi agen pembentuk pori pada membran (Vinodhini et al., 2017)



Gambar 5. Struktur ikatan kimia Polietilen Glikol

## 2.5 Proses Ultrafiltrasi

Operasi membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen dari aliran fluida melalui suatu membran. Membran berfungsi sebagai penghalang (*Barrier*) 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, 1996). Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), dan gaya dorong (*driving force*) akibat perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ), perbedaan konsentrasi ( $\Delta C$ ) dan perbedaan energi ( $\Delta E$ ). Proses membran Ultrafiltrasi (UF) merupakan upaya pemisahan dengan membran yang menggunakan gaya dorong beda tekanan sangat dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi pori membran. Proses pemisahan terjadi pada partikel-partikel dalam rentang ukuran koloid. Membran ini beroperasi pada tekanan antara 1-5 bar dan batasan permeabilitasnya adalah 10–50 l/m<sup>2</sup>.jam.bar. Terapan teknologi membran ini untuk dapat menghasilkan air bersih dengan syarat kualitas air minum. Air baku dimasukkan ke bejana yang berisi membran semi permeabel, dengan memberikan tekanan. Ini merupakan proses fisis yang memisahkan zat terlarut dari pelarutnya. Membran hanya dilalui pelarut, sedangkan terlarutnya, baik elektrolit maupun organik, akan ditolak (rejeksi), juga praktis untuk menghilangkan zat organik. Kontaminan lainnya seperti koloid akan tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring (*sieve*)

molekul BM nominal. Membran yang dipakai untuk ultrafiltrasi mempunyai struktur membran berpori dan asimetrik. Keunggulan membran dibandingkan dengan pengolahan secara konvensional dalam pengolahan air minum antara lain yaitu memerlukan energi yang lebih rendah untuk operasi dan pemeliharaan, desain dan konstruksi untuk sistem dengan skala kecil, peralatannya modular sehingga mudah discale up dan tidak butuh kondisi ekstrim ( temperatur dan pH). Walaupun demikian, membran mempunyai keterbatasan seperti terjadinya fenomena polarisasi konsentrasi, fouling, yang menjadi pembatas bagi volume air terolah yang dihasilkan dan juga keterbatasan umur membran.

## **2.6 Teknik Pembuatan Membran**

Teknik-teknik yang digunakan pada proses pembuatan membran antara lain *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching*, pelapisan (*coating*), dan inversi fasa (Widayanti, N; 2013).

### *a. Sintering*

*Sintering* adalah teknik yang sangat sederhana, bisa dilakukan baik pada bahan anorganik maupun organik. Bubuk dengan ukuran tertentu dikompresi dan disintering pada temperatur tinggi. Selama *sintering* antar muka antara partikel yang berkontak hilang membentuk pori. Teknik ini menghasilkan membran dengan ukuran pori 0,1 sampai 10  $\mu\text{m}$ .

### *b. Stretching*

*Stretching* adalah suatu metode pembuatan membran dimana film yang telah diekstrusi atau foil yang dibuat dari bahan polimer semi kristalin ditarik searah proses ekstruksi sehingga molekul-molekul kristalnya akan terletak paralel satu sama lain. Jika stress mekanik diaplikasikan maka akan terjadi pemutusan dan terbentuk struktur pori dengan ukuran 0,1 sampai 0,3  $\mu\text{m}$ .

### *c. Track-Etching*

*Track-Etching* merupakan metode dimana film atau foil ditembak oleh partikel radiasi berenergi tinggi tegak lurus ke arah film. Partikel akan merusak matriks polimer dan membentuk suatu lintasan. Film kemudian dimasukkan ke dalam bak asam atau basa dan matriks polimer akan membentuk goresan sepanjang lintasan untuk selanjutnya membentuk pori silinder yang sama dengan distribusi pori yang sempit.

#### *d. Template-Leaching*

Template-Leaching merupakan suatu teknik lain untuk membuat membran berpori yaitu dengan cara melepaskan salah satu komponen (leaching). Teknik ini dapat digunakan untuk membuat membran gelas berpori.

#### *e. Inversi fasa*

Proses pembuatan membran pada umumnya menggunakan metode inversi fasa yaitu perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padatan. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan transisi dari fase satu cairan menjadi fase dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Suatu tahap selama *demixing*, salah satu dari fase cairan tersebut (fase polimer berkonsentrasi tinggi) akan menjadi padat sehingga terbentuk matriks padatan (Widayanti, N ; 2013). Teknik inversi fasa mempunyai beberapa kelebihan diantaranya mudah dilakukan, pembentukan pori dapat dikendalikan dan dapat digunakan berbagai macam polimer (Wenten, I. G. 2000). Tahapan proses secara umum dalam inversi fasa antara lain: homogenasi, pencetakan, penguapan sebagian pelarut selama waktu penguapan dan dimasukkan ke dalam bak koagulasi. Metode inversi fasa mencakup berbagai macam teknik pengendapan yaitu:

##### a) Pengendapan dengan penguapan pelarut

Merupakan metode yang paling sederhana. Larutan polimer yang telah dicetak dibiarkan menguap pada suasana *inert* untuk mengeluarkan uap air, sehingga didapatkan membran homogen yang tebal.

##### b) Pengendapan fase uap

Pada metode ini, membran dibuat dengan cara meletakkan cetakan film yang terdiri dari polimer dan pelarut pada suasana uap dimana fase uap mengandung uap jenuh non pelarut dan pelarut yang sama dengan cetakan film. Konsentrasi pelarut yang tinggi di fase uap mencegah penguapan pelarut dari cetakan film. Pembentukan membran terjadi karena difusi dari non pelarut ke dalam cetakan film. Membran yang terbentuk adalah membran berpori tanpa lapisan atas.

##### c) Pengendapan dengan penguapan terkendali

Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas antara pelarut dan non pelarut. Selama pelarut lebih mudah menguap dari non pelarut maka perubahan komposisi selama penguapan bergerak ke arah kandungan non pelarut yang lebih tinggi dan

konsentrasi polimer yang lebih tinggi. Membran yang terbentuk adalah membran berkulit.

#### d) Pengendapan Termal

Metode ini membentuk membran dengan cara mendinginkan larutan polimer supaya terjadi pemisahan fase dan penguapan pelarut. Penguapan pelarut sering mengakibatkan terbentuknya membran berkulit untuk mikrofiltrasi. Larutan polimer dengan pelarut tunggal atau campuran lebih diharapkan untuk memudahkan terjadinya pemisahan fasa.

#### e) Pengendapan Imersi

Metode pengendapan imersi adalah metode yang saat ini sering dipakai untuk membuat membran. Larutan polimer dicetak dalam suatu tempat dan dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung non pelarut. Membran terbentuk karena pertukaran pelarut dan non pelarut.

Pembuatan membran komposit dalam penelitian ini menggunakan metode pengendapan imersi. Satu-satunya persyaratan untuk membuat membran dengan metode ini adalah polimer yang digunakan harus larut pada pelarutnya atau campurannya. Syarat ini dimaksudkan agar dapat terjadi *liquid-liquid demixing*. *Demixing* ini merupakan proses awal pepadatan untuk membentuk membran dan akan terjadi pertukaran pelarut dengan non pelarut pada membran tersebut. Pertukaran pelarut ini menyebabkan polimer tersebut membentuk matriks padatan dan menjadi membran.

## 2.7 Parameter yang Mempengaruhi Struktur Membran

### a. Pemilihan Pelarut dan Non Pelarut

Pemilihan pelarut dan non pelarut merupakan salah satu variabel utama pada proses presipitasi imersi, pelarut dan non pelarut harus saling melarutkan. Umumnya air yang dipilih sebagai non pelarut walaupun non pelarut lain dapat digunakan, sebagai contoh pada penelitian Zhao Song et al., (2014) yang menggunakan larutan asam-basa yaitu HCl dan NaOH sebagai non pelarut dalam bak koagulasi. Pembuatan membran polisulfon (PSf) yang menggunakan N,N-dimetilacetamida (DMAc) sebagai pelarut dan polietilen glikol sebagai zat aditif, dengan berbagai keasaman non pelarut dalam larutan bak koagulasi.

#### b. Pemilihan Polimer

Pemilihan polimer sangat berpengaruh karena penggunaan pelarut atau non pelarut pada fase inversi sangat terbatas. Pemilihan polimer akan berdampak terhadap fouling dan stabilitas suhu serta kimia dari membran yang dihasilkan. PAN, PSF dan PES merupakan jenis polimer yang dapat digunakan untuk membuat membran ultrafiltrasi dengan DMAc sebagai pelarut, non pelarutnya HCl, NaOH dan air.

#### c. Konsentrasi Polimer

Kenaikan konsentrasi pada larutan casting akan menyebabkan kenaikan konsentrasi polimer pada interface, mengakibatkan membran yang dihasilkan akan memiliki ukuran pori yang semakin kecil dan fluks yang rendah.

#### d. Komposisi Bak Koagulasi

Struktur membran yang terbentuk akan berpengaruh pada penambahan pelarut pada bak koagulasi. Semakin besar konsentrasi pelarut di dalam bak koagulasi berdampak pada penurunan konsentrasi polimer pada interface, sehingga dihasilkan membran dengan ukuran pori semakin besar (Mulder, 1996).

### 2.8 Karakterisasi Membran

Karakterisasi pada membran diklasifikasikan menjadi beberapa uji, yaitu :

#### 2.8.1 Fluks Membran

Kinerja suatu membran ditentukan oleh harga fluks yang dimilikinya. Fluks volume adalah jumlah volume permeat yang diperoleh pada operasi membran persatuan waktu dan satuan luas permukaan membran.

Rumus mencari fluks volume:

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

(Sumber: Mulder, M. 1996)

Keterangan:

$Jv$  = fluks volume (L/m<sup>2</sup> .Jam)

$V$  = volume permeat (L)

$A$  = luas permukaan (m<sup>2</sup> )

$t$  = waktu (Jam)

### **2.8.2 Annealing (Perlakuan Panas)**

Proses *annealing* adalah proses laku panas dimana bahan mengalami pemanasan yang mendadak disusul dengan pendinginan secara pelan-pelan pula (Van Vlack, 1991: 437). Ada dua macam *annealing*, yakni: annealing isothermal dan annealing isokronal. Annealing isothermal jika *annealing* dilakukan pada temperatur yang sama sedangkan waktunya berubah-ubah. *Annealing* isokronal adalah *annealing* yang dilakukan pada temperatur yang berubah-ubah namun waktunya tetap (Edi Istiyono, 2003).

Proses perlakuan panas yang mengubah sifat fisik dan sifat kimia suatu bahan untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kekerasan agar lebih mudah digunakan laku panas dengan bahan mengalami pemanasan yang mendadak, temperatur dipertahankan tetap selama waktu tertentu kemudian dilakukan pendinginan secara pelan-pelan. Temperatur yang dipertahankan tetap pada proses ini dinamakan temperatur *annealing*. Dalam tahap annealing, temperatur merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan perubahan struktur membrane (Sokkar, 2013)

Selain itu, peningkatan waktu *annealing* menghasilkan ukuran diameter pori rata-rata dan porositas membran yang semakin meningkat. Membran yang di *annealing* pada temperatur sama namun waktu yang lebih lama memiliki ukuran diameter pori rata-rata dan porositas membran yang lebih besar daripada membran yang di *annealing* dengan waktu singkat (A. Saffar, 2014).

### **2.8.3 Scanning Electron Microscope (SEM)**

Karakterisasi morfologi membran menggunakan SEM untuk mengetahui struktur permukaan penampang lintang dan struktur pori membran. Analisis scanning electron microscope menghasilkan sampel dengan resolusi yang tinggi. Batas resolusi SEM adalah 0,01 – 10  $\mu\text{m}$  sedangkan SEM yang lebih kompleks memiliki batas resolusi hingga 0,05  $\mu\text{m}$  (Mulder 1996).

SEM (Scanning Elektron Microscope) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang

dipantulkan dengan energy tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkar elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detector yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas elektron yang berintensitas tertinggi itu. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang ber intensitas tertinggi di scan keseluruhan permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan kita dapat membatasi lokasi pengamatan yang kita lakukan dengan melakukan zoon – in atau zoon – out.

SEM (Scanning Elektron Microscope) memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada mikroskop optic. Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang memiliki elektron lebih pendek dari pada gelombang optic. Karena makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop. SEM mempunyai depthoffield yang besar, yang dapat memfokuskan jumlah sampel yang

lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi (Anonim, 2012).