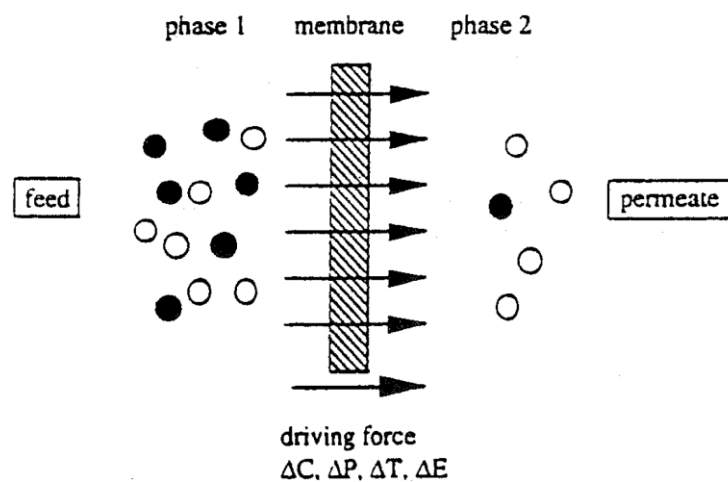


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Membran

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 (ΔP), beda konsentrasi (ΔC), beda potensial listrik (ΔE), dan beda temperatur (ΔT) serta selektifitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi (R). Hasil pemisahan berupa permeat (bagian dari campuran yang melewati membran). (Mulder, 1996). Gambar 2.1 memperlihatkan skema proses pemisahan dengan membran.



(Sumber : Mulder, 1996)

Gambar 1. Skema pemisahan dengan membran

Membran berasal dari bahasa Latin “membrana” yang berarti kulit kertas. Saat ini kata “membran” telah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel atau film, bertindak sebagai pemisah selektif antara dua fase karena bersifat semi permeabel (Widayanti, N; 2013).

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;
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

2.2 Klasifikasi Membran

2.2.1 Berdasarkan Jenis

Dilihat dari jenisnya membran dibagi menjadi 2, yakni:

1) 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.

2) 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.

2.2.2 Berdasarkan Morfologi

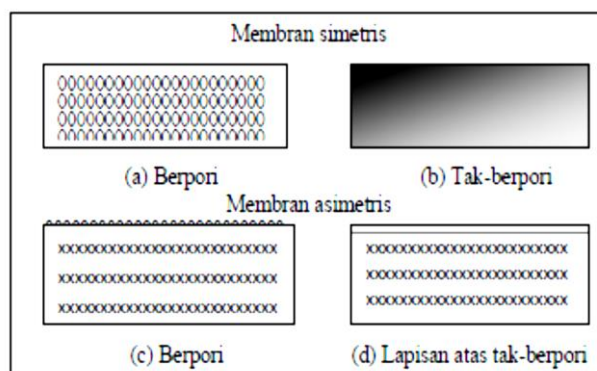
Berikut ini pengelompokan membran dilihat dari geometri pori (struktur), yakni (Widayanti, N; 2013):

1) Membran simetrik

Membran ini mengandung pori dengan ketebalan 10-200 μm . Membran ini memiliki struktur pori yang homogen di seluruh bagian membran. Jenis membran ini kurang efektif karena memungkinkan lebih cepat terjadinya penyumbatan pori dan mengakibatkan *fouling* atau penyumbatan pori pada penggunaanya (Mulder, 1996).

2) Membran asimetrik

Membran ini terdiri dari dua lapisan, yaitu kulit yang tipis dan rapat dengan ketebalan 0,1-0,5 μm dan lapisan pendukung berpori besar dengan ketebalan 50-150 μm . Membran asimetrik menghasilkan selektivitas yang lebih tinggi disebabkan oleh rapatnya lapisan atas membran dan mempunyai kecepatan permeasi yang tinggi karena tipisnya membran. Tingginya laju filtrasi pada membran asimetrik ini disebabkan mekanisme penyaringan permukaan. Partikel yang ditolak tertahan pada permukaan membran (Mulder, 1996). Tingkat pemisahan membran asimetrik jauh lebih tinggi dari pada membran simetrik pada ketebalan yang sama. Hal ini disebabkan karena pada membran simetrik, partikel yang melewati pori akan menyumbat pori-pori membran sehingga penyaringan membran menurun drastis (Mulder, 1996).



(Sumber : Mulder, 1996)

Gambar 2. Membran berdasarkan morfologinya

Struktur pori dari membran baik penampang lintang maupun permukaan dapat dianalisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Berkas electron dengan diameter 5 sampai 10 nm, diarahkan pada specimen. Interaksi berkas electron dengan specimen menghasilkan beberapa fenomena yaitu hamburan balik berkas electron, sinar X, sinar tampak, elektron sekunder dan absorpsi elektron yang memberikan informasi pengukuran SEM. Sinyal yang dihasilkan dari penembakan elektron ditangkap oleh detector lalu diteruskan ke monitor. Pada monitor akan diperoleh gambar yang khas yang menggambarkan permukaan specimen. Selanjutnya dapat dipotret dengan film hitam putih. Jika spesimen bukan merupakan konduktor yang baik maka perlu dilapisi dengan lapisan tipis 100 – 500Å⁰ dengan bahan penghantar. Beberapa bahan penghantar yang biasa digunakan adalah emas, perak, karbon dan emas palladium. Pelapisan dilakukan dalam ruang penguapan hampa udara.

2.2.3 Berdasarkan Asal

Dilihat dari asalnya, membran dapat dibagi atas membran alami dan membran sintesis.

1. Membran alami

Membran alami adalah membran yang terdapat dalam sel makhluk hidup dan terbentuk dengan sendirinya. Membran alami biasanya dibuat dari selulosa dan derivatnya seperti selulosa nitrat dan selulosa asetat.

2. Membran sintesis

Membran sintesis adalah membran yang dibuat dari material tertentu. Contoh membran sintetik seperti poliamida, polisulfon dan polikarbonat (Widayanti, N; 2013). Membran sintesis dibagi menjadi dua yaitu membran organik (antara lain polimer) dan membran anorganik (antara lain keramik).

2.2.4 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 (Mulder, 1996).

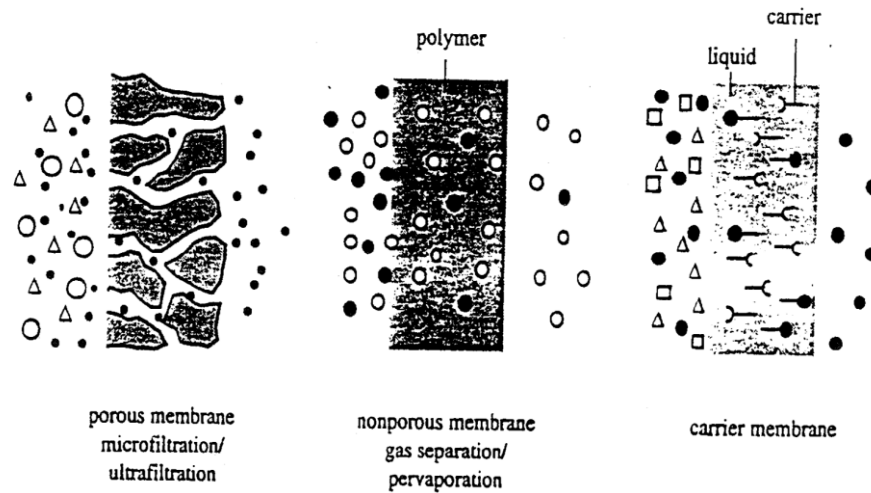
b. Membran non-pori

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 pervaaporasi, jenis membran dapat berupa membran komposit atau membran asimetrik, pemisahannya berdasarkan pada kelarutan dan perbedaaan 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.

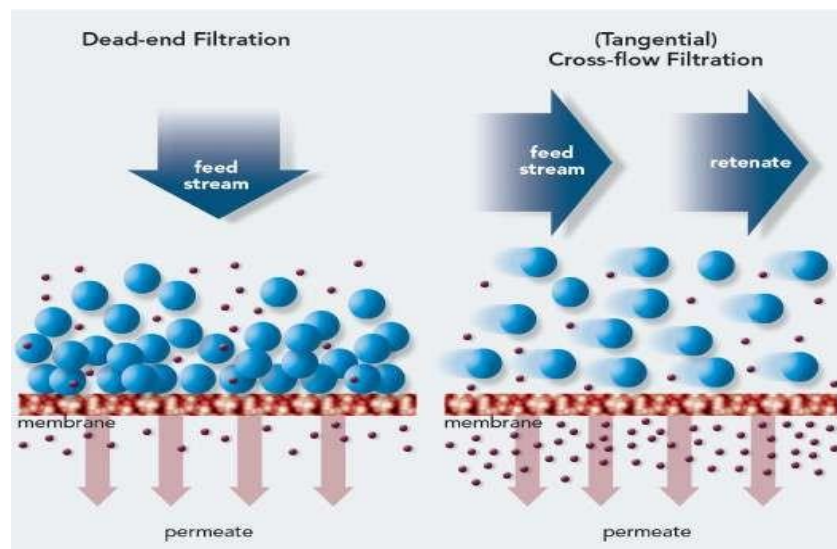


(Sumber : Mulder, 1996)

Gambar 3. Skema Berdasarkan Kerapatan Pori

2.2.5 Berdasarkan Sistem Operasi

Menurut sistem operasinya dibedakan atas *system dead-end* dan *crossflow*. Gambaran mengenai *system dead-end* dan *crossflow* dapat dilihat pada gambar 4.



(Sumber : Widayanti. N ; 2013)

Gambar 4. Skema sistem operasi membran

2.2.6 Berdasarkan Fungsi

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. Membran mikrofiltrasi berukuran 0,1 sampai 10 mikron (Mulder, 1996). 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* (Widayanti, N; 2013).

b) Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 0,01 μm sampai 0,1 nm (Mulder, 1996). 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.

c) Nanofiltrasi (NF)

Nanofiltrasi adalah proses pemisahan jika ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi tidak dapat mengolah air seperti yang diharapkan. Nanofiltrasi dapat menghasilkan proses pemisahan yang sangat terjangkau secara ekonomis, tetapi nanofiltrasi belum dapat mengolah mineral terlarut, warna dan salinasi air, sehingga air hasil olahan (permeate) masih mungkin mengandung ion monovalen dan larutan dengan pencemar yang memiliki berat molekul rendah seperti alkohol. Pengolahan menggunakan nanofiltrasi pada umumnya menggunakan membran berukuran 10^{-3} - 10^{-2} mikron.

d) *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 osmosa balik memiliki struktur asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan padat serta matriks penyokong dengan tebal 50 sampai 150 μm . Tahanan ditentukan oleh lapisan atas yang rapat (Widayanti, N; 2013). Ukuran pori pada proses osmosa balik antara 10^{-4} - 10^{-3} mikron.

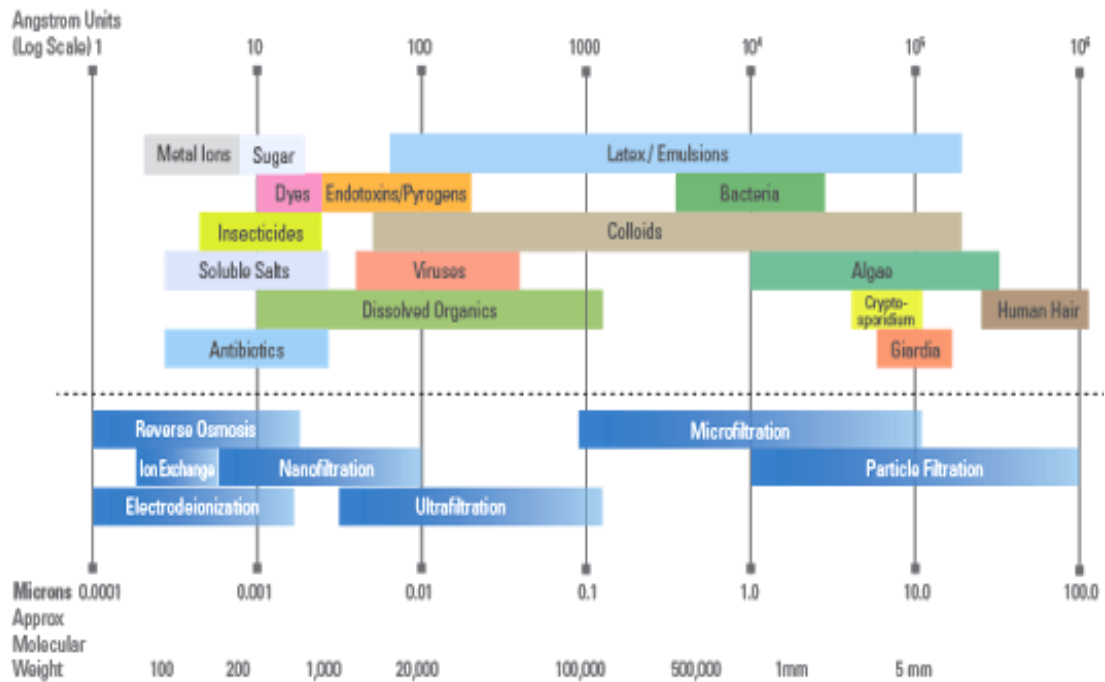
e) Dialisa

Dialisa merupakan proses perpindahan molekul solute dari suatu cairan ke cairan lain melalui membran yang diakibatkan adanya perbedaan potensial kimia dari solute. Membran dialisa berfungsi untuk memisahkan larutan koloid yang mengandung elektrolit dengan berat molekul kecil.

f) Elektrodialisa

Elektrodialisa merupakan proses dialisa dengan menggunakan bantuan gaya dorong potensial listrik. Elektrodialisa berlangsung lebih cepat bila dibandingkan dengan proses dialisa. Proses elektrodialisa sering digunakan pada desalinasi dari juice.

Proses pemisahan dengan menggunakan membran terdiri dari mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, dan osmosa balik. Perbedaan dari ketiga proses tersebut didasarkan pada ukuran pori membran (Kesting, RE, 1998). Gambar berikut menunjukkan perbedaan masing-masing ukuran partikel.



(Sumber: www.bipurewater.com)

Gambar 5. Perbedaan Ukuran Partikel pada Proses Pemisahan

2.2.7 Berdasarkan Bentuk

Membran menurut bentuknya dapat diklasifikasikan menjadi tiga klasifikasi yaitu :

a) Membran datar

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

- Membran datar 1 lembar
- Membran datar bersusun, yang terdiri dari beberapa lembar atau tingkatan dengan menempatkan pemisah antara membran yang berdekatan.

b) Membran spiral

Membran spiral adalah membran datar bersusun yang digulung dengan pipa dan dibentuk spiral.

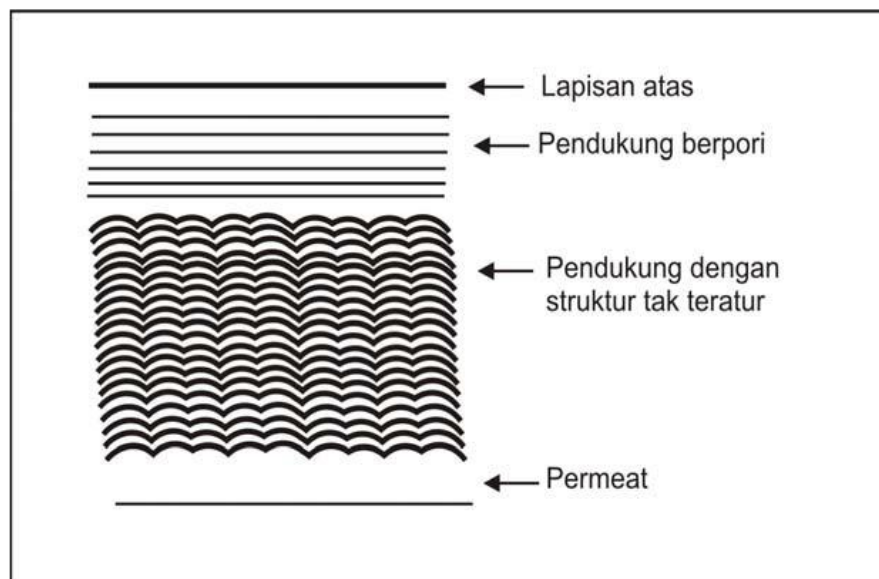
c) Membran tubular

Membran tubular adalah membran yang berbentuk pipa memanjang. Membran jenis ini terbagi atas tiga klasifikasi, yaitu:

- Membran serat berongga ($d < 0,5$ mm)
- Membran kapiler ($0,5 > d < 5$ mm)
- Membran tubular ($d > 5$ mm)

2.3 Membran Komposit

Membran komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih lapisan membran. Lapisan pertama merupakan lapisan tebal, berpori dan tidak selektif yang berperan sebagai lapisan pendukung. Selanjutnya dilapisi oleh lapisan yang selektif pada permukaan atas dengan komposisi kimia berbeda dengan membran pendukung. Secara skematik dapat dilihat pada gambar berikut :



(Sumber: Buku Teks Desalinasi dengan Membran oleh Sri Redjeki)

Gambar 6. Skema membran komposit

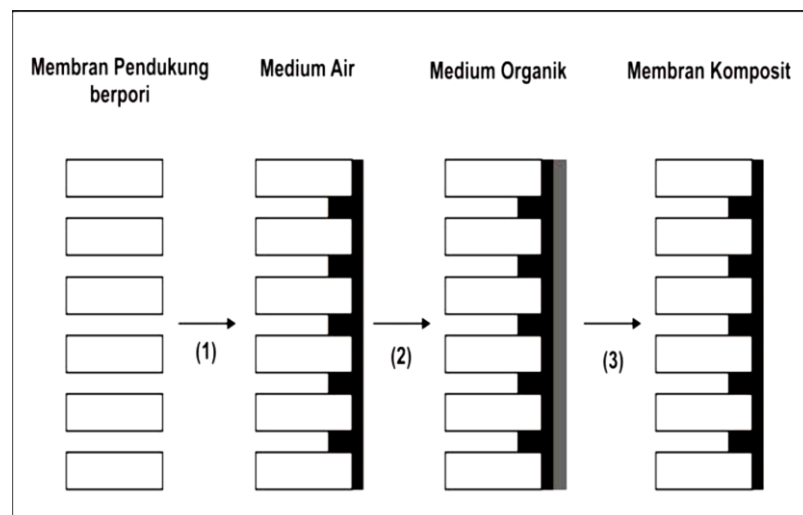
Pembuatan membran komposit telah dipelajari Cadotte dan Peterson melalui beberapa cara sebagai berikut :

- Lapisan tipis film dibuat terpisah, kemudian dilapiskan pada pendukung berpori.
- Polimerisasi antarmuka monomer reaktif pada permukaan pendukung.

- Larutan polimer dilapiskan pada pendukung berpori dengan cara pencelupan dan dikeringkan
- Larutan monomer reaktif atau pre-polimer dilapiskan terhadap pendukung berpori diikuti dengan *post-cure* dengan panas atau radiasi
- Pengendapan film secara langsung dari plasma monomer fasa gas

a. Polimerisasi Antarmuka Membran Komposit

Membran Komposit untuk osmosis balik pada umumnya dibuat melalui proses polimerisasi antarmuka dengan bahan poliamida. Telah dilaporkan oleh Robert J. Peterson bahwa reaksi polimerisasi antarmuka yang membentuk senyawa poliamida ternyata menghasilkan rejeksi yang tinggi tetapi fluksnya masih rendah. Berbagai faktor yang menentukan kinerja membrane yang dihasilkan antara lain : jenis polimer (mengandung nitrogen, aromatic, linier), jumlah gugus fungsi (fungsionalitas), kedudukan gugus fungsi (orto, meta, para) dan sebagainya.



(Sumber: Buku Teks Desalinasi dengan Membran oleh Sri Redjeki)

Gambar 7. Skema reaksi polimerisasi antarmuka pada pembentukan membran komposit

Pemilihan polimer yang tepat akan menghasilkan membrane dengan kinerja yang tinggi. Reaksi polimerisasi antara dua monomer yang sangat reaktif terjadi pada permukaan membrane. Kedua monomer dilarutkan dalam pelarut

yang tidak saling bercampur (larut). Sebagai lapisan pendukung pada umumnya digunakan membran mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi. Selanjutnya membrane pendukung dicelupkan pada larutan air yang mengandung monomer reaktif, biasanya digunakan pada golongan amin; kemudian dicelupkan pada larutan kedua; yang digunakan biasanya asil klorida. Kedua monomer bereaksi satu sama lain membentuk polimer padat pada lapisan atas. Pemanasan sering menyempurnakan reaksi antarmuka. Kelebihan dari polimerisasi antarmuka ialah terbentuknya film tipis dengan ketebalan sekitar 50 μm . Secara skematik reaksi polimerisasi antarmuka dapat dilihat pada gambar 7 (Redjeki, Sri; 2011)

Komposisi dan morfologi dari film polimer yang terbentuk dari reaksi polimerisasi antarmuka tergantung dari beberapa variable di bawah ini :

- 1) Konsentrasi reaktan
- 2) Koefisien partisi reaktan dalam 2 jenis pelarut yang tidak saling larut
- 3) Perbandingan reaktivitas jika reaktannya merupakan blend atau campuran
- 4) Kelarutan dari polimer awal dalam pelarut dimana ia dibentuk
- 5) Kecepatan kinetik dan difusi dari reaktan
- 6) Adanya hasil samping
- 7) Hidrolisis
- 8) Reaksi ikatan silang
- 9) Perlakuan pada lapisan antarmuka yang dihasilkan

Terdapat banyak contoh membran komposit, salah satunya membran komposit polisulfon-poliamid. Membran ini memiliki sifat yang mudah dicetak. Selain itu memiliki selektivitas tinggi yang mampu digunakan untuk proses pemurnian air baku dengan cara osmosa balik. Keunggulan lain dari membran psf-pa yakni tahan terhadap suhu operasi yang cukup tinggi, resistansi baik terhadap klorin, dan rentang pH permukaan membran antara 1-14 sehingga dapat digunakan dalam kondisi asam ataupun basa (Redjeki, Sri; 2011).

2.4 Poliamid

Poliamid dinamakan nilon 6 karena ada 6 atom karbon dalam monomernya. Nilon larut dalam asam klorida atau asam formiat. Apabila nilon direaksikan

dengan asam klorida terjadi hidrolisa karena terjadi pemutusan ikatan rantai. Polimer poliamid menjadi rantai polimer yang lebih pendek dengan pemanasan yang cukup lama, hidrolisa ini mencapai kesempurnaan menghasilkan monomernya kembali. Proses hidrolisa dari nilon tersebut dalam asam klorida akan terhenti melalui koagulasi yang cepat di dalam air, dimana terbentuk membran berpori. Jumlah dan ukuran pori yang dihasilkan menentukan efisiensi penyaring dari membran, membran yang ideal adalah harus mampu mengalirkan pelarut dengan fluks tinggi dan menolak zat terlarut secara sempurna.

Pada umumnya nilon mempunyai sifat mekanik yang baik dan mudah dibentuk untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Membran poliamid terbentuk benang dan merupakan bahan baku utama dalam industri tekstil serta digunakan untuk pembuatan membran poliamid.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh membran poliamid diantaranya adalah:

1. Tahan terhadap bahan-bahan kimia,
2. Tahan terhadap kondisi asam dan basa tinggi,
3. Tidak mudah rusak oleh mikroba,
4. Tidak mulur pada tekanan operasi tinggi, dan
5. Stabil terhadap panas (suhu) yang tinggi

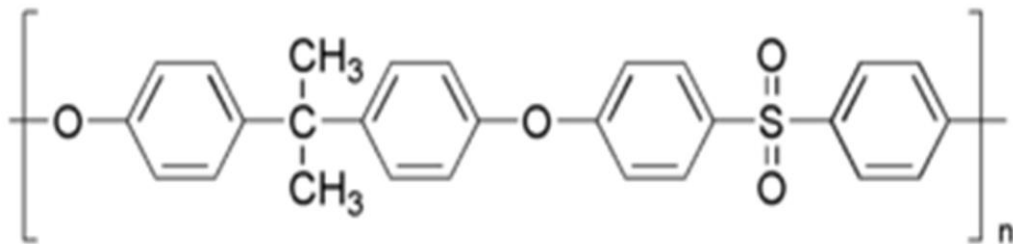
Rentang pH untuk permukaan membran poliamid yaitu 1 sampai 14 dan temperatur pemakaian mencapai 100°C (Mulder, M : 1991)

Membran poliamid adalah membran yang dibuat dengan cara melarutkan nilon 6 dalam pelarut yang terdiri dari larutan asam klorida dan etanol dengan komposisi tertentu. Etanol dalam pembuatan membran ini berfungsi sebagai bahan aditif yang sangat mempengaruhi proses pembuatannya dan karakteristik membran yang dihasilkan. Poliamid (nilon 6) merupakan suatu polimer dengan gugus $-CO-NH-$ sebagai gugus fungsinya. Poliamid yang sederhana contohnya polimer yang terbentuk dari kaprolaktan $(CH_2)_5-CO-NH$ sebagai monomer.

2.5 Polisulfon

Polimer polisulfon merupakan suatu basa lewis (karena mengandung gugus sulfon, aromatic dan eter) yang larut dalam pelarut-pelarut yang bersifat

asam seperti : heksa fluoro isopropanol dan hidrokarbon terklorinasi seperti kloroform dan metilen klorida. Polimer ini juga larut dalam pelarut-pelarut polar seperti : dimetilformida (DMF), dimetil asetamida (DMAC), dimetil sukfosida (DMSO). Polimer polisulfon bersifat termoplastis, transparan dengan temperature transisi gelas 180–250°C. Berbagai sifat polisulfon seperti sifat mekanik, termal, listrik, kelarutan telah diteliti menurut metode ASTM (American Standard for Testing Materials).



(sumber : Moerniati, dkk.; 1996)

Gambar 8. Rantai Polimer Polisulfon

Polisulfon merupakan keluarga polimer termoplastik. Polimer ini dikenal karena ketangguhan dan stabilitas pada suhu tinggi. Polisulfon mengandung subunit aril-SO₂-aril, ciri yang merupakan kelompok sulfon. Polisulfon diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Union Carbide. Polisulfon digunakan dalam aplikasi khusus dan sering sebagai pengganti unggul untuk polikarbonat, karena tingginya biaya bahan baku dan pengolahan. (sumber: Moerniati, dkk.; 1996)

Polisulfon merupakan suatu polimer yang memiliki berat molekul besar, mengandung gugus sulfonat dan inti benzene dalam suatu rantai polimer utama. Polisulfon memiliki sifat yang keras, rigid, termoplastis dan punya tempreratur transisi gelas (Tg) antara 180^o-250^oC. Rigiditas rantai secara relative dapat diturunkan dari ketidak lenturan dan keimobilan gugus fenil dan SO₂, sedangkan kekerasannya muncul karena adanya gugus eter.

Polisulfon bersifat hidrofobik karena mempunyai gugus aromatik pada struktur kimianya dan memilki kelarutan yang rendah dalam larutan alifatik rendah tetapi masih bisa larut dalam beberapa pelarut polar. Polisulfon 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.

2.5.1 Sifat Fisis dan Kimia Polisulfon

Berikut ini merupakan sifat fisis dan kimia dari polimer polisulfon, 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

2.6 Membran Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi (MF) dikomersialkan pertama kali pada tahun 1927 oleh Sartorius-Werke di Jerman. Mikrofiltrasi dapat dibedakan dari Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkan. Mikrofiltrasi juga merupakan proses dengan *driving force* beda tekanan dimana koloid tersuspensi dan partikel dengan ukuran 0,1-10 μm dapat ditahan oleh membran mikropori. Mikrofiltrasi biasanya dioperasikan pada TMP (Trans Membrane Pressure) yang relative rendah (< 50 psi atau 3,4 bar atau 0,35 Mpa) dan fluks permeatnya sangat tinggi (10^{-4} - 10^{-2} m/s untuk membran tanpa fouling) (Scout, 1995). Mikrofiltrasi merupakan membran dengan poros asimetrik, dengan ketebalan 50-150 μm . Dengan ukuran pori 0,1-10 μm , *driving force* yang diijinkan < 2 bar (Mulder, 1996). MF dapat menahan koloid, mikroorganisme dan suspensi solid dan bahan-bahan yang ukurannya lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata ukuran pori karena penahanan adsorptive. Membran komposit film tipis terbuat dari berbagai bahan polimer untuk substratnya ditambah polimer lapisan fungsional di atasnya. Membran mengalami perubahan karena memampat dan fouling (sumbat). Pemampatan atau fluks merosot itu serupa dengan perayapan plastik/logam bila terkena beban tegangan kompresi. Semakin besar tekanan dan suhu, biasanya tak

reversibel dan membran makin mampat. Normalnya, membran bekerja pada suhu 21 – 35°C. Fouling membran itu diakibatkan oleh zat-zat dalam air baku misalnya kerak, pengendapan koloid, oksida logam, organik dan silica. Proses pemisahan dengan menggunakan membran terdiri dari mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, dan osmosa balik. Perbedaan dari ketiga proses tersebut didasarkan pada ukuran pori membran (Kesting, RE, 1998).

a. Modul Membran

Untuk dapat mengaplikasikan membran di dalam skala teknik, umumnya diinginkan membran dengan permukaan yang cukup luas, hal ini dapat diakomodir dengan mengemas membran di dalam suatu unit yang biasanya disebut **modul**.

Beberapa modul membrane yang biasa dipergunakan pada proses. Mikrofiltrasi adalah : spiral wound, plate and frame dan hollow fiber.

b. Aplikasi Membran Mikrofiltrasi

Secara umum mikrofiltrasi diaplikasikan dalam proses pemisahan unsur-unsur partikulat dari larutannya. Aplikasi proses mikrofiltrasi diantaranya adalah untuk proses sterilisasi obat-obatan dan produksi makanan, klarifikasi ekstrak *juice*, pemrosesan air ultramurni pada industri semi konduktor dan *metal recovery*, pemurnian air untuk menghilangkan mikroorganisme, pemisahan antara air-minyak dan emulsi, dan sebagainya.

2.7 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 µm.

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 μm .

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 pematatan 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.

2.8 Faktor-faktor yang mempengaruhi morfologi membran

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi morfologi dari membran:

2.8.1 Jenis Sistem Pelarut Non pelarut

Pemilihan sistem pelarut–non pelarut sangat mempengaruhi struktur membran yang dihasilkan. Non pelarut yang digunakan sebagai koagulan harus dapat larut dalam pelarut. Air adalah non pelarut yang umum digunakan dalam proses inversi fasa.

Proses pencampuran dapat berlangsung secara sempurna jika komposisi semua bahan penyusun membran mempunyai daya larut yang sama. Di samping itu komposisi total sangat menentukan homogenitas dan kinerja membran.

Kelarutan polimer berkurang dengan bertambahnya massa molekul. Jika suatu polimer dapat larut dalam pelarut yang cocok kemudian ditambahkan bukan pelarut (jika larutan polimer dituangkan ke dalam bukan pelarut yang jumlahnya berlebihan) maka polimer akan mengendap.

2.8.2 Pemilihan Polimer (jenis polimer)

Merupakan salah satu faktor penting karena akan membatasi jenis pelarut dan non pelarut yang digunakan. Pemilihan material membran menjadi penting dengan memperhatikan faktor fouling (efek adsorpsi, karakteristik hidrofilik/hidrofobik), kestabilan termal dan kimia.

2.8.3 Komposisi Pelarut

Komposisi pelarut merupakan parameter lain yang sangat mempengaruhi jenis struktur membran yang terbentuk. Pembuatan membran polisulfon dapat menggunakan pelarut yaitu DMAc (*dimetil acetamida*). Serta pembuatan membran poliamid menggunakan HCl sebagai pelarutnya.

Beberapa pelarut yang digunakan untuk pembuatan membran polimer yaitu dimetil formamida (DMF), dimetil asetamida (DMAc), aseton, dioksan, tetrahidrofuran (THF), asam asetat (HAc), asam format, aseton dan dimetil sulfoksida (DMSO). Polimer harus larut secara sempurna oleh pelarut.

2.9 Karakterisasi Membran

Karakterisasi pada membran diklasifikasikan menjadi beberapa uji, yaitu :

2.9.1 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:

$$J_v = \frac{V}{A \cdot t}$$

(Sumber: Mulder, M. 1996)

Keterangan:

J_v	= fluks volume (L/m ² .Jam)
V	= volume permeat (L)
A	= luas permukaan (m ²)
t	= waktu (Jam)

2.9.2 Penentuan Kandungan Air

Penentuan kandungan air dapat dilakukan dengan menimbang membran dalam keadaan kering dan dibandingkan dengan membran pada saat basah.

Penentuan kandungan air ini dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Menimbang alumunium foil (Wk)
2. Membran basah dilapisi dengan alumunium foil dan ditimbang beratnya (Wmb)

3. Alumunium foil dan membran basah dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 40°C selama 6 jam.
4. Setelah 6 jam membran dan alumunium foil dikeluarkan dan ditimbang beratnya (W_{mk}).

Rumus mencari kandungan air:

$$\% \text{ Air} = \frac{W_{mb} - W_{mk}}{W_{mk} - W_k} \times 100$$

Keterangan:

W_{mb} = Berat membran basah dilapisi dengan alumunium foil

W_{mk} = Berat membran dan alumunium foil setelah di oven selama 6 jam

W_k = Berat alumunium foil

2.9.3 Penentuan Densitas Membran

Membran komposit PSF-PA ditimbang dalam keadaan kering, kemudian hasilnya dibagi dengan volume kering. Penentuan volume kering dilakukan dengan mengalikan alas x tebal film.

Pengukuran kerapatan (ρ) dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{W}{V}$$

Keterangan:

ρ = densitas (gr/cm^3)

W = Berat film membran (gr)

V = Volume membran (cm^3)

2.9.4 Penentuan Porositas Membran

Rumus mencari porositas membran dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\% \text{ porositas} = \frac{\frac{m_b - m_k}{\rho}}{v} \times 100\%$$

Keterangan:

m_b = berat basah kering (gram)

m_k = berat membran kering (gram)

v = volume membran (cm^3)

ρ = densitas membran (cm^3/gr)