

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Membran

Membran merupakan lapisan semipermeabel yang mampu melewatkan spesi tertentu dan menahan spesi yang lain berdasarkan ukuran spesi yang akan dipisahkan. Spesi yang memiliki ukuran lebih besar dari pori membran akan tertahan dan spesi dengan ukuran lebih kecil dapat melewati membran, dengan kata lain membran memiliki sifat transfer yang selektif.

2.2. Mekanisme Transport Melalui Membran

2.2.1. Proses pemisahan dengan membran

Proses pemisahan dengan membran terjadi akibat adanya gaya pendorong. Kecepatan transpor spesi-spesi tersebut ditentukan oleh gaya pendorong yang bekerja dan mobilitas spesi yang bersangkutan di dalam membran. Gaya-gaya pendorong tersebut dapat berupa gradien tekanan, gradien konsentrasi, gradien potensial listrik, atau gradien temperatur antara dua subsistem yang dipisahkan oleh membran.

Pada dasarnya ada dua tipe proses pemisahan, yaitu : filtrasi laminar dan filtrasi tangensial. Dalam filtrasi laminar, aliran umpan tegak lurus ke permukaan membran, sehingga partikel-partikel terakumulasi dan membentuk suatu lapisan pada permukaan membran yang akan menyebabkan menurunnya fluks membran. Dalam filtrasi tangensial umpan mengalir sepanjang permukaan membran, sehingga hanya

sebagian yang terakumulasi. Dalam aplikasi di industri, filtrasi tangensial lebih disukai karena kecenderungan fouling lebih rendah dibanding filtrasi laminar.⁽¹¹⁾

2.2.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi transport melalui membran

Faktor-faktor luar yang mempengaruhi transport materi melalui membran adalah interaksi membran-larutan, tekanan, temperatur dan polarisasi konsentrasi.

2.2.2.1. Interaksi membran-larutan

Interaksi kimia terdiri dari interaksi ion-ion, ion-dipol dan dipol-dipol. Pembentukan ikatan dan interaksi kimia dapat terjadi secara tak terduga sebagai hasil dari hidrolisa atau degradasi oksidatif dari polimer.

Interaksi kimia meliputi aspek fisikokimia yang melibatkan proses eliminasi atau netralisasi muatan listrik. Sedangkan sifat magnet yang berbeda disebabkan adanya distribusi elektron yang tak seimbang dalam atom atau molekul dalam membran. Interaksi kimia tersebut mempengaruhi interaksi antara membran dengan pelarut dan interaksi membran dengan zat terlarut.

Interaksi fisika meliputi gangguan mekanik atau pengaruh penyaringan sehingga menghambat terjadinya transport melalui membran.

2.2.2.2. Tekanan

Tekanan yang diberikan akan berpengaruh terhadap kepadatan atau kekompakan, porositas, dan permeabilitas membran. Jika tekanan diperbesar maka kecepatan permeasi melalui membran bertambah, demikian pula sebaliknya.

2.2.2.3. Temperatur

Faktor temperatur pada mekanisme transport mempengaruhi kelarutan serta viskositas cairan. Nilai viskositas berbanding terbalik dengan faktor temperatur. Sedangkan nilai viskositas cairan sangat berpengaruh terhadap nilai fluks membran. Dengan demikian nilai fluks membran dipengaruhi temperatur.

2.2.2.4. Polarisasi konsentrasi

Pada proses pemisahan jenis mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, osmosis balik dan dialisis, zat terlarut yang tertahan membran lama-kelamaan terakumulasi atau menumpuk pada permukaan membran, mengakibatkan naiknya konsentrasi pada lapisan batas antara larutan umpan dengan permukaan membran. Peristiwa ini disebut polarisasi konsentrasi dan terbentuk gel pada permukaan membran sehingga mengakibatkan penurunan permeabilitas dan terjadi pemampatan pada permukaan membran. Penjelasan lebih lanjut mengenai polarisasi konsentrasi ini akan diuraikan pada sub bab 2.4.1.

2.3. Klasifikasi Membran

2.3.1. Berdasarkan eksistensi

Berdasarkan eksistensinya membran dibagi atas dua golongan, yaitu :

1. Membran alamiah

Membran alamiah adalah membran yang terdapat di jaringan tubuh organisme, baik sel tumbuhan, hewan maupun manusia. Fungsinya melindungi isi sel dari

pengaruh lingkungan dan membantu proses metabolisme organisme dengan sifat semi permeabilitasnya.

2. Membran sintetik

Membran sintetik adalah membran yang dibuat secara sengaja sesuai dengan kebutuhan dan disesuaikan dengan sifat membran alamiah. Membran sintetik dapat dibuat dari polimer tertentu seperti polikarbonat, polipropilen, polietilen, poliamida, nilon, selulosa asetat, dan polisulfon. Selain itu ada juga membran yang terbuat dari bahan keramik, gelas, logam, dan lain-lain.

2.3.2. Berdasarkan morfologi

Membran berdasarkan morfologinya dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Membran asimetrik

Membran asimetrik adalah membran yang mempunyai struktur pori yang tak seragam. Membran asimetrik mempunyai dua lapisan yaitu lapisan aktif dan lapisan penyangga. Lapisan aktif membran atau kulit membran yang sangat tipis mempunyai pori yang rapat dengan ketebalan 0,2-1,0 μm dan ukuran pori 1,0-10 μm . Lapisan ini adalah bagian yang langsung mengadakan kontak dengan larutan. Lapisan penyangga atau pendukung mempunyai rongga berpori dengan ukuran makin ke bawah makin besar dengan ketebalan 20-100 μm .

Membran asimetrik dibagi atas dua macam yaitu membran inversi fasa dan membran komposit. Perbedaan utama kedua jenis membran ini adalah proses pembuatannya. Perbedaan yang lain adalah membran inversi fasa hanya terdiri dari satu jenis membran, sedangkan membran komposit merupakan gabungan dua jenis

membran dengan perbandingan tertentu. Keterangan lebih lanjut tentang membran inversi fasa diuraikan pada sub bab 2.5.2.

2. Membran simetrik

Membran simetrik mempunyai struktur pori yang seragam di setiap tempat. Membran ini dapat juga dibuat melalui teknik inversi fasa, tetapi non pelarut ditambahkan pada fasa gas di atmosfer sekitarnya. Pembuatan membran dilakukan pada suatu ruangan yang tertutup dan jenuh dengan non pelarut. Penambahan non pelarut dilakukan selambat mungkin agar perubahan konsentrasi pelarut bisa berlangsung tetap. Dengan demikian struktur membran yang dihasilkan mempunyai pori yang seragam dan homogen.

2.3.3. Berdasarkan fungsi

Berdasarkan fungsinya membran dibagi atas :

1. Membran mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi berfungsi untuk menyaring makromolekul > 500.000 g/mol atau partikel dengan ukuran $0,1-10 \mu\text{m}$. Tekanan yang digunakan $0,5-2$ atm.

2. Membran ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi berfungsi untuk menyaring makromolekul > 5.000 g/mol atau partikel dengan ukuran $0,001-0,1 \mu\text{m}$. Tekanan yang digunakan $1,0-3,0$ atm.

3. Membran osmosa balik

Membran osmosa balik berfungsi untuk menyaring garam-garam organik > 50 g/mol atau partikel dengan ukuran $0,0001-0,001 \mu\text{m}$. Tekanan yang digunakan $8,0-120$ atm.

4. Membran dialisa

Membran dialisa berfungsi untuk memisahkan larutan koloid yang mengandung elektrolit dengan berat molekul (BM) kecil. Zat terlarut pada larutan dengan konsentrasi tinggi akan menembus membran menuju larutan dengan konsentrasi rendah. Jadi gaya pendorongnya adalah konsentrasi.

5. Membran elektrodialisa

Membran elektrodialisa berfungsi untuk memisahkan larutan dengan membran melalui pemberian muatan listrik. Jadi gaya pendorongnya adalah gaya gerak listrik.

2.3.4. Berdasarkan bentuk

Berdasarkan bentuknya membran dibagi atas dua macam, yaitu :

1. Membran datar

Membran datar mempunyai penampang lintang besar dan bentuknya melebar.

Membran datar dibagi lagi menjadi :

- Membran datar yang terdiri dari satu lembar saja.
- Membran datar bersusun : membran datar yang terdiri dari beberapa lembar yang disusun bertingkat-tingkat dengan menempatkan pemisah antara dua membran yang berdekatan.
- Membran spiral bergulung : membran datar yang disusun bertingkat kemudian digulung dengan pipa sentral membentuk spiral.

2. Membran tubular

Membran tubular berbentuk pipa memanjang. Membran tubular dibagi lagi menjadi tiga macam :

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

2.4. Membran Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi adalah suatu pemisahan larutan makromolekul dengan filtrasi dan gaya pendorongnya berupa tekanan. Tahun 1927 membran mikrofiltrasi mulai dikembangkan oleh Sartorius-Werke dan mempunyai pasaran yang cukup besar. Proses mikrofiltrasi dilakukan pada tekanan rendah di bawah 30 psi (1-2 atm).

Membran mikrofiltrasi mempunyai pori yang berukuran antara $0,05-10 \mu\text{m}$ sehingga mampu menahan partikel yang berukuran antara $0,1-10 \mu\text{m}$. Membran mikrofiltrasi dapat dibuat dari bahan organik seperti polimer, dan bahan anorganik seperti keramik, gelas, atau logam.

Berdasarkan konfigurasinya, membran mikrofiltrasi dapat diklasifikasikan dalam dua tipe yaitu membran dengan pori yang berliku-liku dan membran dengan pori lurus seperti kapiler. Kedua jenis konfigurasi membran menyerupai spons yang memiliki pori. Membran mikrofiltrasi yang paling sering ditemui adalah membran dengan pori berliku.

Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk pembuatan membran jenis ini antara lain : peregangan, pengetsa jejak, dan inversi fasa. Teknik-teknik pembuatan membran ini berpengaruh pada distribusi ukuran pori dan banyaknya pori. Pada pembuatan membran dengan cara peregangan, pori yang terbentuk berbentuk seperti celah. Contoh membran yang dibuat dengan cara peregangan adalah membran

Celgard yang terbuat dari polipropilen. Sedangkan pembuatan membran dengan cara pengetsan jejak ditemukan pertama kali oleh Silk dan Barnes, yang kemudian dikembangkan oleh Fleischer.⁽¹²⁾ Dengan menggunakan proses pengetsan atau penggoresan dapat dibuat membran yang lurus. Proses penggoresan ini merupakan proses meradiasi film polimer dengan sinar pada kolimator fragmen fisi sehingga meninggalkan jejak yang rusak pada celah menembus film, asalkan ketebalan film tak melebihi 15 μm . Setelah itu jejak yang terionisasi direndam dalam natrium hidroksida panas untuk pembentukan pori. Proses pembuatan membran dengan cara inversi fasa akan diuraikan tersendiri pada sub bab 2.5.2.

Aplikasi membran mikrofiltrasi meliputi skala kecil (analitik) seperti di laboratorium dan skala industri seperti : sterilisasi (makanan, kimia farmasi), air ultra murni (semikonduktor), penjernihan (sari buah), pengolahan air buangan, bioteknologi, dan medikal (plasmaporesis).⁽¹¹⁾

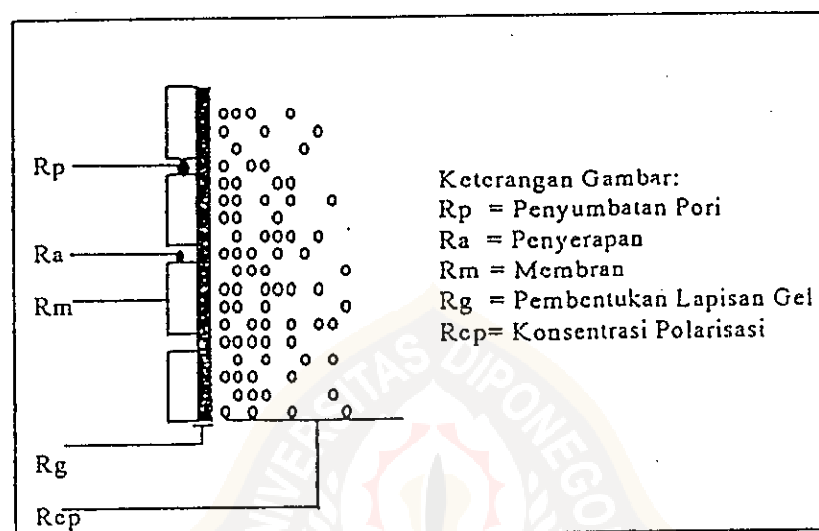
Penyaringan dengan membran mikrofiltrasi lebih baik daripada penyaringan secara konvensional. Hal ini disebabkan pada membran mikrofiltrasi pelarut mengisi pori lebih cepat sehingga lapisan aktif membran mengumpulkan pengotor lebih banyak dan sedikit pengotor yang melewati pori. Volume yang dapat disaring sebelum membran tersumbat per satuan luas dan kapasitas memuat zat pengotor pada membran pori lurus lebih kecil daripada membran pori berkeluk-luk.

2.4.1. Gejala fouling dan polarisasi konsentrasi pada membran

Selama terjadi proses pemisahan dengan membran, makin lama daya kerja membran (daya kerja sistem) dapat berubah, misalnya penurunan fluks membran.

Penurunan fluks ini diakibatkan terlalu lamanya proses pemisahan, dan terutama diakibatkan oleh penyumbatan pori-pori membran (fouling), polarisasi konsentrasi, penyerapan, dan pembentukan lapisan gel. Faktor-faktor tersebut menyebabkan bertambahnya resistensi pada sisi umpan yang menyebabkan penurunan fluks.⁽¹¹⁾

Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Tipe resistensi terhadap massa transport membran⁽¹¹⁾

Fouling adalah gejala dimana membran berpori mengalami penyumbatan saat digunakan. Bukti jelas dari peristiwa ini yaitu penurunan fluks yang berkesinambungan terhadap waktu sehingga gejalanya disebut proses irreversibel. Fouling membran bergantung pada parameter fisik dan kimia seperti konsentrasi, temperatur, pH, kekuatan ion, dan interaksi spesifik (ikatan H).

Penyebab fouling pada membran :

- lapisan endapan organik (makromolekul, bahan-bahan biologis, dsb.)
- lapisan endapan anorganik (logam hidroksida, garam-garam Kalsium, dsb.)

Gejala polarisasi konsentrasi adalah terakumulasinya umpan pada permukaan membran sehingga konsentrasinya berangsur-angsur naik. Kenaikan konsentrasi ini akan menimbulkan aliran difusi balik tetapi setelah keadaan mantap tercapai, kondisi transpor akan stabil sehingga gejalanya disebut proses reversibel, namun pada prakteknya penurunan fluks yang berkesinambungan sering terjadi.

2.4.2. Cara menanggulangi fouling dan polarisasi konsentrasi

Cara menanggulangi fouling dan polarisasi konsentrasi meliputi :

1. Perlakuan awal pada larutan umpan

Metode perlakuan awal meliputi : perlakuan panas, penyesuaian pH, penambahan senyawa kompleks, klorinasi, penyerapan pada karbon aktif, penjernihan kimia, dan mikrofiltrasi awal. Perlakuan awal pada larutan umpan sangat menentukan pengurangan fouling. Pada penelitian ini, perlakuan awal terhadap umpan air sungai Kaligarang adalah menyaring dengan menggunakan kain.

2. Sifat-sifat membran

Perubahan pada sifat-sifat membran dapat mengurangi fouling. Fouling pada membran berpori (mikrofiltrasi, ultrafiltrasi) umumnya lebih besar daripada membran yang tebal (penguapan, osmosa balik). Distribusi pori yang sempit dapat mengurangi fouling. Penggunaan membran yang bersifat hidrofil lebih disukai daripada membran yang bersifat hidrofob karena secara umum protein menyerap lebih kuat pada permukaan membran yang hidrofob.

Polarisasi konsentrasi dapat dikurangi dengan menambah golongan dan geseran aliran dekat permukaan membran, melakukan pencucian secara berkala, mengurangi

tekanan, mengurangi kadar makro terlarut (BM tinggi), mempertinggi suhu, dan memperbesar kelarutan makromolekul tadi.

Pada prakteknya cara pencucian yang paling sering (selalu) dilakukan.

Metode pencucian dapat dibedakan menjadi 3 bagian :

1. Pencucian balik

Pencucian balik ini hanya dapat dipakai pada membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Prinsipnya adalah pada saat proses filtrasi berjalan, tekanan umpan dibebaskan dan arah permeat dibalik dari sisi permeat ke sisi umpan untuk mengangkat lapisan fouling di dalam maupun pada permukaan membran. Pencucian ini biasanya menggunakan air, permeat, atau udara.

2. Pencucian mekanik

Pencucian mekanik yaitu dengan menggunakan sepon.

3. Pencucian kimia

Pencucian kimia merupakan metoda paling utama untuk mengurangi fouling. Pencucian kimia yaitu dengan menambahkan zat kimia pada membran dalam jangka waktu tertentu. Zat kimia yang biasa digunakan adalah : asam, basa, detergen, enzim, senyawa kompleks, dan desinfektan.

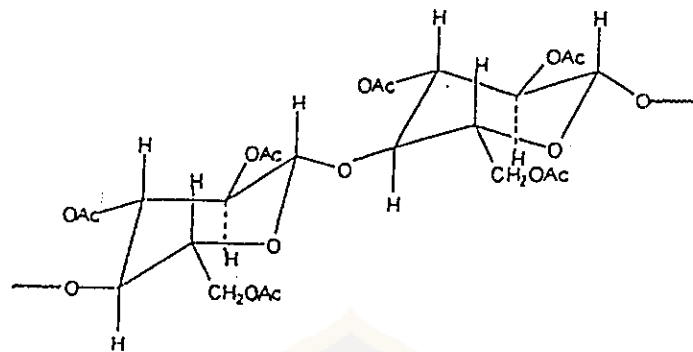
2.5. Pembuatan Membran

2.5.1. Bahan dasar pembuatan membran

2.5.1.1. Selulosa asetat

Selulosa asetat adalah padatan yang tidak beracun, tidak berbau, tidak berasa dan berwarna putih. Selulosa asetat merupakan ester yang paling penting yang berasal

dari asam organik dan sekarang ini telah banyak menggantikan selulosa nitrat dalam banyak produk, misalnya film-film fotografik, gambar bioskop dan pita magnetik tape recorder. Film-film yang dihasilkan selulosa asetat mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya kekuatannya lebih baik, bahan tidak mudah terbakar, lembut untuk dicetak, merupakan penyerap air yang tinggi, dan mengkilat.



Gambar 2.2.. Struktur selulosa asetat⁽¹³⁾

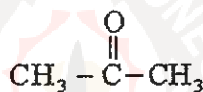
Sifat-sifat selulosa asetat ditentukan oleh derajat substitusi (DS) dan kelarutannya. Derajat substitusi didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gugus OH selulosa yang tersubstitusi oleh reagen kimia yang berhubungan (gugus asetil dari asam asetat anhidrid).⁽¹³⁾ Selulosa asetat yang mempunyai kadar asetil > 43% larut dalam CHCl_3 , tapi tidak larut dalam aseton, kadar asetil 37-42% larut dalam aseton dan tidak larut dalam CHCl_3 , kadar asetil 24-32% larut dalam 2-metoksi etanol dan tidak larut dalam aseton sedangkan kadar asetil < 13% larut dalam semua pelarut. Pelarut yang umum dipakai adalah aseton, sedangkan untuk triasetat adalah metil asetat, dimetil formamida dan hidrokarbon terklorinasi.

Penggunaan selulosa asetat sebagai membran telah diteliti sejak tahun 1950 oleh Reid dan Breton dari Universitas Florida. Dengan menggunakan membran

selulosa asetat, garam dapat dipisahkan dari air laut. Kemudian disusul oleh Loeb dan Sourirajan dari UCLA yang mengembangkannya sehingga menghasilkan membran selulosa asetat dengan struktur asimetrik.

2.5.1.2. Aseton

Aseton mempunyai massa rumus 58,08, merupakan keton cair yang harum dan tidak berwarna, mempunyai titik lebur $-94,6^{\circ}\text{C}$, dan massa jenisnya 0,792. Aseton juga dikenal sebagai dimetil keton atau propanon, senyawa ini dapat bercampur dengan baik dengan air, alkohol, atau eter. Aseton adalah pelarut yang penting dan digunakan secara luas dalam pembuatan plastik dan cairan (lacquer). Aseton diproduksi dalam jumlah yang besar dan digunakan dalam banyak sintesa organik.⁽¹⁴⁾

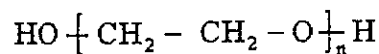


Gambar 2.3. Struktur Aseton

2.5.1.3. Polietilen glikol (PEG)

Polietilen glikol (PEG) dengan BM 200-20.000 merupakan polieter yang terbentuk melalui polimerisasi cincin terbuka yang dikatalisa oleh basa. Reaksi ini diawali dengan penambahan alkilena oksida pada glikol yang bersesuaian, dengan penambahan natrium atau kalium hidroksida sebagai katalis. PEG dengan BM sedang ini tidak berwarna dan tidak berbau, serta mempunyai kadar racun yang rendah bagi manusia. Contoh penggunaan komersial adalah dalam pembuatan keramik, pembentukan logam, dan operasi pemrosesan karet; bahan dasar obat supositoria, dan

dalam krim kosmetik, air pembersih (lotion) dan penghilang bau busuk (deodoran), dan sebagainya.⁽¹⁵⁾



Gambar 2.4. Struktur polietilen glikol

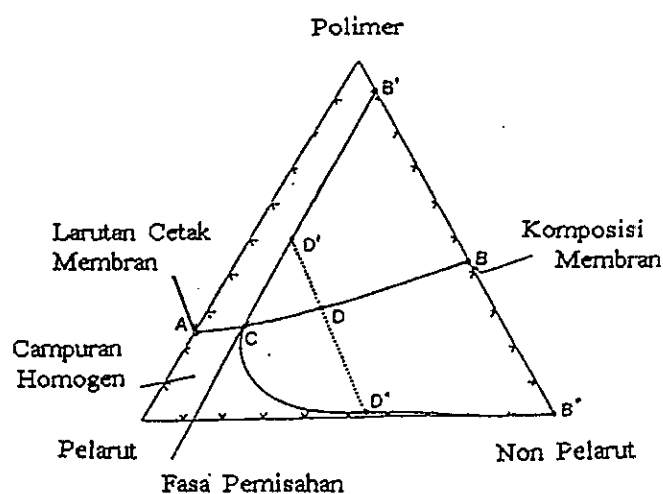
2.5.1.4. Litium klorida

Litium klorida (LiCl) mempunyai titik lebur 608° C, larut dalam air dan alkohol, dan sangat higroskopis. LiCl digunakan dalam sistem penyerap kelembaban (dehumidifikasi), sebagai aditif dalam elektrolit dari sel kering untuk aplikasi suhu rendah, digunakan dalam sistem pemadam api, sebagai pelapis dalam instrumen pendeteksi kelembaban, dan sebagainya.⁽¹⁴⁾

2.5.2. Mekanisme pembentukan membran

Konsep inversi fasa pada membran jenis ini berdasarkan proses pembuatannya. Pembuatan membran ini melibatkan dua fasa yaitu fasa cair yang akan berubah menjadi fasa padat. Pada fasa padat, membran mempunyai dua lapisan akibat pengaruh penguapan pada saat pencetakan. Kedua lapisan ini adalah lapisan aktif dan lapisan penyangga. Lapisan aktif adalah lapisan yang kontak langsung dengan materi. Lapisan ini merupakan lapisan yang selektif terhadap berbagai materi umpan sedangkan lapisan penyangga berfungsi untuk menyangga lapisan aktif.

Mekanisme pembuatan membran dapat diterangkan melalui pendekatan diagram fasa seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.^(16,17)



Gambar 2.5. Diagram fasa pembentukan membran⁽¹⁶⁾

Seluruh sistem pada diagram tersebut dibagi menjadi dua daerah penting yaitu daerah fasa tunggal dan fasa ganda. Sesuai dengan namanya diagram terner ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu polimer, pelarut dan non pelarut. Fasa tunggal membentuk larutan homogen. Titik A menunjukkan larutan cetak membran yang mengandung polimer dan pelarut. Pada proses gelasi dalam non pelarut terjadi difusi pelarut ke non pelarut sampai titik C, pada titik C mulai terbentuk fasa ganda. Proses gelasi lebih lanjut menyebabkan semua pelarut akan berdifusi seluruhnya ke non pelarut dan berhenti pada B. Titik B adalah komposisi membran secara keseluruhan.

Proses penguapan terjadi setelah pencetakan film membran dan sebelum proses gelasi. Proses penguapan menyebabkan lapisan atas membran kekurangan pelarut, titik B¹. Dengan demikian lapisan atas membran mempunyai komposisi yang kaya akan polimer. Proses di atas adalah suatu pendekatan keseluruhan terhadap proses sebenarnya sebab proses sesungguhnya dalam pembentukan membran tidak semudah itu dan bukan kesetimbangan.

2.6. Karakterisasi Membran

Membran perlu dikarakterisasi untuk mengetahui sifat-sifat membran yang dihasilkan dan memastikan apakah membran dapat digunakan sesuai dengan yang diperlukan. Sifat-sifat khas membran ditentukan oleh sifat kimia maupun fisika membran, seperti : kristalinitas, kepolaran, dan statistika pori.

2.6.1. Kristalinitas

Derajat kristalinitas suatu membran mempengaruhi permeabilitas, selektifitas, dan sifat mekanik membran. Jika derajat kristalinitas besar maka membran bersifat kurang elastis dan juga kekuatan tariknya akan kecil, demikian pula sebaliknya. Kristalinitas polimer akan mempengaruhi pembentukan pori dan ketahanan membran terhadap pengaruh perubahan fisik seperti tekanan dan temperatur.

2.6.2. Kepolaran membran

Sifat kepolaran membran memiliki hubungan yang penting dengan fungsi yang optimum dalam membran dan efeknya pada proses pembuatan. Bila suatu membran mempunyai kepolaran yang hampir sama dengan kepolaran larutan umpan, maka membran akan memiliki permeabilitas yang tinggi, sebab membran yang polar akan mudah menarik molekul yang polar dan akan menolak molekul yang non polar; demikian pula sebaliknya.

Membran dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu membran polar dan non polar. Contoh membran polar adalah membran poliamida aromatis yang mudah menarik molekul yang polar dan menolak molekul non polar. Contoh membran non

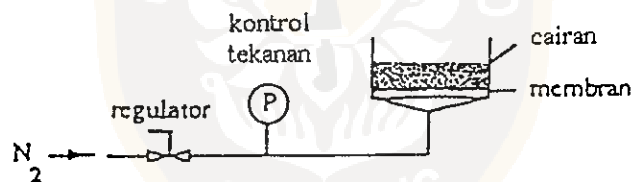
polar adalah selulosa asetat. Selulosa asetat mempunyai permeabilitas yang kecil pada pelarut polar tetapi mempunyai permeabilitas yang besar pada pelarut non polar. Membran selulosa asetat akan memisahkan garam dari air dengan baik karena membran selulosa asetat menolak garam dan lebih mudah menarik air. Air dapat masuk dalam pori membran dan berdifusi akibat tekanan.

2.6.3. Statistika pori

Statistika pori meliputi ukuran pori, distribusi pori, kerapatan pori, dan rongga dalam membran. Metode yang digunakan adalah :

2.6.3.1. Metode titik gelembung

Metode titik gelembung memberikan informasi tentang diameter pori maksimum suatu membran.



Gambar 2.6. Skema alat pengujian titik gelembung⁽¹¹⁾

Membran yang akan ditentukan porinya dibasahi, kemudian satu sisi membran diberi tekanan. Sebuah gelembung udara akan menembus membran dengan jari-jari gelembung sama dengan jari-jari pori. Ini berarti bahwa sudut kontaknya nol dan $\cos \theta = 1$. Penembusan pertama kali terjadi melalui pori yang terbesar dan tekanan

pada saat terbentuk gelembung pertama kali disebut tekanan titik gelembung. Jari-jari pori dihitung dengan persamaan Laplace :

$$r = \frac{2\gamma}{P} \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : r = jari-jari pori
 γ = tegangan permukaan cairan-udara
 P = tekanan

Variasi dari metode titik gelembung adalah pencampuran merkuri. Metode ini dapat menentukan ukuran pori dari 5 nm sampai 10 μ m. Karena merkuri tidak membasahi membran maka sudut kontaknya lebih besar dari 90° sehingga $\cos \theta$ berharga negatif. Persamaan (1) menjadi :

$$r = -\frac{2\gamma}{P} \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

2.6.3.2. Metode Hagen-Poiseuille

Ukuran pori dapat diperoleh dengan mengukur fluks yang melalui membran pada tekanan konstan dengan persamaan Hagen-Poiseuille.

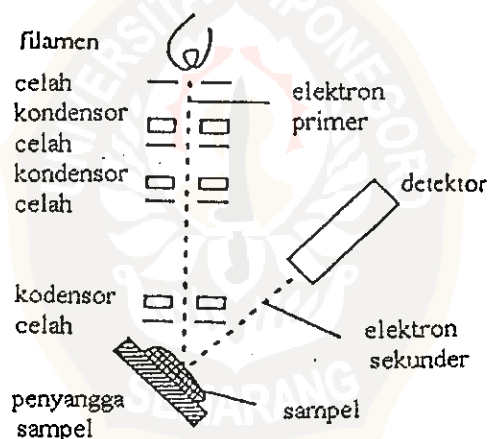
$$J = \frac{\varepsilon r^2 \Delta P}{8 \eta \tau \Delta X} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : J = fluks yang melalui membran dengan gaya penggerak $\Delta P / \Delta X$
 ΔP = perbedaan tekanan
 ΔX = ketebalan membran
 r = jari-jari pori
 η = viskositas cairan
 ε = porositas membran (πr^2)
 τ = faktor tortuositas

Persamaan Hagen-Poiseuille digunakan untuk menghitung membran dengan pori-pori silinder.

2.6.3.3. Pengamatan dengan mikroskop elektron

Dengan alat Scanning Electron Microscopy (SEM) dapat dilihat struktur membran seperti permukaan atas, penampang lintang, lapisan penyangga dan distribusi ukuran pori. Batas resolusi mikroskop elektron sederhana berkisar $0,01 \mu\text{m}$ (10nm). Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut : elektron-elektron dengan energi kinetik 1-25 kv menumbuk sampel (membran). Elektron yang menumbuk disebut elektron primer (energi tinggi), sedangkan elektron yang direfleksikan disebut elektron sekunder. Elektron sekunder (energi rendah) dibebaskan dari atom-atom di permukaan menuju detektor. Elektron-elektron sekunder ini yang memberikan gambaran yang terlihat di layar atau mikrografik.



Gambar 2.7. Prinsip kerja SEM⁽¹¹⁾

2.6.3.4. Ketebalan membran

Ketebalan membran merupakan suatu tetapan membran. Ketebalan mempengaruhi sifat-sifat membran terutama permeabilitas. Membran yang tebal akan

menurunkan permeabilitas. Oleh karena itu, pada pembuatan membran perlu dipertimbangkan faktor ketebalan membran.

2.6.3.5. Permeabilitas

Permeabilitas sering disebut sebagai kecepatan permeat atau fluks adalah ukuran kecepatan suatu spesi melewati membran persatuan luas dan waktu dengan gradien tekanan sebagai gaya pendorong. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah jumlah dan ukuran pori, interaksi antara membran dan larutan umpan, viskositas larutan umpan serta tekanan dari luar.⁽¹¹⁾ Fluks (J) dirumuskan sebagai :

$$J = \frac{V}{A \cdot t \cdot P} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : V = volume permeat (L)
 A = luas permukaan membran (m²)
 t = waktu (jam)
 P = tekanan (atm)

2.6.3.6. Selektifitas

Selektifitas yang parameternya dinyatakan sebagai koefisien penolakan atau koefisien rejeksi adalah ukuran kemampuan membran menahan suatu spesi. Faktor yang mempengaruhi selektifitas adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, interaksi antara membran dan larutan umpan dan ukuran pori.⁽¹¹⁾

Koefisien rejeksi (R) dirumuskan sebagai :

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : C_p = konsentrasi permeat
 C_r = konsentrasi umpan

2.7. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Karakteristik Membran

Proses pembuatan membran merupakan faktor yang sangat mempengaruhi karakteristik suatu membran. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pembuatan membran adalah komposisi larutan cetak membran, waktu penguapan dan pemilihan sistem pelarut/non pelarut.

2.7.1. Komposisi larutan cetak

Peranan komposisi larutan cetak pada karakteristik membran sangat penting karena melalui pengaturan komposisi membran dapat dihasilkan membran yang sesuai dengan keinginan dan kegunaan membran. Komposisi polimer dalam larutan cetak sangat mempengaruhi karakteristik membran. Karena sifat selektifitas membran berbanding terbalik dengan sifat permeabilitas membran, maka kadar polimer yang tinggi akan membentuk membran yang sifat selektifitasnya tinggi, tetapi sifat permeabilitasnya rendah.

Agar diperoleh membran yang mempunyai sifat selektifitas dan permeabilitas yang tinggi serta sifat mekanik yang baik maka digunakan bahan aditif. Fungsi dari bahan aditif pada membran adalah memperbanyak dan memperbesar pori pada membran. Untuk itu bahan aditif harus bersifat larut baik pada pelarut maupun pada non pelarut polimer. Selain itu aditif juga mempengaruhi struktur membran yang terbentuk, dimana aditif ini merubah koefisien aktifitas dari polimer, pelarut dan non pelarut. Aditif seperti garam, gula, dan gliserin dalam non pelarut akan mengurangi kecepatan pengendapan sehingga struktur membran yang terbentuk adalah tipe bunga karang yang rapat, sedangkan dalam larutan cetak umumnya akan meningkatkan

kecepatan pengendapan sehingga struktur yang terbentuk adalah tipe jari. Untuk aditif yang lain seperti benzen dalam larutan cetak akan mengurangi kecepatan pengendapan sehingga struktur membran yang terbentuk adalah tipe bunga karang.

2.7.2. Waktu penguapan

Waktu penguapan pelarut setelah pencetakan membran turut menentukan sifat-sifat membran yang terbentuk. Pelarut aseton berdifusi ke atmosfer sehingga terbentuk lapisan tipis pada permukaan membran bagian atas. Lapisan tipis ini disebut juga lapisan aktif. Lapisan aktif ini kekurangan aseton akibat proses difusi. Pada saat yang bersamaan pada permukaan bagian bawah membran terbentuk lapisan yang kaya akan aseton. Hal ini diakibatkan oleh aseton pada lapisan ini sukar mengalami proses difusi. Lapisan ini disebut juga lapisan penyangga. Pada proses gelasi, aseton akan mengalami difusi ke air yang dalam hal ini adalah non pelarut. Karena lapisan penyangga kaya akan aseton maka bagian ini mempunyai pori yang lebih banyak dibandingkan dengan lapisan aktif membran. Hal ini disebabkan karena pori pada membran juga dibentuk oleh ruang yang ditinggalkan oleh aseton pada proses gelasi.

2.7.3. Pemilihan sistem pelarut/non pelarut

Pada pembuatan membran dengan inversi fasa maka polimer harus dapat larut. Meskipun terdapat lebih dari satu pelarut yang cocok untuk polimer, namun pelarut dan non pelarut harus saling campur. Air sering digunakan sebagai non pelarut. Beberapa pelarut untuk selulosa asetat saling larut dengan air adalah :

dimetilformamida, dimetilasetamida, aseton, dioksan, tetrahidrofuran, asam asetat dan dimetilsulfosida.

