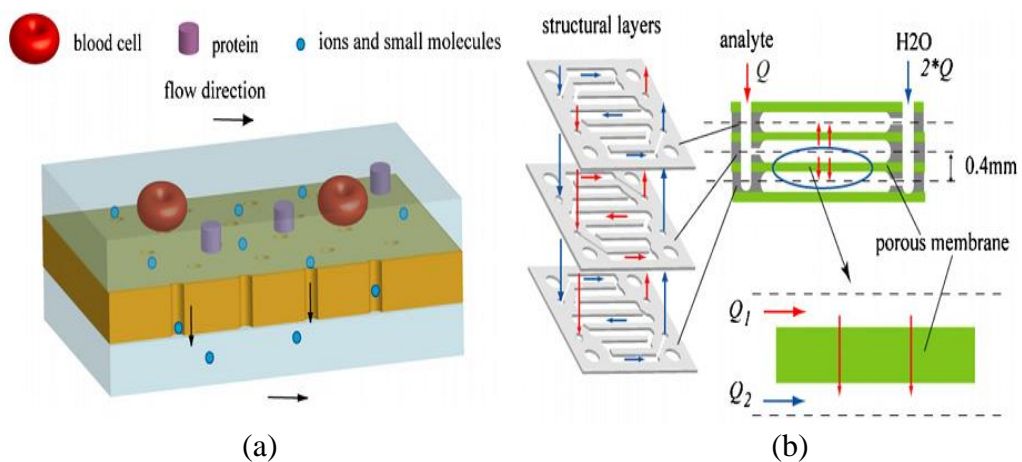


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Membran *Microfiltration*

Perkembangan teknologi membran pada berbagai bidang khususnya pada dunia kesehatan terus mengalami perkembangan dengan pesat, salah satu aplikasi membran pada dunia kesehatan yang terus dikembangkan adalah alat dialisis berbasis *Microfiltration* menggunakan membran *semipermeable* sebagai media filtrasinya dengan bentuk yang lebih minimalis, *biocompatibility*, serta memiliki nilai permeabilitas yang tinggi. Semakin tinggi nilai permeabilitas dari suatu membran maka semakin baik pula kinerja dari membran tersebut. Gu dan Miki (2009) melakukan sebuah penelitian tentang *Wearable Artificial Kidney* (WAK) yaitu sebuah ginjal buatan berbasis *Microfilter* dengan sistem *Multilayered* (lapisan bertingkat) yang bersifat lebih fleksibel berfungsi untuk memisahkan limbah metabolisme dari dalam tubuh. Prinsip kerja dari WAK tersebut, menggunakan membran *semipermeabel* yang disusun secara berlapis menggunakan *structural layers* (plat tipis) terbuat dari material *Stainless steel SS 316L* berfungsi sebagai *Micro chamber* (ruang mikro) yang digunakan sebagai tempat aliran darah dan *dialysate* (Setyawan, 2016).



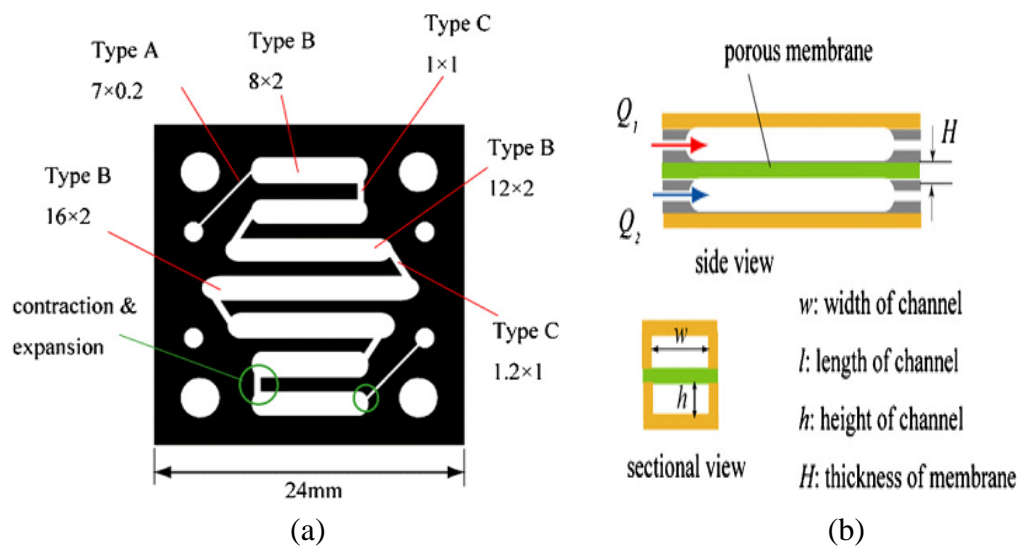
Gambar 2. 1. (a) Pemisahan selektif menggunakan membran berpori pada proses hemodialisis, (b) Struktur dari *Microfilter* berlapis (Gu dan Miki, 2009)

Secara geometris desain *structural layers* yang digunakan oleh Gu dan Miki di jelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Parameter geometris desain *structural layers* dan diukur setelah fabrikasi, dan aliran masuk pada tekanan masukan dari 10 kPa oleh perhitungan.

Feature	Parameter in design			Parameter measured		
	Channel A	Channel B	Channel C	Channel A	Channel B	Channel C
Width x height (mm <sup>2</sup> )	0.4*0.2	2 x 0.2	1 x 0.2	0.6 x 0.2	22 x 0.2	1.2 x 0.2
Total length (mm)	7 x 2	8 x 4 + 12 x 2 + 16	$\frac{\sqrt{13}}{8^3} \times 4 + 2$	5 x 2	8 x 4 + 12 x 2 + 16	6
Fraction of pressure	525	39.5	8	34.4	56.5	9.1
Loss (%)						
Theoretical flow rate		4.62			7.32	
Under 10 kPa (ml min <sup>-1</sup> )						

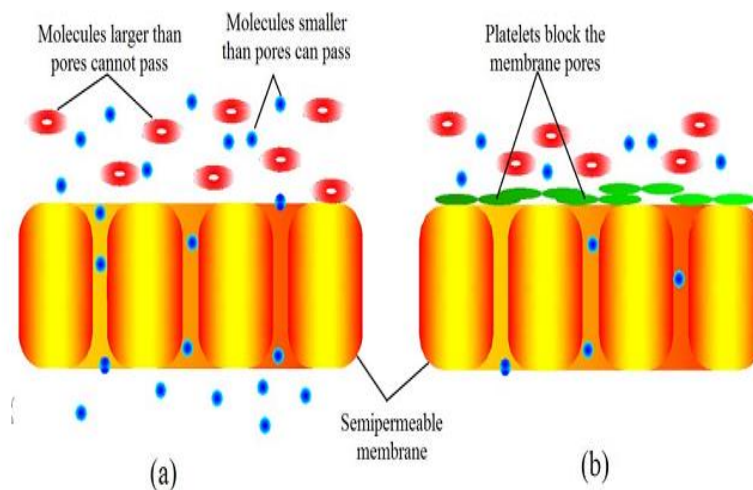
Sumber: (Gu dan Miki 2009)



Gambar 2. 2. (a) Bentuk *structural layer*, (b) Aliran pada *Micro channel* (Gu dan Miki, 2009)

Membran yang digunakan, dibuat menggunakan PES dengan *molecular weight* 4800 (Sumitomo Chemical Co), *Polivinilpirolidon* (PVP) dengan *molecular weight* 35000 (Wako Pure Chemical Industries, Ltd) yang bertindak sebagai zat aditif serta NMP (Kimia Murni Wako Industries, Ltd) sebagai pelarutnya. Rasio perbandingan dari masing-masing bahan tersebut yaitu 20% : 20% : 60%.

Membran *semipermeable* adalah suatu selaput atau lapisan yang sangat tipis dan mempunyai pori *sub-microscopic*  $< 2$  nm. Dimana partikel dengan bagian molekul *small dan middle molecular* (molekul kecil dan sedang) seperti *natrium*, *kalium*, dan *urea*, dapat melewati pori-pori membran, sedangkan partikel dengan bagian *large molecular* (molekul besar) seperti protein tidak dapat melalui pori-pori membran tersebut (To, dkk. 2015).



Gambar 2. 3. (a) Proses difusi dimana hanya berat molekul yang kecil saja bisa melewati pori dari membran (b) Keadaan dimana terjadinya *fouling* (penyumbatan) pada membran (Prihandana, dkk. 2013)

Dalam proses filtrasi, terbagi beberapa macam mekanisme filtrasi seperti: *Microfiltration*, *Ultrafiltration*, *Nano filtration*, dan Reverse osmosis (Jaffrin, 2015). Menurut Maria dan Kusuma (2013) *Microfiltration* atau yang sering disingkat dengan (MF) adalah suatu proses dengan *driving force* (gaya dorong) beda tekanan, dimana koloid tersuspensi dan partikel dengan ukuran 0.1-20  $\mu\text{m}$  dapat ditahan oleh membran dengan pori-pori berukuran micro. MF biasanya

dioperasikan pada *Trans Membran Pressure* (TMP) yang relative rendah ( $< 50$  psi atau 3,4 bar atau 0,35 Mpa) dan fluks permeatannya sangat tinggi ( $10^{-4} - 10^{-2}$  m/s untuk membran tanpa *fouling*). Sedangkan membran yang berbasis *Microfiltration* merupakan membran dengan poros asimetrik, dengan ketebalan 10-150  $\mu\text{m}$ , memiliki ukuran pori 0.05-10 $\mu\text{m}$ , dan *driving force* yang diizinkan  $< 2$  bar.

Tabel 2. 2. Berat molekul dan ukuran partikel yang dapat dipisahkan oleh beberapa proses filtrasi

Type Filtrasi	Ukuran Partikel	Berat Molekul (Dalton)
Mikro Filtrasi	$\geq 0,1\mu\text{m}$	$\geq 500.000$
Ultra Filtrasi	0,01 – 0,1 $\mu\text{m}$	1000 – 500.000
Nano Filtrasi	0,001 – 0,01 $\mu\text{m}$	100 - 1000
Reverse Osmosis	$\leq 0,001\mu\text{m}$	$\leq 100$

Sumber: (Said, 2009)

## 2.2 Jenis Aliran Pada Proses Filtrasi

Dalam proses filtrasi menggunakan membran, jenis aliran yang digunakan dapat di kalasifikasikan menjadi dua metode yaitu:

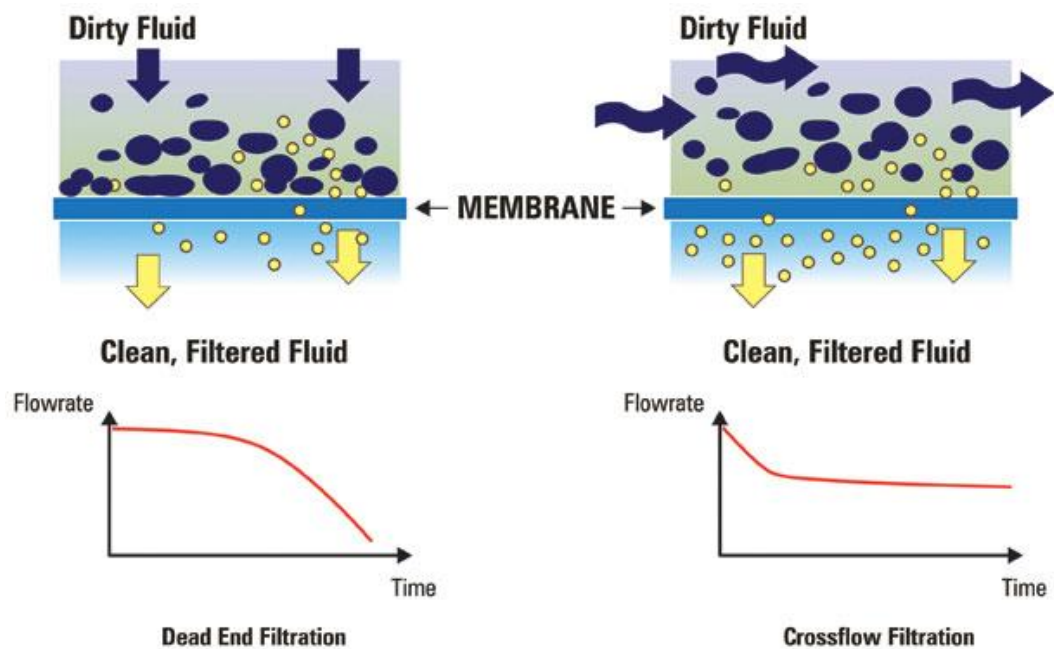
### 2.2.1 *Crossflow filtration*

Merupakan sistem aliran yang digunakan pada proses filtrasi dimana umpan dialirkan melalui suatu membran dengan arah aksial (sejajar) dengan hanya sebagian saja yang melewati pori membran untuk menghasilkan permeate, sedangkan aliran pelarut akan melewati permukaan membran sehingga larutan, koloid dan padatan yang tersuspensi yang tertahan oleh membran akan terus terbawa menjadi aliran balik (Notodarmojo, dkk 2004).

### 2.2.2 *Dead end*

Merupakan sistem aliran pada proses filtrasi dimana umpan dialirkan melalui suatu membran dengan arah tegak lurus dan partikel tertahan pada membran, dengan demikian fluida umpan mengalir pada tahanan membran dan tahanan penumpukan pada permukaan membran (Mallack, dkk.1997 dalam Notodarmojo, dkk 2004). Jenis aliran ini memiliki kelemahan karena prinsip

kerjanya fluida di alirkan secara tegak lurus maka akan lebih cepat terjadinya *fouling*.



Gambar 2. 4. Jenis aliran pada proses filtrasi (<http://highlandfluid.com>)

Tinggi tidaknya nilai permeabilitas dari membran sangat ditentukan oleh dua faktor yaitu *water flux* dan banyaknya koefisien yang mampu terdifusi. Pada proses *Microfiltration*, nilai dari *water flux* dan koefisien difusi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah pori-pori pada permukaan membran, diameter pori-pori, perbedaan tekanan pada membran, tebal efektif membran dan juga kerapatan serta keseragaman pori-porinya. Sifat mekanik dan struktur pori merupakan salah satu parameter dalam penentuan karakteristik membran. Sifat fisik, mekanik, dan struktur pori sangat dipengaruhi oleh jenis bahan pembuat dan proses pembuatan membran. Sedangkan kinerja atau penampakan membran pada saat pengoperasiannya terutama ditentukan oleh distribusi dan ukuran porinya (Mallevalle, 1996 dalam Anwar, 2006).

*Water flux* adalah jumlah volume permeate (hasil dari proses filtrasi) yang diperoleh pada operasi membran per-satuan luas permukaan membran dan per-satuan waktu. (Scott, dan Hughes, 1996 dalam Anwar, 2006) Sedangkan koefisien difusi adalah

banyaknya partikel-partikel yang mampu terdifusi oleh membran dengan waktu tertentu. Untuk mencari besarnya nilai *water flux* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.1

$$\text{Water flux} = \frac{L}{A \times h \times p} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- Wf = *Water flux* (ml/mm<sup>2</sup>/h.mmHg)
- L = Volume permeate (ml)
- A = Luas area membran (mm<sup>2</sup>)
- h = Lama waktu proses difusi (hour)
- p = Tekanan pembuluh arteri (mmHg)

Besarnya nilai dari koefisien difusi dapat di tentukan menggunakan persamaan 2.2 dimana nilai konduktivitas termal diukur menggunakan satuan *microsiemens* (μs).

$$D_c = \frac{Q \times H}{A} \times \ln \left[ \frac{C_B - C_A}{C_{B'} - C_{A'}} \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- Dc = Koefisien difusi (mm<sup>2</sup>/s)
- Q = *Flow rate* (ml/menit)
- H = Ketebalan membran (mm)
- A = Luas area membran (mm<sup>2</sup>)
- CB = Konduktivitas akuades (μs)
- CB' = Konduktivitas akuades terdifusi (μs)
- CA = Konduktivitas NaCl (μs)
- CA' = Konduktivitas NaCl terdifusi (μs)

Selain besarnya nilai dari pada *water flux* dan koefisien difusi yang harus ditentukan, maka besarnya nilai *water contact angle* juga harus diketahui. *Water contact angle* adalah suatu parameter yang digunakan untuk mengetahui sifat

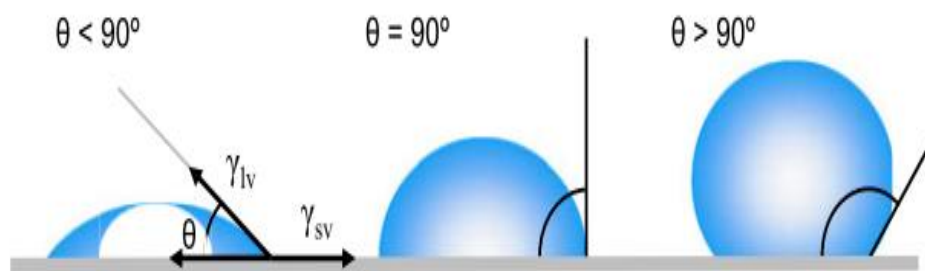
hidrofobik atau hidrofilik dari pada membran dengan mengukur sudut kontak yang terbentuk dari air saat berinteraksi pada permukaan membran. Secara teori jika sudut kontak yang terbentuk kurang dari  $90^\circ$  maka membran memiliki sifat hidrofilik, yang artinya tidak membutuhkan gaya dorong yang besar membuat air meresap kedalam membran. Sedangkan jika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari  $90^\circ$  maka menunjukkan memiliki sifat yang lebih hidrofobik, yang artinya membutuhkan *driving force* yang lebih untuk membuat air dapat meresap kedalam membran (Yoon, Seong H. 2015). Besarnya nilai dari *water contact angle* dapat dicari dengan persamaan 2.3.

$$\omega A = \gamma_w (1 + \cos \phi) \dots\dots\dots(2.3)$$

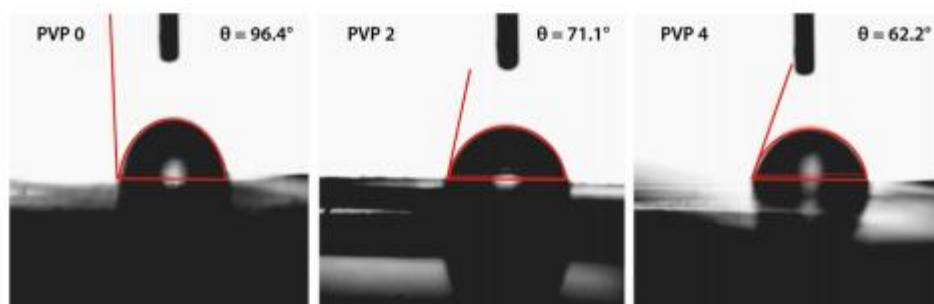
Dimana:

$\gamma_w$  = adalah tegangan permukaan air ( $7,2 \times 10^{-2}$  N / m)

$\phi$  = Sudut



Gambar 2. 5. Sudut dari *water contact angle* yang terbentuk pada permukaan membran (Yuan, Y. dan Lee, R.T. 2013)



Gambar 2. 6. *Water contact angle* (Kanagaraj, dkk. 2015)

Radiman, dkk (2012) menjelaskan bahwa menggunakan PES sebagai bahan dasar dalam pembuatan membran juga memiliki kelemahan yaitu karena sifatnya yang hidrofobik (tidak suka air). Hal tersebut menyebabkan permeabilitasnya untuk sistem larutan air tidak terlalu baik, dampak lain yang terjadi adalah sering terbentuknya *fouling* karena terjadinya pengendapan partikel-partikel di permukaan membran pada saat proses filtrasi, sehingga menyebabkan nilai *water flux* yang dihasilkan menurun serta umur pakai membran menjadi lebih pendek karena membran sangat mudah rusak. Untuk itu, perlu adanya penambahan zat aditif pada membran seperti PEG yang bertujuan untuk meningkatkan atau memodifikasi sifat-sifat mekanik, kimia, dan fisik pada membran, serta memperbaiki karakteristik dari pada PES yang semula bersifat hidrofobik menjadi hidrofilik (suka air). Penambahan PEG sebagai zat aditif pada membran dimaksudkan untuk memperbesar pori-pori pada membran dengan tetap menjaga ketahanan membran terhadap faktor eksternal. Dapat dijelaskan bahwa PEG pada awalnya mengisi matriks dari membran selulosa asetat yang terbentuk. Selanjutnya dalam proses difusi antara pelarutan dengan non pelarut, aditif bersama dengan pelarut akan larut ke dalam non-pelarut meninggalkan rongga pada matriks PES yang di tempatinya sehingga terbentuklah pori-pori pada membran. Karena hal tersebut nilai *flux* yang dihasilkan akan jauh lebih tinggi (Akhlus dan Widiastuti, 2005 dalam Rosnelly, 2012).

Selain menggunakan metode *phase inversion* (perubahan dari fase cair ke fase padat) Cheng, dkk. (2012) juga melakukan sebuah terobosan baru dalam penelitiannya, yang dimaksudkan untuk dapat meningkatkan nilai permeabilitas serta memperbaiki struktur permukaan terhadap membran PES. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut, yaitu dengan cara *coating* (pelapisan) menggunakan *Polydopamine* (PD), dan memberikan beberapa variasi rasio perbandingan pada campuran bahan dalam proses pembuatan *casting solution* (campuran bahan utama pembuat membran). Dilihat pada Tabel 2.3 zat aditif yang digunakan adalah PEG dengan *molecular weight* yang divariasikan, hal tersebut juga dilakukan terhadap banyaknya jumlah PEG yang di tambahkan.



Tabel 2. 3. Perbandingan komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan membran

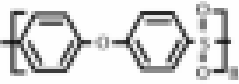

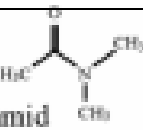
NO	PES (g)	PEG (g)	DMAc (g)
FES	16	0	84
FES-PEG-300	16	4	84
FES-PEG-600	16	6	84
FES-PEG-1000	16	13.33	84

(Sumber: Cheng, dkk. 2012)

Penelitian yang sama juga dilakukan Radiman, dkk. (2012) untuk mengatasi permasalahan yang sama terhadap membran PES. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut, menggunakan *Phase inversion* dalam pembuatan membrannya. Media gelatinasi yang digunakan divariasikan menjadi dua variasi yaitu menggunakan metanol yang bertindak sebagai pelarut dengan penambahan akuades sebagai non pelarutnya dan menggunakan akuades tanpa penambahan metanol.

Variasi media gelatinasi yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan yang terjadi terhadap morfologi membran terhadap nilai permeabilitasnya jika membran yang dibuat menggunakan media gelatinasi dari metanol dengan penambahan akuades serta media gelatin hanya menggunakan akuades. Dalam metode *Phase inversion*, jenis pelarut yang digunakan sangat berpengaruh terhadap nilai permeabilitas membran. Hal tersebut dikarenakan karakteristik pori-pori yang terbentuk seperti diameter pori-pori, keseragaman pori-pori dan kerapatan pori-pori ditentukan oleh jenis pelarutnya. To, dkk. (2015) juga melakukan penelitian yang sama terhadap membran PES. Metode pembuatan membrannya juga sama menggunakan *Phase inversion*, tetapi pada penelitian tersebut jenis pelarut yang digunakan pada media gelinasinya bukan menggunakan NMP melainkan menggunakan DMAc, dengan memberikan perbandingan rasio yang berbeda terhadap komposisi utama pembuatan membrannya. Pada Tabel 2.4. di jabarkan masing-masing dari perbandingan rasio tersebut.

Tabel 2. 4. Rasio perbandingan masing-masing komposisi bahan pembuat membran

No	Bahan Yang Digunakan			Keterangan Gambar
	PES (g)	PEG (g)	DMAc (ml)	
1	10.0	83	81.7	solute  MW: 4800 PES: Polyethersulfone
2	12.	10.4	77.1	
3	15.0	12.5	72.5	solvent  PEG: Polyethyleneglycol
4	17.5	14.5	68.0	
5	20.0	16.7	63.3	
6	22.5	18.8	58.7	additive  DMAc: N,N-Dimethylacetamid
7	25.0	20.8	54.2	

(Sumber: To, dkk. 2015)

Peranan pelarut merupakan parameter lain yang memiliki peran yang sangat penting terhadap sifat dan morfologi membran yang dihasilkan. Dalam pembuatan membran selulosa asetat dapat menggunakan dua macam jenis pelarut. Sistem selulosa asetat atau menggunakan air menghasilkan membran yang mempunyai tipe membran yang rapat. Beberapa pelarut jenis yang digunakan untuk pembuatan membran selulosa asetat yaitu *Dimethylformamide* (DMFA), DMAc, *aseton*, *dioksin*, *Tetrahydrofuran* (THF), *asam asetat* (HAc), *asam format*, *aseton* dan *Dimethyl Sulfoxide* (DMSO). Salah satu ketentuan yang harus diperhatikan dalam pembuatan membran adalah jenis pelarut yang digunakan dapat melarutkan polimer dengan baik, agar dapat terbentuk larutan yang homogen. Semakin dekat harga parameter kelarutan antara polimer dan pelarut  $\Delta\delta$  (selisih kelarutan) maka ke larutannya makin baik. Kelarutan itu dapat dilihat dari harga parameter kelarutan. Nilai parameter kelarutan untuk selulosa asetat adalah  $19,96(\text{Mpa}^{1/2})$  (Widayanti, N. 2013). Parameter kelarutan beberapa pelarut selulosa asetat yang sering digunakan dalam pembuatan membran ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5. Parameter kelarutan

Bahan Pelarut	Kelarutan ( $\delta$ ) ( $\text{Mpa}^{1/2}$ )	$\Delta\delta$ (selisih kelarutan) dengan selulosa asetat
Dioksin	20.6	0.64
Aseton	20.3	0.34
DMSO	29.7	9.74
DMFA	24.8	4.84
DMAc	22.1	2.14
Asam asetat	20.7	0.74
Aniline	21.1	1.14
Asam Format	24.8	4.48
THF	18.6	1.36
Metanol	29.7	9.74
Formamida	39.7	19.74

(Sumber: Brandrup, 1975)

## 2.3 Karakteristik Membran

Karakteristik dari sebuah membran merupakan salah satu poin penting yang harus diperhatikan, jika kita ingin mulai menekuni bidang ini, dan juga macam-macam bentuk dari pengaplikasiannya. Hal itu disebabkan, karena struktur dan karakteristik yang dimiliki masing-masing membran berbeda tergantung bagaimana metode, bahan, dan juga perbandingan yang digunakan dalam proses pembuatannya. Sedangkan dampak implikasinya yaitu terhadap kemampuan dan juga sifat dari membran itu sendiri. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dari membran antara lain:

### 2.3.1 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik pada membran. SEM berfungsi untuk mengamati struktur permukaan, penampang lintang, dan pori-pori dari membran pada skala nano yang tidak dapat diamati oleh mata.

### **2.3.2 Metode Permeabilitas**

Membran yang memiliki kemampuan baik adalah membran yang mempunyai nilai permeabilitas dan selektivitas yang tinggi. Permeabilitas membran diukur dengan menentukan koefisien rejeksinya, yaitu kemampuan membran untuk menahan partikel terlarut, sedangkan pelarutnya melewati membran. Karakteristik ini diperlukan untuk mengetahui kekuatan membran terhadap gaya luar yang dapat merusak membran.

### **2.3.3 Metode *Bubble-Point***

Metode *bubble point* merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk mengetahui karakterisasi ukuran pori-pori maksimum pada suatu membran. Dengan menggunakan alat yang disebut *bubble point* membran diletakkan pada alat tersebut, kemudian membran diberikan tekanan udara. Udara yang keluar melalui pori-pori membran digunakan untuk meniup balon.

### **2.3.4 Metode *Mercury Intrusion***

Metode *mercury intrusion* merupakan variasi dari metode *bubble point*. Pada metode ini, merkuri didorong ke dalam membran kering dengan volume yang disesuaikan dengan menggunakan tekanan.

## **2.4 Metode Pembuatan Membran**

Menurut Mulder, (1997) ada enam metode yang dapat digunakan dalam proses pembuatan membran seperti:

### **2.4.1 *Sintering***

adalah metode sederhana yang digunakan untuk membuat membran berporos yang terbuat dari bahan organik dan anorganik berbentuk *powder* (bubuk) dengan cara di-*compress* (tekan) dan dipanaskan sampai dengan suhu mendekati titik leburnya sesuai dengan material yang digunakan. Bahan – bahan yang dapat digunakan seperti *Polyethylene*, *polytetrafluoroethylene*, *polypropylene*, logam *stainless steel*, *tungsten*, keramik (aluminium oksida, oksida zirkonium), grafit (karbon) dan kaca (silika).

#### **2.4.2 Stretching**

adalah metode yang digunakan dalam pembuatan film atau foil dari bahan polimer semi-kristal (*polytetrafluoroethylene, polypropylene, polyethylene*) ditarik searah proses ekstrusi sehingga molekul-molekul kristal nya akan terletak parallel satu sama lain. Pori yang terbentuk dari teknik *stretching* ini adalah 0,1-3  $\mu\text{m}$ . Porositas membran yang dihasilkan melalui teknik diatas 90 %.

#### **2.4.3 Track-Etching**

adalah metode yang digunakan dalam pembuatan film *polycarbonate* yang diberikan radiasi energi tinggi tegak lurus ke arah film. Partikel radiasi yang diberikan menyebabkan rusaknya matriks polimer dan membentuk satu lintasan. Film yang telah dibuat kemudian direndam dalam larutan asam atau alkali. Selama proses ini polimer yang akan terbentuk berupa silinder berpori beragam dan distribusi ukuran pori yang sempit.

#### **2.4.4 Template-Leaching**

adalah metode yang digunakan dalam pembuatan membran dengan cara meleburkan 3 komponen homogen ( $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ) pada suhu 1000-1500  $^\circ\text{C}$  dan kemudian dikeringkan. Pada proses ini akan terbentuk 2 fase, fase yang pertama lebih didominasi oleh  $\text{SiO}_2$  yang tidak larut dan fase yang selanjutnya adalah fase yang larut oleh asam atau basa dan akan dihasilkan membran yang memiliki ukuran pori 0,005 ( $\mu\text{m}$ ) atau 5 (nm)

#### **2.4.5 Coating**

merupakan teknik pembuatan membran komposit sederhana untuk memperoleh lapisan atas padat yang sangat tipis. Proses pembuatannya adalah dengan mencelupkan membran asimetrik ke dalam larutan pelapis yang mengandung polimer, pre-polimer atau monomer dengan konsentrasi padatan dalam larutan rendah (kurang dari 1%). Membran asimetrik dipisahkan dari bak yang mengandung material pelapis dan pelarut, selanjutnya diperoleh lapisan tipis dari larutan yang menempel pada bak. Setelah itu, film dimasukkan ke dalam oven sehingga pelarut akan menguap dan terjadi *cross linking* (berikatan silang).

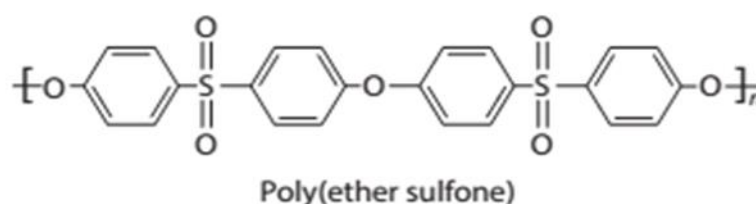
### 2.4.6 Phase Inversion

adalah suatu metode persiapan membran yang sering digunakan untuk menghasilkan membran asimetrik. Metode ini ditandai dengan perubahan polimer dari fase cair menjadi padat. Proses *solidification* (fase pemadatan) diawali dengan transisi fase cair satu polimer dan pelarut dan fase cair dua polimer dan non-pelarut. Selama proses pencampuran salah satu fase cair fase polimer konsentrasi tinggi akan memadat sehingga terbentuk matriks padat. Pengendalian tahap awal transisi fase akan menentukan morfologi membran yang dihasilkan. Konsep fase inversi mencakup berbagai teknik antara lain penguapan pelarut, *precipitation* (pengendapan) dengan penguapan terkendali, *precipitation* termal, *precipitation* fase uap, dan *precipitation Immerse*. *Precipitation Immerse* merupakan proses pencetakan film tipis di permukaan kaca gelas datar, selanjutnya campuran casting di koagulasi untuk membentuk membran. Proses pengkoagulasian casting dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu evaporasi langsung dan perendaman dalam non-pelarut.

## 2.5 Bahan Pembuatan Membran

### 2.5.1 Polyether sulfone (PES)

Merupakan salah satu dari keluarga polimer termoplastik yang memiliki *molecular weight* yang besar serta memiliki bentuk ikatan kimia seperti Gambar 2.7.



Gambar 2. 7. Struktur ikatan kimia dari PES (Ion, 2015)

Polimer jenis ini telah banyak diaplikasikan di berbagai bidang, seperti pada sektor pertanian, makanan, industri dan juga kesehatan. Keunggulan dari PES

yaitu ketangguhan yang baik dan stabilitas pada suhu tinggi. Secara khusus, PES dapat bertahan pada penggunaan jangka panjang tanpa menyebabkan perubahan dimensi atau kerusakan fisik jika digunakan pada suhu dibawah 200°C dan tidak melebihi dari suhu tersebut sehingga PES dipilih sebagai salah satu material yang baik digunakan dalam pembuatan dan juga pengembangan pada bidang teknologi membran. Berdasarkan *Technical Literature* 2004 PES memiliki beberapa karakteristik baik kelebihan maupun juga kekurangannya antara lain:

#### A. Kelebihan PES

##### 1. Tahan Panas

- a. Ketahanan panas jangka pendek: HDT (*Heat Deflection Temperature*) sebesar 200 sampai 210°C, dan modulus lentur tidak akan menurun sebelum pada suhu mendekati 200°C. (Metode ASTM)
- b. Ketahanan panas jangka panjang: indeks suhu UL (Underwriters Laboratories of the United States) adalah 180°C, dan setengah periode kekuatan tarik pada 180°C adalah 20 tahun. (*Heat Aging Properties*)

##### 2. Stabilitas Dimensi

Koefisien ekspansi linear tetap konstan pada suhu hingga mendekati 200°C.

##### 3. Ketahanan Mulur

PES memiliki ketahanan mulur yang sangat baik.

##### 4. Properti Elektrik

PES menunjukkan sifat listrik yang baik, yang dapat dipertahankan dalam suhu tinggi.

##### 5. Ketahanan terhadap api

PES telah di sertifikasi dengan UL94-VO karena ketahanannya terhadap api.

##### 6. Kemampuan dibentuk

Meskipun PES adalah resin yang tahan terhadap suhu tinggi, namun PES tetap dapat dibentuk dengan peralatan injection-molding.

## B. Kekurangan PES

### 1. Mudah mengalami pelapukan

PES sangat tidak baik jika digunakan di luar ruangan dengan tekanan udara 1atm karena mudah mengalami pelapukan dan rusak

### 2. Memiliki sifat hidrofobik

PES memiliki sifat hidrofobik itu artinya jika pada proses pembuatan membran tidak ditambahkan zat aditif dan juga pelarut lainnya, maka pada saat proses filtrasi menggunakan membran PES, *flux* yang dihasilkan akan cenderung mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi karena disebabkan oleh *fouling* yang terbentuk pada permukaan membran, sehingga sebagian dari pori-pori membran tertutupi oleh partikel-partikel (Arahman, 2014). Pada Tabel 2.6. dijelaskan beberapa material yang memiliki kemampuan baik sebagai bahan utama dalam pembuatan membran.

Tabel 2. 6. Beberapa Material yang memiliki kemampuan baik dalam pembuatan membran

Material	Abbreviation	Manu Factice	Membrane Type
Cellulose triacetate	CTA	Nipro	Hollow fiber
Polysulfone Material	PSF Abbreviation	Asahi Kasei Kuraray medical Manu Factice	Hollow fiber Membrane Type
Polyetersulfone	PES	Nipro Membrana	Hollow fiber
Polymethylmeth acrylate	PMMA	Toray	Hollow fiber
Polyester polymer alloy	PEPA	Nikkiso	Hollow fiber
Ethylene vinyl alcohol	EVAl	Asahi Kasei Kuraray medical	Hollow fiber
Polyacrylonitrile	PAN	Gambro	Hollow fiber laminated

Sumber: (Isehara, 2011)



### 2.5.2 Polyethylene glycol (PEG)

PEG adalah polimer yang banyak digunakan dalam dunia industri baik pada industri pangan, kosmetik, dan farmasi. Secara kimiawi, PEG merupakan sekelompok polimer sintetik yang dapat dengan mudah larut pada air dan juga memiliki keasaman, struktur kimia berupa adanya gugus hidroksil primer pada ujung rantai *polyether* yang mengandung oksitilen ( $\text{H}-(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-\text{OH}$ ). Beberapa sifat utama yang dimiliki oleh PEG adalah tidak bersifat racun, stabil, tersebar merata, *higroskopik* (mudah menguap) dapat mengikat pigmen dan memiliki titik lebur yang sangat tinggi 580 F.



Gambar 2. 8. Ikatan struktur kimia *Polyethylene glycol* PEG (Veronese, 2009)

Dilihat berdasarkan berat molekulnya, PEG memiliki molecular weight berkisaran antara 200-9500. PEG yang memiliki molecular weight dibawah 700 berupa cairan bening tidak berwarna, cairan sedikit higroskopis (kemampuan suatu zat menyerap air), dan juga memiliki bau yang menyengat. Sedangkan PEG yang memiliki molecular weight antara 700-900 berupa cairan semi padat dan lebih dari 1000 berupa krim padat berbentuk lilin, serpih, bubuk. Semakin besar berat molekul yang dimiliki PEG maka semakin besar pula nilai dari kepadatannya.

### 2.5.3 *N*-Dimethylacetamide (DMAc)

DMAc sendiri memiliki rumus kimia berupa  $(\text{CH}_3)_2\text{NCOCH}_3$  dan memiliki *molecular weight* 0.94 kg/l. Sifatnya yang tidak mudah menguap, karena memiliki titik didihnya di atas  $165^\circ\text{C}$ , bersifat sangat higroskopis, tidak berwarna, dapat melarutkan senyawa kimia dengan baik, tetapi dapat menyebabkan iritasi dan kebutaan jika terkena mata. Karena sifatnya itu lah,

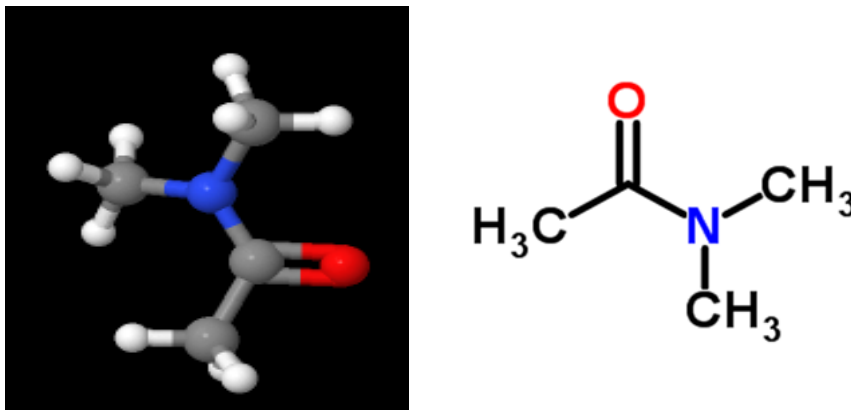
mengapa DMAc banyak dipilih sebagai zat pelarut pada pembuatan membran, dikarenakan struktur dan karakteristik membran yang terbentuk dipengaruhi oleh zat pelarut ini (Puntoajeng, 2006).

Dalam berbagai teknik pembuatan membran DMAc banyak di pilih sebagai media pelarutnya karena nilai kelarutannya yang tinggi yaitu 22.1 (Mpa<sup>1/2</sup>). 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).

Tabel 2. 7. Karakteristik yang dimiliki *N-Dimethylacetamide* (DMAc)

NO	<i>N-Dimethylacetamide</i> (DMAc)	
1	Bentuk	Cairan tak berwarna
2	Titik lebur	-20 °C
3	Titik didih pada 1013 hPa	165°C
4	Massa jenis	0.9366 (g/cm <sup>3</sup> )
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)



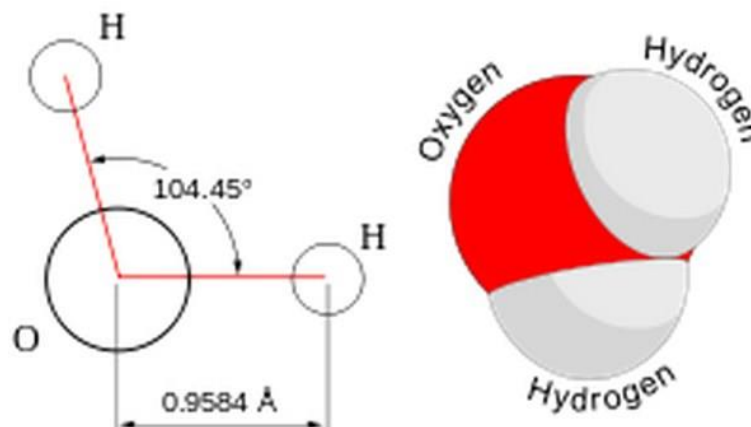
Gambar 2. 9 Struktur ikatan kimia *N-Dimethylacetamide*  
(www.chemspider.com)

## 2.6 Media Gelatinasi (Perendaman)

### 2.6.1 Air H<sub>2</sub>O

Akuades adalah air murni yaitu, berupa hasil dari proses destilasi sehingga dapat dikatakan akuades sama sekali tidak mengandung mineral lain di dalamnya. Air murni mempunyai rumus senyawa kimia berupa H<sub>2</sub>O satu molekul air yang tersusun atas dua atom hidrogen tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1bar) dan pada temperatur 0°C. Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air dapat melarutkan banyak zat kimia seperti garam, gula, asam, beberapa jenis gas, dan banyak macam molekul organik.

Dalam pembuatan media gelatin akuades dapat di katakan sebagai non pelarut. Sebagian besar pembuatan membran menggunakan media perendaman, karena diketahui bahwa metode *Phase inversion* yaitu berubahnya polimer dari fase cair ke padatan secara terkendali sehingga karakteristik pori-pori dapat diatur. Non pelarut pada metode *Phase inversion* berfungsi untuk merubah polimer yang masih berupa fase cair menjadi padatan sehingga terbentuknya matriks. Selanjutnya air yang ditambahkan bahan pelarut pada bak koagulasi akan melarutkan zat aditif yang semulanya mengisi matriks dari polimer sehingga terbentuklah pori-pori pada membran.



Gambar 2. 10. Ikatan senyawa kimia penyusun air (www.rumus kimia.net)

Tabel 2. 8. Karakteristik dari air (H<sub>2</sub>O)

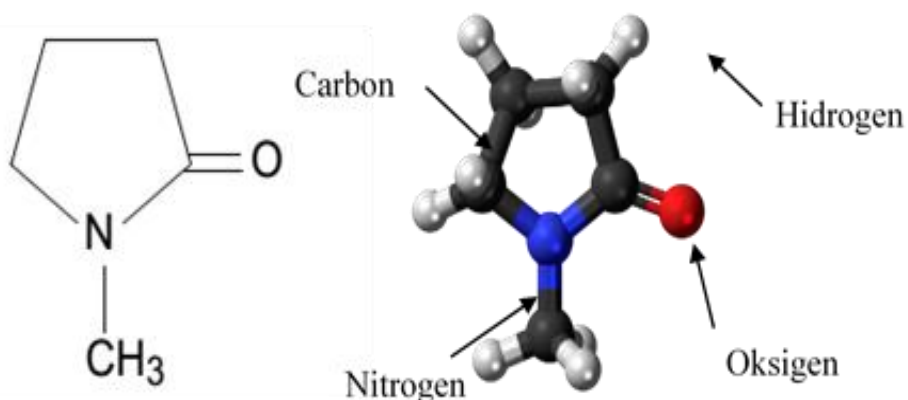
Air H <sub>2</sub> O		
No	Nama sistematis	air
1	Nama alternatif	akuades, dihidrogen monoksida, Hidrogen hidroksida
2	Rumus molekul	H <sub>2</sub> O
3	Massa molar	18.0153 g/mol
4	Densitas dan fase	0.998 g/cm <sup>3</sup> (cairan pada 20 °C) 0.92 g/cm <sup>3</sup> (padatan)
5	Titik lebur	0 °C (273.15 K) (32 °F)
6	Titik didih	100 °C (373.15 K) (212 °F)
7	Kalor jenis	4184 J/(kg·K) (cairan pada 20 °C)

(Sumber: id.wikipedia.org)

### 2.6.2 *N-Methyl-2-Pyrrolidone* (NMP)

NMP merupakan salah satu jenis senyawa kimia yang memiliki densitas 1.03 g/cm<sup>3</sup>. Aplikasi dari NMP banyak digunakan dalam bidang industri sebagai pelarut, karena kemampuannya yang sangat baik dalam melarutkan berbagai bahan kimia. Beberapa contoh aplikasi dari NMP seperti pelarut dan dispersant

dalam produksi pestisida dan pigmen, ekstraksi dan daur ulang bahan baku organik. dalam industri petrokimia, pemurnian minyak pelumas, dan juga sebagai pelarut polimer dan dalam polimerisasi. NMP berupa cairan bening dengan rumus empiris ( $C_5H_9NO$ ), mudah larut dalam air dan juga memiliki massa molar sekitar  $99.13 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Pada Tabel 2.9. dijelaskan karakteristik fisik dan kimia NMP.



Gambar 2. 11. Rumus empiris dari NMP (en.wikipedia.org)

Tabel 2. 9. Sifat fisik dan kimia NMP

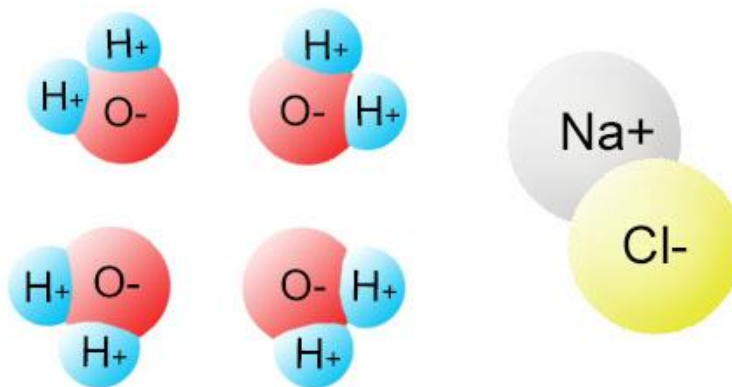
No	<i>N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP)</i>	
1	Bentuk	Cairan
2	Berat jenis	$99.13 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
3	Ikatan kimia	$C_5H_9NO$
4	Massa jenis	$1.028 \text{ g/cm}^3$
5	Titik didih	$202^\circ\text{C}$
6	Titik lebur	$-24.4^\circ\text{C}$
7	Tekanan uap	3.4
8	Tingkat penguapan	~100
9	Titik nyala	$346^\circ\text{C}$

(Sumber: Burdick dan Jackson 2000)

## 2.7 Cairan *Dialysate*

### 2.7.1 Larutan NaCl (*Natrium Chloride*)

Dalam table unsur periodik senyawa kimia garam memiliki rumus fungsi NaCl (*Natrium Chloride*) berupa kristal bening yang terdiri dari senyawa ion positif (kation) dan ion senyawa negatif (anion) sehingga membentuk senyawa netral (tanpa muatan). Garam terbentuk dari hasil reaksi asam dan basa. Komponen kation dan anion ini dapat berupa senyawa anorganik seperti klorida ( $\text{Cl}^-$ ), dan bisa juga berupa senyawa organik seperti asetat ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) dan ion mono atomik seperti fluorida ( $\text{F}^-$ ), serta ion poli atomik seperti sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Secara umum garam juga terdapat pada cairan dalam tubuh makhluk hidup, misalnya sitoplasma dan darah. Tetapi, karena cairan dalam tubuh ini juga mengandung banyak ion-ion lainnya maka garam tidak akan terbentuk sebelum cairan dalam tubuh makhluk hidup diupkan.



Gambar 2.12. Senyawa kimia penyusun garam NaCl (<http://gardenandplate.com>)

Tabel 2. 10. Sifat-sifat fisik dan kima garam NaCl

Garam NaCl ( <i>Natrium Chloride</i> )		
No		
1	Bentuk	Padat berbentuk kristal
2	Berat molekul	58.44 g/mole

Garam NaCl (Natrium Chloride)		
3	Warna	putih
4	Titik didih	1413°C (2575.4°F)
5	Titik leleh	801°C (1473.8°F)
6	Berat jenis	2.165 (Air = 1)

Sumber: Data Sheet [www.Science Lab.com](http://www.Science Lab.com)

