

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Defenisi Limbah Domestik

Air limbah adalah cairan buangan dari rumah tangga, industri maupun tempat – tempat umum lain yang mengandung bahan – bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain serta mengganggu kelestarian lingkungan (Metcalf & Eddy, 2003). Setiap badan air yang kualitasnya telah terpengaruh akibat aktivitas manusia dapat dianggap sebagai air limbah.

Limbah domestik menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016 adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Limbah cair domestik berasal dari tempat tinggal, industri atau pertanian, perkantoran, rumah makan, penginapan (hotel), dan lainnya. Menurut (Idris-Nda et al., 2013) limbah domestik mencakup berbagai macam kontaminan yang dapat berpotensi berbahaya atau konsentrasi yang dapat menyebabkan degradasi kualitas air. Kontaminan potensial termasuk sabun dan deterjen dari kamar mandi, sisa makanan dan minyak dari dapur dan aktivitas manusia lainnya yang melibatkan penggunaan air. Air limbah yang berasal dari kotoran manusia (*feces* dan urin), juga dikenal sebagai *blackwater*, termasuk air dari WC, septic tank dan air cuci. *Greywater* adalah air limbah yang berasal dari limpasan hujan perkotaan dari jalan, atap, dan trotoar. Air limbah mengandung berbagai komponen yang sebagian besar termasuk bakteri patogen, bahan kimia sintetis, bahan organik, dan logam berat. Kualitas air limbah dapat didefinisikan oleh karakteristik fisik, kimia dan biologis.

Beberapa ahli kebersihan mendefinisikan *greywater* sebagai air yang lebih rendah kualitasnya daripada air minum, namun kualitasnya lebih tinggi dari pada *blackwater*. *Greywater* terurai lebih cepat daripada *blackwater* dan mengandung lebih sedikit patogen, sehingga mudah untuk dilakukan treatment. Selanjutnya,

pemisahan air *greywater* dari *blackwater* akan mengurangi muatan tangki septik, menurunkan biaya pengolahan air limbah dan meminimalkan potensi kontaminasi air tanah.

Jika air limbah tidak dikelola dengan baik bisa menjadi sumber polusi yang membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Dampak lingkungan dari kontaminasi limbah dapat mengakibatkan perubahan fisik badan penerima, penurunan oksigen terlarut, bioakumulasi dalam kehidupan air serta penurunan kualitas air tanah. Banyak mikroba patogen dalam air limbah dapat menyebabkan penyakit kronis dengan efek jangka panjang seperti penyakit jantung degeneratif dan ulkus lambung (Paillard et al., 2005).

## **2.2 Karakteristik Limbah Domestik**

Karakteristik limbah sangat dibutuhkan sebagai dasar penentuan pengolahan limbah yang efektif, strategi konservasi air serta pengurangan beban limbah (Burks dan Minnis, 1994). Parameter kimia yang terkait dengan kandungan organik dari limbah domestik termasuk *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Organic Carbon* (TOC) dan *Total Oxygen Demand* (TOD). Parameter kimia anorganik termasuk alkalinitas, salinitas, kesadahan, keasaman serta konsentrasi kation seperti mangan, besi dan anion seperti sulfat, klorida, nitrat dan fosfat. parameter bakteriologis termasuk coliform fecal, total coliform, ganggang, protozoa, patogen tertentu dan virus (Metcalf dan Eddy, 2003).

Limbah cair yang dibuang langsung ke lingkungan tanpa treatment sebelumnya mengakibatkan badan penerima terkontaminasi senyawa-senyawa pencemar sehingga tidak bisa dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan serta dapat mengganggu keseimbangan kehidupan perairan bila melebihi baku mutu. Air dikategorikan tercemar jika terjadi perubahan sifat – sifat fisika dan kimia yang melebihi ambang batas seperti berubahnya suhu, pH, warna, peningkatan padatan tersuspensi, tingginya kadar zat organik dan non organik dalam air, dan sebagainya.

Umumnya sumber polutan yang mencemari badan air di negara berkembang khususnya Indonesia berasal dari limbah domestik sekitar 85% karena minimnya kesadaran masyarakat serta fasilitas pengolah limbah domestik yang ada. Sedangkan di negara maju hanya 15 % saja limbah domestik yang mengalir ke badan air.

Karakteristik limbah domestik berdasarkan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 1 Karakteristik Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	1	2	3	Baku Mutu	
						Permenkes 492/2010	PP 82/2001
1	pH	-	6	7.23	5	6.5-8.5	6-9
2	Suhu	°C	-	31.8		±3°C	-
3	BOD	mg/L	105	66.87	1770		3
4	DO	mg/L		< 0.4		-	4
5	COD	mg/L	-	187.67	200	-	25
6	TSS	mg/L	200	75.33	20200	-	50
7	TDS	mg/L		371.33	356	500	1000
8	Minyak Lemak	mg/L	11.176	-	-	-	1
9	Fosfat	mg/L	1.463	-	-	-	0.2
10	Timbal	mg/L	<0.001	-	-	0.01	0.03
11	Total Coliform			>2400	-	0	1000
12	Nitrat			<0.032	-	50	10

- Sumber :
1. (Aritonang et al, 2013)
  2. (Sari et al , 2015)
  3. (Doraja et al, 2012)

### 2.3 Definisi Salinitas

Salinitas diartikan sebagai jumlah garam terlarut pada suatu badan air. Salinitas merupakan faktor penentu aspek kimia dan biologis perairan serta dapat mengatur karakteristik fisik air bersama tekanan dan suhu (EPA, 2018).Air

dengan kadar salinitas 1000 ppm dikategorikan sebagai air tawar dan dapat digunakan sebagai sumber air minum, sedangkan air dengan nilai salinitas 1000 – 5000 ppm termasuk air payau, 5000 – 35000 ppm digolongkan sebagai air asin dan di atas 35.000 tergolong sangat asin (*hyper-saline*). Konsentrasi salinitas yang melebihi ambang batas berpengaruh terhadap jumlah *dissolve oxygen* perairan sehingga berdampak pada kelangsungan hidup spesies air. ([http://www.epa.sa.gov.au/environmental\\_info/water\\_quality/threats/salinity](http://www.epa.sa.gov.au/environmental_info/water_quality/threats/salinity)). Kadar salinitas (dinyatakan dengan satuan permil (‰) atau part-per-thousand/ppt) terkait erat dengan konsentrasi klorida dalam perairan, sehingga Knudsen menggambarkan hubungan tersebut dalam sebuah persamaan

$$\text{Salinitas} = 0,03 + 1,805 [ \text{Cl} ]$$

Rumus Knudsen ini berlaku untuk salinitas antara 2,69 ‰ hingga 40,18 ‰. Pada tahun 1962, UNESCO kemudian memodifikasi rumus Knudsen menjadi

$$\text{Salinitas} = 1,80655 [ \text{Cl} ]$$

Persamaan di atas tidak dapat digunakan untuk perairan dengan kadar salinitas melebihi 40‰ serta perairan tertentu yang kondisi lingkungannya menyebabkan komposisi garamnya berbeda dengan air laut pada umumnya (Arief, 1984).

#### **2.4 *Saline Domestic Wastewater***

Dalam studi ini pengertian *saline domestic wastewater* (limbah domestik salinitas tinggi) merupakan limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia yang berasal dari perumahan, industri atau pertanian, perkantoran, rumah makan, penginapan (hotel) dan lainnya dengan kadar garam 1000 ppm karena adanya kontaminasi rob. Dengan kata lain istilah *saline domestic wastewater* pada penelitian ini mengacu pada limbah domestik dengan konsentrasi garam melebihi kadar salinitas air tawar (berada pada rentang 1000 – 5000 ppm).

## 2.5 Parameter Saline Domestic Wastewater

### a. Total Dissolve Solid (Total Padatan Terlarut)

Merupakan jumlah ion (anion atau kation), garam, logam maupun partikel organik yang terlarut pada suatu sumber air dengan komponen utama meliputi  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  dan  $\text{HCO}_3^-$  (WHO, 2003). Kualitas air dapat dinilai berdasarkan konsentrasi total padatan terlarut (TDS) yang ada dalam badan air seperti tabel berikut

Tabel 2.2 Kualitas Air Berdasarkan Konsentrasi TDS

Konsentrasi TDS (mg/l)	Kualitas Air
< 300	Sangat baik
300 – 600	Baik
600 – 900	Sedang
900 – 1200	Buruk
>1200	Tidak memenuhi syarat

Sumber: (WHO, 2011)

Selain itu, konsentrasi TDS juga berhubungan erat dengan kadar salinitas,. Keterkaitan antara salinitas dan Total Dissolved Solid dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Relasi antara Kadar TDS dan Salinitas

Konsentrasi TDS (mg/l)	Salinitas
0 - 1000	Air tawar
1000 – 3000	Sedikit asin / payau
3000 – 10.000	Tingkat keasinan sedang
10.000 – 100.000	Asin
>100.000	Brine (tingkat keasinan tinggi)

Sumber : Mc Neely et al., 1979

b. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kualitas air dan sebagai parameter kunci yang digunakan untuk memonitor pencemaran lingkungan. COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan dalam proses oksidasi kimia untuk mengoksidasi zat organik dan anorganik dengan oksidator  $K_2Cr_2O_7$ . Analisa COD dilakukan dengan cara mencampurkan limbah dengan volume tertentu dengan  $K_2Cr_2O_7$  kemudian dipanaskan. Proses oksidasi membutuhkan waktu 2 jam dengan bantuan katalis  $H_2SO_4$ . Total Kalium Dikromat yang digunakan merupakan dasar perhitungan COD.

c. Klorida

Klorida merupakan ion yang berukuran kecil, tinggi elektronegativitas dan reaktivitas super yang akhirnya akan bercampur dengan air permukaan (kolam, sungai, laut, dll) melalui siklus air dan mencemari air minum. Air yang kaya klorida menyebabkan kerusakan jaringan insang hewan air, selain itu paparan klorida mengancam kesehatan manusia dengan risiko kanker (Mukherjee et al, 2016). Konsentrasi Ion klorida yang tinggi dalam badan air bisa mengindikasikan kontaminasi oleh limbah dari aktivitas industri dan domestik, namun demikian intrusi air laut dan pengikisan batuan merupakan faktor alami yang juga berpotensi meningkatkan kadar klorida perairan (Metcalf & Eddy, 2003).

d. Minyak Lemak

Di antara banyak kelas polutan, yang sering ditemukan di perairan dan air limbah adalah minyak lemak yang meliputi hidrokarbon, asam lemak, sabun, lipid dan wax. Afinitas yang sangat rendah terhadap air merupakan karakteristik minyak lemak. Karena kebanyakan zat di kelas ini memiliki biodegradabilitas yang sangat rendah, pelepasannya ke lingkungan melalui air limbah dapat mempengaruhi biosfer. Bahkan

lapisan minyak tertipis pun akan mempengaruhi kehidupan akuatik dengan mengurangi penetrasi cahaya dan transfer oksigen antara udara dan air. Disamping menyebabkan efek pada ekologi, kontaminasi oleh minyak dan lemak juga berdampak signifikan pada peralatan pabrik (Alade et al, 2011). Minyak dan lemak bersumber dari limbah berbagai industri seperti manufaktur logam dan permesinan, kilang minyak bumi, pengolahan makanan, elektronik dan listrik serta minyak sawit (POME) dengan konsentrasi minyak dan lemak terbesar yaitu berkisar 4000 – 6000 mg/L (Ahmad, Buang, & Bhat, 2016). Konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah domestik bervariasi antara 50 – 150 mg/L (Metcalf & Eddy, 2003)

e. Nitrit

Ion nitrit terbentuk secara alami yang merupakan bagian dari siklus nitrogen dalam suatu ekosistem. Nitrit merupakan hasil sampingan dari proses oksidasi  $\text{NH}_3$  oleh bakteri nitrit yaitu nitrosomonas dan nitrosococcus. Kadar nitrit dalam air minum tidak boleh melebihi 0,1 ppm (World Health Organization, 2011) karena berbahaya bagi kesehatan manusia dikarenakan dapat membentuk senyawa karsinogenik, teratogenik, dan mutagenik komponen N-nitroso (Yılmaz et al., 2006). Kontaminasi nitrit dalam perairan umumnya berasal dari penggunaan pupuk yang berlebihan serta pembuangan air limbah industri yang tidak tepat.

## 2.6 Reuse Limbah Domestik

Pada dasarnya kuantitas air di muka bumi berlimpah, tetapi sekitar 97 % berupa air laut dan sisanya adalah air tawar. Sedangkan air tawar ini (3 %) masih terbagi lagi menjadi es dan glasir di wilayah kutub sebesar 69 %, air tanah 30 % serta 1% saja air permukaan (danau, waduk, sungai) (Suripin, 2002). Terbatasnya stok air tawar mendorong lahirnya penemuan dan inovasi baru dalam proses

pengolahan air untuk mendapatkan kualitas air yang memadai, misalnya dengan desalinasi air laut, pemurnian air tawar, dan pengolahan serta *reuse* air limbah.

Manajemen dan konservasi sumber daya air berkelanjutan menjadi tantangan terbesar setiap peradaban, terutama bagi daerah yang mengalami kelangkaan air disebabkan pertumbuhan penduduk, industri, pariwisata, dll. (Andreo-Martínez, García-Martínez, Quesada-Medina, & Almela, 2017). Merancang sistem *water reuse* (penggunaan kembali air) yang aman melalui proses maksimalisasi daur ulang air dan meminimalisir debit limbah perkotaan yang akan ditreatment menjadi tujuan final manajemen air berkelanjutan (Chen et al, 2017). Kuantitas limbah industri yang semakin meningkat menyebabkan pertimbangan penggunaan kembali (*reuse*) air limbah menjadi alternatif sumber air baru sebagai point keberlanjutan dalam mengurangi kerusakan lingkungan dan menurunkan permintaan sumber air tawar (Acero, Benitez, Leal, Real, & Teva, 2010).

Pemanfaatan kembali air limbah telah banyak dilakukan di negara-negara Mediterania untuk irigasi buah-buahan, sereal dan sayuran. Di negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang Eropa dan Australia limbah yang telah ditreatment digunakan dalam bidang industri, pertanian (irigasi), pariwisata (rekreasi), lingkungan (mengisi ulang akuifer) (Michael-Kordatou et al., 2015).

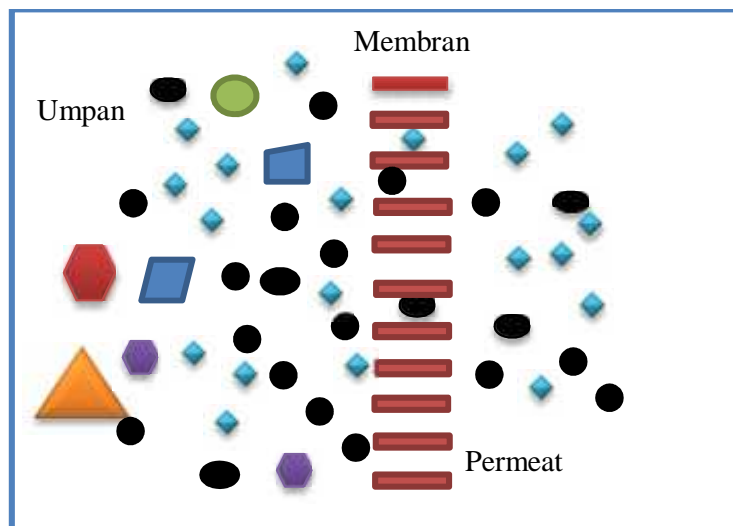
Penggunaan kembali air limbah khususnya limbah domestik secara signifikan dapat meningkatkan sumberdaya air di suatu negara terutama di kawasan pesisir. Limbah domestik bisa menjadi sumber daya terbarukan yang mendatangkan keuntungan bila diolah (direklamasi) untuk selanjutnya digunakan kembali pada keperluan berbeda seperti irigasi, taman umum, pekarangan sekolah, *toilet flushing*, dll (Idris-Nda et al., 2013). Konservasi air dan penggunaan kembali menciptakan banyak manfaat lingkungan: pengurangan limbah cair (pada badan air alami), konsumsi air, eutrofikasi dan ganggang (Anderson, 2003; Gregory, 2000). Menurut Jeppesen(1996), *reuse* limbah domestik *grey water* di Australia untuk *toilet flushing* dan menyirami taman maupun kebun mampu mengurangi 30 – 50 % konsumsi air rumah tangga.



## 2.7 Teknologi Membran

Teknologi membran merupakan alternatif teknologi masa depan untuk pemurnian air maupun pengolahan limbah yang sangat inovatif, ekonomis, serta ramah lingkungan. Dengan berbagai keunggulannya, teknologi membran menjadi pilihan dalam berbagai aplikasi kehidupan seperti industri, farmasi, kesehatan, purifikasi air, pengolahan limbah, bioteknologi dll.

Kemajuan teknologi filtrasi telah memungkinkan pengolahan air limbah menjadi air minum. Membran merupakan salah satu teknik pemisahan permeal (komponen yang dapat melewati membran) dari retentat (komponen yang tertahan) melalui selaput tipis yang bersifat semipermeabel. Menurut Mulder (1996), membran merupakan batas atau penghalang selektif antara dua fase. Selektif menunjukkan keselectifan membran atau proses yang menggunakan membran tersebut. Pemisahan material dengan teknologi membran digolongkan sebagai pemisahan secara fisika. Pemisahan selektif pada membran dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 2. 1 Ilustrasi Pemisahan Selektif 2 fasa pada membran (Susanto, 2011)

### 2.7.1 Klasifikasi Membran

Baker (2000) membagi jenis membran menjadi 2 yaitu membran isotropik dan anisotropik :

#### 1. Membran Isotropik

- Membran mikroporous

Memiliki ukuran pori yang sangat kecil berkisar antara 0,01 sampai 10  $\mu\text{m}$  dengan struktur yang kaku dan tidak rata serta distribusi pori-pori yang acak namun punya interkoneksi. Membran akan menolak semua partikel yang lebih besar dari ukuran pori – pori terbesar serta meloloskan partikel yang lebih kecil dari pori-pori terkecil. Ukuran molekul dan distribusi ukuran pori membran sangat berpengaruh terhadap proses pemisahan zat terlarut. Secara umum, hanya molekul yang berbeda dalam ukuran yang dapat dipisahkan secara efektif oleh membran mikroporous, misalnya ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi.

- Membran Nonporous, padat

Pemisahan zat terlarut dan pelarut melalui proses difusi karena adanya perbedaan konsentrasi yang signifikan antara keduanya. Membran padat biasanya diaplikasikan untuk pemisahan gas, pervaporasi, juga digunakan pada membran reverse osmosis.

- Membran Bermuatan Listrik

Pemisahan dipengaruhi oleh muatan serta konsentrasi ion dalam larutan. Membran bermuatan listrik kerap digunakan pada proses elektrodialisis.

#### 2. Membrane Anisotropik

Selaput anisotropik terdiri dari lapisan permukaan yang sangat tipis yang didukung pada substruktur berpori yang lebih tebal. Lapisan permukaan dan substrukturnya dapat terbentuk dalam satu operasi atau terpisah. Pada membran komposit, lapisan biasanya dibuat dari polimer yang berbeda. Sifat pemisahan dan tingkat permeabilitas membran ditentukan secara eksklusif oleh lapisan permukaan; Substruktur berfungsi sebagai pendukung mekanis. Kelebihan fluks yang lebih tinggi yang disediakan oleh membran anisotropik sangat besar ,

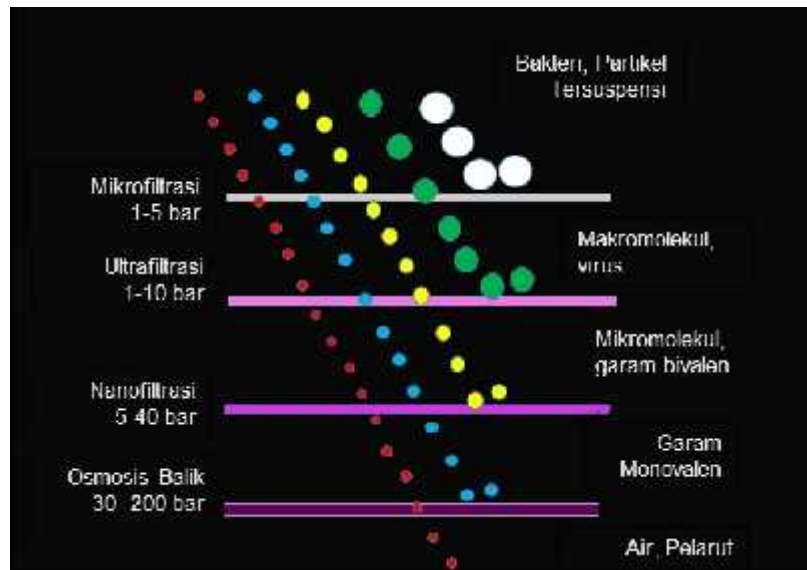
sehingga hampir semua proses komersial menggunakan membran tersebut. Selain dari bahan polimer, membran komersil juga telah berkembang menjadi membran keramik yang telah diaplikasikan pada proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.

Berdasarkan asalnya membran dapat dikelompokkan menjadi membran sintetis dan biologis. Membran sintetis terdiri dari membran organik (membran selulosa asetat) dan anorganik (membran keramik seperti  $ZrO_2$  dan  $-Al_2O_3$ , membran gelas seperti  $SiO_2$ ). Sedangkan menurut fungsinya membran dibedakan menjadi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan reverse osmosis. Dari segi morfologi, membran dapat diklasifikasikan dalam 2 jenis yaitu membran simetris dan asimetris. Jenis membran menurut prinsip pemisahannya terbagi 3 kategori yaitu membran berpori, membran tak berpori serta membran cair (Mulder, 1996).

### **2.7.2 Filtrasi Membran dengan *Driving Force* Beda Tekanan**

Proses perpindahan massa pada membran dari fase 1 ke fase 2 dipengaruhi oleh gaya dorong (*driving force*) berupa perbedaan tekanan, suhu, konsentrasi, atau potensial listrik.

Proses pemisahan membran dengan menggunakan gaya dorong (*driving force*) berupa beda tekanan didasarkan pada prinsip mekanisme pengayakan sesuai dengan diameter pori serta partikel (Susanto, 2011). Dalam proses membran dengan gaya dorong tekanan, tekanan diberikan pada larutan di satu sisi membran yang berfungsi sebagai kekuatan pendorong untuk memisahkannya menjadi permeat dan retentat. Permeat biasanya berupa air murni dapat melewati membran, sedangkan retentat adalah larutan terkonsentrasi yang harus dibuang atau diolah dengan metode lain (Bruggen et al, 2003). Proses ini dapat dikelompokkan menjadi empat jenis diantaranya mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan osmosis balik.



Gambar 2.2 Proses Filtrasi Membran Gaya Dorong Perbedaan Tekanan

(Sumber : <https://roilbilad.wordpress.com/2011/01/13/definisi-dan-klasifikasi/>)

Perbedaan membran mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF) dan *reverse osmosis* (RO) dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Perbedaan proses MF, UF, NF dan RO

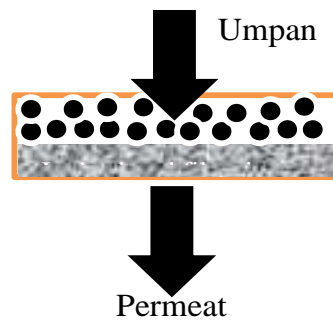
	MF	UF	NF	RO
Tipe Membran	Isotropik berpori	Asimetris berpori	Asimetris berpori halus/komposit	Asimetris tidak berpori / komposit
Ukuran pori	50 nm - 1 $\mu$ m	5-20 nm	1-5 nm	-
Mekanisme transfer	Mekanisme pengayakan& adsorpsi (perpindahan solut secara konveksi)	Pengayakan & adsorpsi preferensial	Pengayakan/ hidrasi elektrostatis/difusi	Difusi (Larutan berpindah dengan mekanisme difusi)
Hukum transfer massa	Hk. Darcy	Hk. Darcy	Hk. Fick's	Hk. Fick's
Jenis treatment larutan	Larutan dengan partikel padat	Larutan dengan koloid / makromolekul	Ion, mikromolekul	Ion, mikromolekul
Fluks air murni (L/m <sup>2</sup> h)	500- 10000	100-2000	20-200	10-100
Tekanan operasi	0.5 -5	1-10	7-30	20-100

Sumber : (Shon et al., 2013)



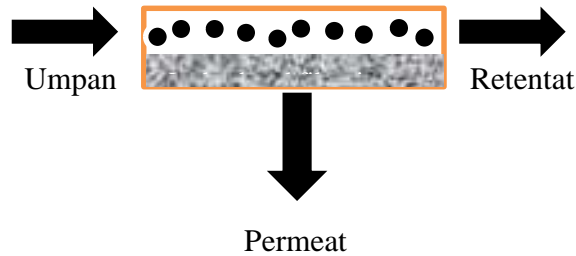
### 2.7.3 Model Filtrasi Membran

Dalam pengoperasian membran dikenal 2 model aliran yaitu *dead end* dan *cross flow*. Pada model *dead end*, umpan akan melewati membran secara tegak lurus, dimana komponen dengan diameter pori lebih besar daripada membran akan tertahan di permukaan membran sehingga akan memicu terjadinya *fouling* akibat polarisasi konsentrasi. Fluks membran akan terus berkurang seiring bertambahnya waktu akibat pembentukan *cake* pada permukaan membran, sehingga harus dibersihkan secara berkala. Operasi *dead end* lebih mudah karena hanya ada satu aliran (permeat) sehingga lebih hemat biaya, namun kecenderungan *fouling* lebih besar.



Gambar 2. 3 Model *Dead End*

Pada aplikasi *Cross flow*, umpan akan mengalir searah dengan permukaan membran. Aliran akan terbagi menjadi 2, tegak lurus berupa permeat sedangkan umpan yang tidak dapat melewati membran (tertahan) akan mengalir sejajar dengan membran sebagai retentat. Pengoperasian secara *cross flow* lebih banyak digunakan pada skala industri karena kemungkinan terjadinya *fouling* dan penurunan fluks lebih kecil daripada proses *dead end* (Susanto, 2011).



Gambar 2. 4 Model *Cross Flow*

#### 2.7.4 Keuntungan dan Kekurangan Aplikasi Teknologi Membran

Teknologi membran memberikan kontribusi positif bagi terwujudnya lingkungan yang berkelanjutan. Sebagaimana yang dikemukakan (Mulder, 1996) bahwa teknologi membran memberikan beberapa nilai plus yang membedakannya dengan teknologi pemisahan yang lain, diantaranya :

- ❖ Proses pemisahan bisa berlangsung kontinyu
- ❖ Memungkinkan untuk dipadukan dengan proses pemisahan lain
- ❖ Kebutuhan energi rendah sehingga biaya operasi murah
- ❖ Proses *up-scaling* mudah
- ❖ Tanpa penambahan zat kimia sehingga lebih ramah lingkungan

Setiap proses pengolahan limbah tentu memiliki kekurangan dalam pengoperasiannya, dalam aplikasi membran dibatasi oleh hal-hal berikut :

- Rentan terhadap *fouling*
- *Investment cost* cukup tinggi
- Umur membran yang singkat

### 2.8 Nanofiltrasi

Perkembangan aplikasi membran nanofiltrasi di berbagai bidang sangat pesat pada beberapa dekade terakhir, membran ini sudah digunakan dalam proses filtrasi sejak akhir tahun 1980 (Mohammad et al., 2015) . Nanofiltrasi (NF), sebagai teknik



yang relatif baru diantara teknologi pemisahan membran bergaya dorong tekanan yang hemat energi dan ramah lingkungan, menawarkan fluks yang lebih tinggi daripada *reverse osmosis* (RO) dan retensi yang jauh lebih baik daripada ultrafiltrasi (UF) untuk molekul kecil seperti gula, asam amino, peptida dan bahkan ion (Luo & Wan, 2013). Keunggulan NF juga diungkapkan oleh (Lu, Bian, & Shi, 2002) bahwa selaintekanan operasi yang rendah dan fluks yang relatif tinggi, tingkat retensi garam multivalent dan komponen organik ( $MW > 300$ ) juga tinggi dengan biaya investasi serta biaya operasi dan *maintenance* yang relatif rendah.

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 sempurna 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 0.0001 mikron – 0.001 mikron .

NF merupakan salah satu teknologi menjanjikan untuk *treatment* bahan organik alami dan polutan anorganik dalam air permukaan, karena air permukaan memiliki tekanan osmotik rendah, operasi NF dimungkinkan (Shon et al, 2013). Mekanisme *driving force* pada membran nanofiltrasi yang berasal dari gradien tekanan osmotik (konsentrasi garam) menjadikan membran NF juga menjanjikan untuk proses desalinasi, ini tentu lebih menguntungkan daripada RO karena pada membran RO dibutuhkan *driving force* dari luar (konsumsi energi lebih besar).

Selanjutnya membran NF juga memiliki muatan pada permukaan . Untuk koloid dan molekul besar, *sieving effect* menjadi mekanisme rejeksi yang dominan, sedangkan untuk ion dan komponen dengan berat molekul rendah, mekanisme *solution-diffusion* dan efek muatan berperan penting dalam proses pemisahan. Ekuilibrium antara muatan membran dan larutan *bulk* dicirikan oleh potensial listrik, potensi Donnan, yang menahan zat ionik. Mekanisme ini (*Donnan exclusion*) memungkinkan penyisihan ion dengan ukuran lebih kecil dari pori-pori membran.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa NF semakin banyak digunakan untuk banyak aplikasi baru yang menarik seperti menghilangkan arsenik(As), polutan organik persisten (POPs), senyawa aktif farmasi (Phac) dan hormon (Mohammad et al., 2015).

### 2.8.1 Mekanisme Transport NF

Transfer massa pada membran ultrafiltrasi terjadi secara konveksi dan pada *reverse osmosis* (RO) secara difusi. Karena proses nanofiltrasi berada diantara ultrafiltrasi dan RO baik dari segi tekanan maupun porositas, maka transfer massa bisa terjadi secara konveksi maupun difusi.

Secara umum mekanisme transport membran digambarkan oleh Baker (2004) dengan 2 model yaitu

a. Model *solution-diffusion*

Difusi merupakan basis model *solution-diffusion*, dimana zat terlarut akan melarut dalam material membran lalu berdifusi melewati membran dengan gradien konsentrasi

b. Model *pore-flow*

Perpindahan terjadi secara konveksi dengan gaya dorong tekanan sehingga solut akan terpisah dari solvent dengan perbandingan ukuran solut dan pori membran.

Sama halnya dengan pernyataan (Lhassani et al, 2001) bahwa transfer ion dipengaruhi oleh 2 mekanisme yaitu konveksi, dimana ion dengan ukuran yang lebih besar lebih mudah tersisih (parameter fisik) dan *solubilization-diffusion*, sebagai fungsi dari energi solvasi dan koefisien partisi.

Mekanisme pemisahan yang terjadi pada membran nanofiltrasi umumnya dipengaruhi oleh efek pengayakan (*size effects*) dan efek muatan (berdasarkan prinsip Donnan). Mekanisme pengayakan terjadi pada komponen netral (tak bermuatan), dimana solut dengan ukuran pori lebih besar dari membran akan tertahan, sedangkan untuk solut bermuatan mekanisme yang terjadi lebih kompleks karena melibatkan interaksi elektrosatitik antara solut dan membran.

### 2.8.2 Aplikasi Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi semakin luas diaplikasikan untuk berbagai tujuan, tidak hanya dalam pengolahan air dan limbah serta desalinasi air payau, namun juga bisa diterapkan untuk pemekatan larutan yang mengandung garam multivalen atau fraksinasi garam karena densitas muatan dan ukuran hidrasi ion yang berbeda (Bart Van Der Bruggen et al., 2003). Aplikasi NF untuk *water treatment* semakin meningkat, bahkan hampir menggantikan posisi *reverse osmosis* dalam pengolahan air payau. Berbagai aplikasi membran NF ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 2.5 Aplikasi Membran Nanofiltrasi

Aplikasi	Tujuan
Proses pengolahan makanan & minuman	Konsentrasi dan demineralisasi produk susu (Wang et al, 2009), konsentrasi jus buah (Banvolgyi et al, 2006; Ferrarini et al, 2001), ekstrak kopi
Purifikasi	Penyisihan kesadahan (J Schaep et al., 1998), pestisida (V. Der Bruggen et al., 1998) pada air tanah, logam berat dari air minum (Maher et al, 2014), pengolahan air payau
Pengolahan Limbah (wastewater treatment)	Penyisihan warna pada limbah tekstil (Babu & Murthy, 2017), pengolahan lindi (Renou et al, 2008) limbah restoran (Zulaikha et al, 2014)
Medis	Penyisihan hormon dan antibiotik (Koyuncu et al, 2008)

### 2.9 Kinerja membran

Efisiensi atau performa suatu membran ditunjukkan oleh nilai fluks (diukur dari laju alir yang melewati luas permukaan membran) dan selektifitas. Semakin tinggi nilai fluks dan selektifitasnya berarti kinerja membran semakin

baik. Fluks merupakan rasio antara volume aliran yang melewati membran dengan luas membran dan waktu pemisahan. Nilai fluks menunjukkan seberapa cepat membran dapat melewatkan permeat. Pengukuran fluks dilakukan menggunakan rumus berikut

$$J = \frac{V}{A.t} \quad (2.1)$$

Ket :     J = Fluks (L/m<sup>2</sup>/jam)  
          V = Volume permeat (L)  
          A = Luas Permukaan Membran (m<sup>2</sup>)  
          T = Waktu (jam)

Sedangkan selektifitas merupakan kemampuan membran untuk membedakan komponen dalam suatu aliran serta memisahkannya dari suatu fase ke fase lainnya. Selektifitas membran dinyatakan dengan koefisien rejeksi. Rejeksi mengukur seberapa handal suatu membran menyisahkan komponen tertentu (solute) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad (2.2)$$

dengan :   C<sub>p</sub> = Konsentrasi zat terlarut permeat  
          C<sub>f</sub> = Konsentrasi zat terlarut umpan  
          R = Koefisien rejeksi (%)

## 2.10 Fenomena *Fouling*

*Fouling* merupakan fenomena yang kerap terjadi pada proses filtrasi menggunakan membran. *Fouling* dapat diartikan sebagai penyumbatan pada permukaan atau pori- pori membran oleh zat terlarut ataupun tersuspensi yang berdampak pada performa membran. *Fouling* dapat dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu

- *Fouling* oleh komponen organik (*Organic Fouling*)  
Adalah deposisi atau adsorpsi material organik koloid atau terlarut pada permukaan membran (Simon, Price, & Nghiem, 2013). Jenis foul yang bisa menyebabkan *fouling* organik ini antara lain NOM (*natural organic matter*), protein, polisakarida.
- *Fouling* oleh koloid (*Colloidal Fouling*)  
Akumulasi partikel koloid dan partikulat yang tertahan/tersisihkan pada permukaan membran (Boussu et al., 2007), seperti mineral clay, silika koloid, metal oksida (besi, aluminium, mangan), koloid organik, partikel tersuspensi dan presipitasi garam, yang dapat membentuk *cake layer*.
- *Scaling*  
*Scaling* terjadi karena endapan ion terlarut sebagai garam, seperti garam kalsium dan magnesium pada permukaan membran. Material penyebab *scaling* yaitu kalsium sulfat, kalsium karbonat, barium sulfat dan silika.
- *Biofouling*  
Menurut (Al-Juboori & Yusaf, 2012; Ivnitsky et al., 2005) *biofouling* adalah adhesi dan pertumbuhan mikroorganisme (sel bakteri atau flok mikroba) disertai dengan aglomerasi bahan ekstraseluler pada permukaan membran. *Biofouling* disebabkan oleh bakteri dan fungi.

Proses *fouling* dapat terjadi dalam berbagai bentuk yaitu adsorpsi pada permukaan atau dalam pori membran, *pore blocking* (solut memblokir dan menyumbat pori membran), pembentukan *cake layer* karena deposisi partikel pada permukaan membran serta pembentukan *gel layer* akibat polarisasi konsentrasi (Mohammad et al., 2015).

Fluks akan semakin menurun dengan bertambahnya waktu filtrasi karena fenomena *fouling* (Susanto, 2011). Beberapa hal menurut Cheryan, 1998 menjadi penyebab terbentuknya *fouling* :

a. Karakteristik Membran

Muatan membran, sifat hidrofilik serta ukuran pori membran sangat berpengaruh terhadap terjadinya *fouling*. Perbedaan muatan antara membran dan solut akan menimbulkan gaya tarik menarik sehingga menimbulkan *fouling* pada membran. Hidrofilisitas menunjukkan interaksi yang kuat terhadap air namun interaksi dengan solut sangat lemah, berkebalikan dengan sifat hidrofobik. Akan tetapi membran hidrofobik cenderung memiliki Fluks yang tinggi. Perbandingan diameter pori membran dan ukuran pori solut juga mempengaruhi *fouling*.

b. Karakteristik Umpan

Mencakup muatan, geometri, hidrofilisitas, pH serta struktur kimia solut

c. Kondisi Operasi

Faktor penting yang berpengaruh terhadap *fouling* yaitu temperatur, tekanan operasi serta laju alir dan turbulensi. Secara umum kenaikan suhu juga akan meningkatkan fluks, menurunkan viskositas dan difusifitas. Namun pada senyawa tertentu peningkatan temperatur berbanding lurus dengan meningkatnya viskositas sehingga berpeluang besar terjadi *fouling*. Naiknya tekanan operasi pada titik tertentu tidak diringi peningkatan fluks, hal ini karena pengaruh *fouling* dan polarisasi konsentrasi. Tingginya laju alir dan turbulensi dapat mengurangi *fouling*, tetapi jika disebabkan oleh tingginya tekanan justru semakin meningkatkan peluang terjadinya *fouling*.

