

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah sampah dari suatu lingkungan masyarakat dan terutama terdiri dari air yang telah dipergunakan dengan hampir 0,1 dari padanya berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik. Peningkatan luas perkebunan kelapa sawit telah mendorong tumbuhnya industri-industri pengolahan, diantaranya pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) yang menghasilkan *crude palm oil* (CPO). PMKS merupakan industri yang sarat dengan residu pengolahan. PMKS hanya menghasilkan 25-30% produk utama berupa 20-23% CPO dan 5-7% inti sawit (kernel). Sementara sisanya sebanyak 70-75% adalah residu hasil pengolahan berupa limbah (Sugiharto, 2007).

Limbah perkebunan kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan dari sisa tanaman yang tertinggal pada saat pembukaan areal perkebunan, peremajaan dan panen kelapa sawit. Limbah ini digolongkan dalam tiga jenis yaitu limbah padat, cair, gas.

a. Limbah Padat

Salah satu jenis limbah padat industri kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Limbah padat mempunyai ciri khas pada komposisinya

b. Limbah Cair

Limbah Cair ini berasal dari kondensat, stasiun klarifikasi dan dari hidrosilikon. Lumpur (*sludge*) disebut juga lumpur primer yang berasal dari proses klarifikasi merupakan salah satu limbah cair yang dihasilkan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit, sedangkan lumpur yang telah mengalami proses sedimentasi disebut lumpur sekunder. Kandungan bahan organik lumpur juga tinggi yaitu pH berkisar 3-5.

c. Limbah Gas

Selain limbah padat dan cair, industri pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah bahan gas. Limbah bahan gas ini antara lain gas cerobong dan uap air buangan pabrik kelapa sawit.

2.2 Limbah Cair Pabrik kelapa Sawit

2.2.1 Pengetian Limbah Cair Pabrik kelapa Sawit

Limbah cair industri kelapa sawit berasal dari unit proses pengukusan (sterilisasi), proses klarifikasi dan buangan dari hidrosiklon. Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi, sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi (Kardila, 2011).

Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi yaitu BOD 25.000 mg/l, dan COD 48.000 mg/l sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. Oleh sebab itu untuk menurunkan kandungan kadar bahan pencemaran diperlukan degradasi bahan organik. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh limbah cair industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Limbah cair industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota (Kardila, 2011).

Limbah cair pabrik kelapa sawit ini umumnya bersuhu tinggi 70-80°C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan BOD (*biological oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*) yang tinggi. Apabila limbah cair ini langsung dibuang keperairan dapat mencemari lingkungan. Jika limbah tersebut langsung dibuang keperairan, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem perairan. Sebelum limbah cair ini dapat dibuang ke lingkungan

harus terlebih dahulu diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan (Kardila, 2011).

2.2.2 Standar Baku Mutu Limbah Kelapa Sawit

Table 2.1 Standar Baku Mutu Limbah Kelapa Sawit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/ton)
BOD	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan lemak	25	0,0063
Nitrogen total (sebagai N)	50,0	0,125

Sumber : Peraturan Gubernur Sumatra Selatan Nomor 8 tahun 2012

2.2.3 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS)

Teknik pengolahan limbah cair yang biasanya diterapkan di PKS adalah

1. Kolom pengumpulan (fat fit)

Kolam ini berguna untuk menampung cairan-cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondensat dan stasiun klarifikasi. Kemudian dimasukkan ke unit *deoiling ponds* untuk dikutip minyaknya dan diturunkan suhunya dari 70-80°C melalui menara atau bak pendingin

2. Kolam Pengasaman

Pada proses ini digunakan mikroba untuk menetralkan keasaman cairan limbah. Pengasaman bertujuan agar limbah cair yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi dalam suasana anaerobik. Limbah cair dalam kolam ini mengalami asidifikasi yaitu terjadinya kenaikan konsentrasi asam-asam yang mudah menguap. Waktu penahanan hidrolisis (WHP) limbah cair dalam kolam pengasaman ini lebih dari 5 hari. Kemudian sebelum diolah di

unit pengolahan limbah kolam anaerobik, limbah dinetralkan terlebih dahulu dengan menambahkan kapur tohor hingga mencapai pH antara 7,0-7,5.

3. Kolam anaerobik primer

Pada proses memanfaatkan mikroba dalam suasana anaerobik atau aerobik untuk merombak BOD dan biodegradasi bahan organik menjadi senyawa asam dan gas. WHP dalam kolam ini mencapai 40 hari.

4. Kolam anaerobik sekunder

Adapun WHP limbah dalam kolam ini mencapai 20 hari. Kebutuhan lahan untuk kolam anaerobik primer dan sekunder mencapai 7 hektar untuk PKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam.

5. Kolam pengendapan

Kolam ini bertujuan untuk mendapatkan lumpur- lumpur yang terdapat dalam limbah cair. WHP limbah kolam ini berkisar 2 hari. Biasanya ini merupakan pengolahan terakhir sebelum limbah dialirkan ke badan air dan diharapkan pada kolam ini limbah sudah memenuhi standar baku mutu air sungai . (Pedoman pengelolaan limbah industri kelapa sawit).

2.2.4 Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit

Pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan hasil samping berupa jangjangan kosong, *solid* basah, cangkang, serabut, dan *effluent*/limbah cair yang dikenal dengan istilah POME (*Palm Oil Mill Effluent*).

By product dari kegiatan pengolahan PKS masing-masing memiliki potensi untuk dimanfaatkan sehingga mempunyai nilai ekonomi yang tidak sedikit. Potensi dan pemanfaatan limbah pengolahan PKS disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2.2 Jenis, potensi, dan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit

Jenis	Potensi per ton TBS (%)	Manfaat
Tandan kosong	23,0	Pupuk kompos, pulp kertas, papan partikel, energy
Wet Dekanter Solid	4,0	Pupuk, kompas, makanan ternak
Cangkang	6,5	Arang, karbon aktif, papan partikel
Serabut (fiber)	13,0	Energi, pulp kertas, papan partikel
Limbah Cair	50,0	Pupuk air irigasi
Air kondensat		Air umpan boiler

Sumber : PT. SP, 2000

2.3 Membran

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori, berbentuk film tipis, bersifat semipermeabel yang berfungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dari pori membran akan lolos menembus pori membran (Kesting, 2000).

2.4 Klasifikasi membran

Membran yang digunakan dalam pemisahan molekul dapat diklasifikasikan berdasarkan morfologi, kerapatan pori, fungsi, struktur, dan bentuknya.

2.4.1 Berdasarkan morfologinya

Dilihat dari morfologinya, membran dapat digolongkan dalam dua bagian (Kesting, 2000) yaitu :

a. Membran Asimetrik

Membran asimetrik adalah membran yang terdiri dari lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya. Ukuran dan kerapatan pori untuk membran asimetris tidak sama, dimana ukuran pori dibagian kulit lebih kecil dibandingkan pada bagian pendukung. Ketebalan lapisan tipis

antara 0,2-1,0 μm dan lapisan pendukung sublayer yang berpori dengan ukuran antara 50-150 μm .

b. Membran Simetrik

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

2.4.2 Berdasarkan kerapatan pori

Dilihat kerapatan porinya, membran dapat dibedakan dalam dua bagian (Kesting, 2000) yaitu :

a. Membran rapat (Membran tak berpori)

Membran rapat ini mempunyai kulit yang rapat dan berupa lapisan tipis dengan ukuran pori dari 0,001 μm dengan kerapatan lebih rendah. Membran ini sering digunakan untuk memisahkan campuran yang memiliki molekul-molekul berukuran kecil dan ber BM rendah, sebagai contoh untuk pemisahan gas dan penguapan. Permeabilitas dan selektifitas membran ini ditentukan oleh sifat serta *type* polimer yang digunakan.

b. Membran berpori

Membran ini mempunyai ukuran lebih besar dari 0,001 μm dan kerapatan pori yang lebih tinggi. Membran berpori ini sering digunakan untuk proses ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, hyperfiltrasi. Selektifitas membran ini ditentukan oleh ukuran pori dan pengaruh bahan polimer.

2.4.3 Berdasarkan fungsinya

Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya gaya dorongan (ΔP) yang mengakibatkan adanya perpindahan massa melalui membran. Berdasarkan fungsinya membran dibagi menjadi tujuh macam, yaitu membran

yang digunakan pada proses reverse osmosis, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dialisa, dan elektrodialisa (Wenten, 1995).

a. Reverse Osmosis

Reverse osmosis merupakan proses perpindahan pelarut dengan gaya dorong perbedaan tekanan, dimana beda tekanan yang digunakan harus lebih besar dari beda tekanan osmosis. Ukuran pori pada proses osmosa balik antara 1-20 μm dan berat molekul solut yang digunakan antara 100-1000. Dengan adanya pengembangan membran asimetris proses osmosis balik menjadi sempurna, terutama digunakan untuk memproduksi air tawar dari air laut.

b. Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi mempunyai dasar kerja yang sama dengan osmosa balik, tetapi berbeda dengan ukuran porinya. Untuk ultrafiltrasi ukuran diameter pori yang digunakan yaitu 0,01-0,1 μm dengan BM solut antara 1000-500.000 g/mol. Proses pemisahannya ukuran molekul yang lebih kecil dari diameter pori akan menembus membran, sedangkan ukuran molekul yang lebih besar akan tertahan oleh membran.

c. Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi mempunyai prinsip kerja yang sama dengan ultrafiltrasi, hanya berbeda pada ukuran molekul yang akan dipisahkan. Pada mikrofiltrasi ukuran molekul yang akan dipisahkan 500-300.000 γ , dengan BM solut dapat mencapai 500.000 g/mol, karena itu proses mikrofiltrasi sering digunakan untuk menahan partikel-partikel dalam larutan suspensi.

d. Dialisa

Dialisa merupakan proses perpindahan molekul (zat terlarut atau solut) dari suatu cairan ke cairan lain melalui membran yang diakibatkan adanya perbedaan potensial kimia dari solut. Membran dialisa berfungsi untuk memisahkan larutan koloid yang mengandung elektrolit dengan berat molekul kecil. Proses secara dialisa sering digunakan untuk pencucian darah pada penderita penyakit ginjal.

e. Elektrodialisa

Elektrodialisa merupakan proses dialisa dengan menggunakan bantuan daya dorong potensial listrik. Elektrodialisa berlangsung relatif lebih cepat dibandingkan dengan dialisa. Pemakaian utamanya adalah desalinasi (penurunan kadar garam) dari juice.

f. Pervaporasi

Pervaporasi merupakan proses perpindahan massa melalui membran dengan melibatkan perubahan fasa didalamnya dari fasa cair ke fasa uap. Gaya dorong proses pervaporasi adalah perbedaan aktifitas pada kedua sisi membran yang menyebabkan terjadinya penguapan karena tekanan parsial lebih rendah daripada tekanan uap jenuh.

Pada umumnya selektifitas pervaporasi adalah tinggi, proses pervaporasi sering digunakan untuk memisahkan campuran yang tidak tahan panas dan campuran yang mempunyai titik azeotrop. Proses pemisahan secara pervaporasi menggunakan membran non pori/dense dan asimetris. Keunggulan proses pervaporasi penggunaan energi relatif rendah.

2.4.4 Berdasarkan strukturnya

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

a. Membran Homogen

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

b. Membran Heterogen

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

2.4.5 Berdasarkan bentuknya

Berdasarkan bentuknya membran dapat dibagi dibagi menjadi dua macam yaitu :

a. Membran Datar

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

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

b. Membran spiral

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

c. Membran Tubular

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

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

2.5 Bahan Dasar Membran Keramik

1. Tanah Liat (Lempung)

Tanah liat memiliki sifat paling stabil dan paling tahan erosi. Agar tanah liat dapat digunakan untuk membentuk benda keramik maka harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Tanah Liat Berbentuk Serbuk

a. Sifat Plastis

Sifat plastis berfungsi sebagai pengikat dalam proses pembentukan sehingga benda yang dibentuk tidak akan mengalami keretakan, pecah atau berubah bentuk.

b. Memiliki kemampuan bentuk

Tanah liat juga harus memiliki kemampuan bentuk yaitu kualitas penompang bentuk selama proses pembentukan berlangsung yang berfungsi sebagai penyangga.

c. Susut kering dan susut bakar

Tanah liat yang terlalu plastis biasanya memiliki persentase penyusutan lebih dari 15%, sehingga apabila tanah liat tersebut dibentuk akan memiliki resiko retak dan pecah yang tinggi.

d. Suhu kematangan (vitrifikasi)

Suhu bakar keramik berkaitan langsung dengan suhu kematangan, yaitu keadaan benda keramik yang telah mencapai kematangan secara tepat tanpa mengalami perubahan bentuk.

e. Porositas

Fluks membran keramik secara langsung berhubungan dengan porositas, dimana membran keramik yang bagus adalah membran dengan porositas tinggi, tetapi tidak menurunkan kekuatan mekanik membran tersebut.

2. Zeolit

Zeolit (*Zeinlithos*) atau berarti juga batuan mendidih, di dalam riset-riset kimiawan telah lama menjadi pusat perhatian. Setiap tahunnya, berbagai jurnal penelitian di seluruh dunia, selalu memuat pemanfaatan zeolit untuk berbagai aplikasi, terutama yang diarahkan pada aspek peningkatan efektivitas dan efisiensi proses industri. Struktur zeolit sejauh ini diketahui bermacam-macam, tetapi secara garis besar strukturnya terbentuk dari unit bangun primer, berupa tetrahedral yang kemudian menjadi unit bangun sekunder polihedral dan membentuk polihendra dan akhirnya unit struktur zeolit (Putra. 2007).

Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serbaguna. Sifat-

sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion.



Gambar. 2.2 zeolit

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul H_2O) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H_2O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi (Putra, 2007).

3. Natrium Karbonat

Membran keramik dibentuk dari perpaduan logam dan non logam. Natrium karbonat merupakan logam yang berfungsi untuk memperbaiki penyebaran dari partikel partikel pada pembuatan membran keramik, sehingga didapat penyebaran membran yang homogen (Sandeep dan Pradip, 2014). Natrium karbonat memiliki kegunaannya sangat luas. Natrium karbonat dalam industry digunakan sebagai bahan baku seperti, industri gelas, tekstil, sabun, dll.

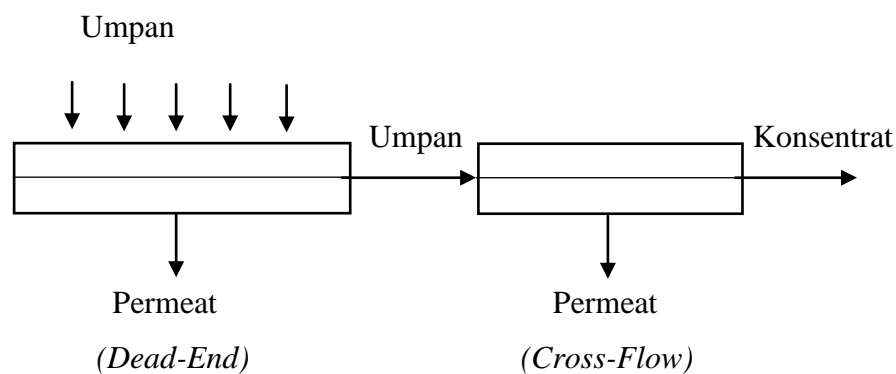
4. Asam Borik

Asam boric atau disebut juga hydrogen borit, asam borikat, dan acidum boricum, adalah suatu asam lemah dari boron. Asam boric terdapat dalam bentuk

Kristal tak berwarna atau serbuk putih yang larut dalam air. Bila terjadi sebagai mineral, ia disebut sassolite. Dalam membrane keramik aam boric ini berfungsi untuk memperbesar ikatan antar molekul dengan memperbaiki ikatan antar molekul saat pembakaran membrane terjadi (Sandeep dan Pradip, 2014).

2.6 Type aliran Umpan

Pada dasarnya ada dua *type* konfigurasi aliran pada proses pemisahan menggunakan membran yaitu *type* aliran melintas (*Dead-End*) dan aliran silang (*Cross-Flow*). Perbedaan kedua *Type* proses pemisahannya dapat dilihat pada gambar berikut (Mulder, 1996).



Gambar 2.3. *Type* proses pemisahan

Pada filtrasi aliran melintas, umpan dialirkan tegak lurus ke permukaan membran sehingga partikel terakumulasi dan membentuk suatu lapisan pada permukaan membran, hal ini berdampak terhadap penurunan *fluks* dan *rejeksi*. Pada *type* aliran silang (*Cross-Flow*), umpan mengalir sepanjang permukaan membran sehingga hanya sebagian yang terakumulasi.

2.7 Karakteristik Membran

Untuk memahami proses pemisahan dengan membran, akan ditentukan karakteristik membran yang dalam hubungannya dengan sifat dan struktur membran seperti kandungan air, uuran pori, jumlah pori, luas membran, dan ketebalan membran.

2.7.1 Kandungan air

Kandungan air merupakan tingkat kemampuan polimer untuk menyerap air. Sifat ini ditunjukkan oleh adanya gugus yang bersifat hidrofilik dalam rantai

polimer. Polimer yang banyak mengandung gugus hidroksil akan bersifat hidrofilik. Kandungan air ini akan mempengaruhi difusivitas penetrasi melalui membran karena semakin banyak yang berikatan dengan membran, akan menyebabkan rantai polimer bebas bergerak, sehingga molekul semakin mudah menembus membran polimer melewati ruang kosong antara rantai polimer dengan rantai lainnya.

2.7.2 Ukuran dan Jumlah pori

Pada proses pemisahan menggunakan membran ukuran dan jumlah pori merupakan faktor yang harus dipertimbangkan agar memenuhi standar ultrafiltrasi. Ukuran pori akan menentukan sifat selektivitas membran, yaitu kemampuan dari membran untuk menahan molekul-molekul zat terlarut, sehingga tidak ada yang lolos menembus pori membran. Sedangkan jumlah pori menentukan sifat permeabilitas membran yaitu kemudahan membran untuk melewatkan molekul-molekul air, dimana jika permeabilitas membran yang dihasilkan tinggi, maka membran layak digunakan.

2.7.3 Ketebalan Membran

Ketebalan membran merupakan salah satu karakteristik membran yang diukur untuk mengetahui laju permeasi membran. Ketebalan membran polysulfon diukur dengan menggunakan mikrometer. Ukuran ketebalan membran menurut standar ultrafiltrasi adalah 50-150 μm .

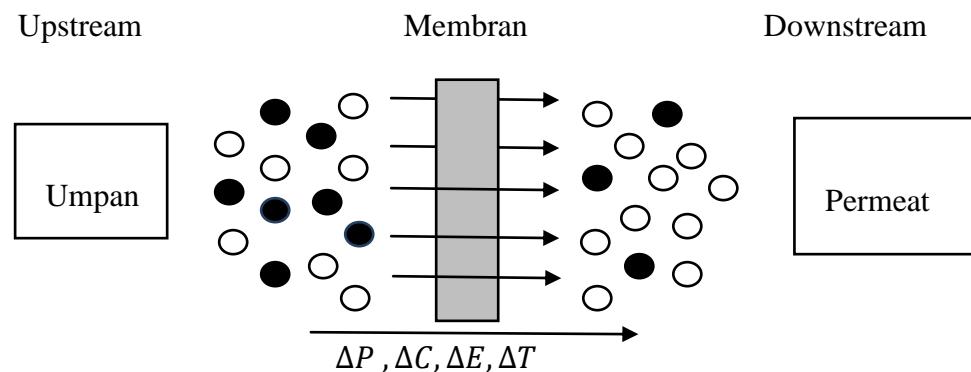
2.7.4 Luas Membran

Luas membran yang telah dibuat disesuaikan dengan luas modul membran dari rancangan alat, dimana pengukuran panjang dan lebar membran ini dilakukan secara manual dengan menggunakan mistar.

2.8 Prinsip Proses Pemisahan dengan Membran

Proses Pemisahan dengan menggunakan media membran dapat terjadi karena membran mempunyai sifat selektivitas yaitu kemampuan untuk memisahkan suatu partikel dari campurannya (Kesting, 2000).

Hal ini dikarenakan partikel memiliki ukuran lebih besar dari pori membran. Untuk lebih jelasnya mengenai proses pemisahan dengan menggunakan membran dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Proses Pemisahan dengan Membran (Wenten, 1999)

Upstream merupakan sisi umpan terdiri dari bermacam-macam molekul (komponen) yang akan dipisahkan, sedangkan downstream adalah sisi permeat yang merupakan hasil pemisahan. Pemisahan terjadi karena adanya gaya dorong (driving force) sehingga molekul-molekul berdifusi melalui membran yang disebabkan adanya perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC), perbedaan energi (ΔE), perbedaan temperature (ΔT).

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses pemisahan dengan membran meliputi :

- a. Interaksi membran dengan larutan
- b. Tekanan
- c. Temperature , dan
- d. Konsentrasi polarisasi

Dalam penggunaannya, pemilihan membran didasarkan kepada sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Stabil terhadap perubahan temperatur
- b. Mempunyai daya tahan terhadap bahan-bahan kimia
- c. Kemudahan untuk mendeteksi kebocoran
- d. Kemudahan proses penggantian
- e. Efisiensi pemisahan

2.9 Kinerja Membran

Operasi membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen dari aliran fluida melalui suatu membran. Membran berfungsi sebagai penghalang tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Mulder, 1996). Berdasarkan gradient tekanan sebagai gayadorongnya dan permeabilitasnya, membran dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu (Mulder, 1996):

- a. Mikrofiltrasi (MF), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan berkisar 0,1-2 Bar dan batasan permeabilitasnya lebih besar dari 50 L/m².jam.bar
- b. Ultrafiltrasi (UF), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan antara 1-5 Bar dan batasan permeabilitasnya adalah 10-50 L/m².jam.bar
- c. Nanofiltrasi, Membran ini beroperasi pada tekanan antara 5-20 bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 1,4 – 12 L/m².jam.bar
- d. Reverse Osmosis (RO), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan antara 10-100 Bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 0,05-1,4 L/m².jam.bar.

Ada dua parameter utama yang menentukan kinerja membran, yaitu laju aliran (fluks) dan selektivitas. Secara umum, fluks akan menentukan berapa banyak permeat yang dapat dihasilkan (kuantitas), sedangkan selektivitas berkaitan dengan kualitas permeat.

Laju Aliran (Fluks)

Fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gayadorong dalam hal ini berupa tekanan. Secara umum fluks dapat dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996).

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

Dimana:

J = fluks (L/m².jam)

V = Volume permeat (Liter)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

Selektivitas

Selektivitas suatu membran merupakan ukuran kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu lainnya. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien Rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana :

R =Koefisienrejeksi(%)

C_p =Konsentrasizat terlarutdalampermeat

C_f =Konsentrasizat terlarutdalamumpan

Dengan harga R berkisar antara 0 sampai 1. Jika harga $R = 1$ berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna.

2.10 Keunggulan dan kelemahan Teknologi Membran

Jika dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya, keunggulan dari teknologi membran antara lain adalah :

- Proses pemisahan dapat dilaksanakan secara berkesinambungan (*continuous*)
- Konsumsi energi umumnya rendah
- Dapat dengan mudah dipadukan dengan teknologi pemisahan lainnya (*hybrid*)

- Umumnya dioperasikan dalam kondisi sedang (bukan pada tekanan dan temperatur tinggi) dan sifat membran mudah untuk dimodifikasi
- Mudah untuk melakukan *up-scaling*
- Tidak memerlukan aditif

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

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

Fouling atau penyumbatan merupakan masalah yang sangat umum terjadi, yang terjadi akibat kontaminan yang menumpuk di dalam dan permukaan pori membran dalam waktu tertentu. *Fouling* tidak dapat dielakkan, walaupun membran sudah melalui proses pre-treatment. Jenis *fouling* yang terjadi sangat bergantung pada berbagai faktor, termasuk diantaranya kualitas umpan, jenis membran, bahan membran, dan perancangan serta pengendalian proses.

Tiga jenis *fouling* yang sering terjadi pada membran adalah *fouling* akibat partikel, biofouling, dan *scaling*. Kontaminasi ini menyebabkan perlunya beban kerja lebih tinggi, untuk menjamin kapasitas membran yang berkesinambungan. Pada titik tertentu, beban kerja yang diterapkan akan menjadi terlalu tinggi, sehingga proses tidak lagi ekonomis. *Fouling* dapat diminimalisasi dengan cara menaikkan pH sistem, menerapkan sistem *backwash*, serta penggunaan zat disinfektan untuk mencegah bakteri yang dapat menyerang membran. Sedangkan cara untuk menyingkirkan *fouling* adalah dengan *flushing* atau *chemical cleaning*.