

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Pelapisan Logam

Pelapisan logam merupakan pengendapan satu lapisan tipis pada suatu permukaan logam atau plastik yang biasanya dilakukan secara elektrolit, tetapi dapat juga hanya menggunakan reaksi kimia di mana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya (Purwanto dan Huda, 2005).

2.1.1 Bahan Baku dan Penunjang

Pada proses pelapisan logam bahan baku yang digunakan adalah logam yang akan mengalami proses pelapisan logam serta bahan penunjang seperti air dan pelarut (benzena, trikloroetilen, metil klorida, *toluene*, karbon tetra klorida/ CCl_4 , Natrium karbonat, kostik, sianida, boraks, sabun, asam sulfat, asam hidroklorida, dan sebagainya).

2.1.2 Proses Pelapisan Logam

Proses pengolahan pada industri pelapisan logam (Gautama, Pria, 2009):

a. Pembersihan dan pengupasan

Pada tahap awal operasi adalah mempersiapkan logam dengan cara pembersihan dan pengupasan. Lemak dapat dihilangkan dengan menggunakan pelarut seperti benzena, trikloroetilin, metil klorida, toluena, dan karbon. Tetraklorida, atau larutan alkali yang mengandung natrium karbonat kostip, sianida, borak, sabun, atau pembersih lainnya.

b. Pengasaman

Pengasaman yaitu menghilangkan kerak dan karat dari logam. Pengasaman ini menggunakan larutan asam sulfat atau asam hidroklorida.

c. Pelapisan

Dalam pelapisan tanpa listrik suatu lapisan diletakkan pada plastik atau logam dengan daya katalis atau pemindahan. Berbagai campuran larutan digunakan

tetapi paling umum adalah tembaga krom, nikel dan seng yang dilarutkan bersama sianida asam, alkali dan fosfat.

d. Penyepuhan

Penyepuhan adalah suatu proses pengendapan satu lapisan tipis oksida pada permukaan logam.

e. Pembilasan

Pembilasan dapat dilakukan dalam penangas lengkap, penangas mengalir atau pembilasan semprot.

2.1.3 Sumber Limbah Hasil Pelapisan Logam

Adapun sumber limbah dari industri pelapisan logam antara lain (Anonim, 2011):

- a. Pembuangan lemak dengan pelarut membuat pelarut itu sendiri menjadi limbah. Kebanyakan pelarut ini berbahaya bagi lingkungan;
- b. Larutan alkali pembersih mengandung padatan tersuspensi, lemak sabun dengan tingkat pH yang tinggi;
- c. Pengasaman menghasilkan pembuangan larutan asam secara berkala, larutan asam buanan, dan air bilasan dengan pH rendah;
- d. Pelapisan logam biasanya mengandung sianida dan logam yang dilapisi;
- e. Air bilasan yang biasanya mengandung pelarut-pelarut dan logam-logam yang digunakan. Sumber utama air limbah adalah larutan pembilasan yang agak encer dan sering mengandung 5 mg/L – 50 mg/L ion logam beracun;
- f. Limbah padat dari hasil pengolahan air buangan berbentuk lumpur. Hasil lain adalah dari perolehan kembali larutan, logam dan endapan saringan.

2.1.4 Parameter Limbah Hasil Pelapisan Logam

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Pelapisan Logam

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (gram/ton)
TSS	20	0,40
Sianida Total (CN) tersisa	0,2	0,004
Krom Total (Cr)	0,5	0,010
Krom Heksavalen (Cr ⁺⁶)	0,1	0,002
Tembaga (Cu)	0,6	0,012
Seng (Zn)	1,0	0,020
Nikel (Ni)	1,0	0,020
Kadmium (Cd)	0,05	0,001
Timbal (Pb)	0,1	0,002
Besi (Fe)	1,0	
PH	6,0-9,0	
Debit limbah maksimum	20 L per m ² produk pelapisan logam	

Sumber: *Kep. Men. Neg. L.H. No.: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri*

2.2 Bahaya Logam Berat dalam Air

Logam berat adalah unsur yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 gr/cm³, antara lain Cd, Hg, Pb, Zn dan Ni. Logam berat Cd, Hg dan Pb dinamakan sebagai logam non-esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Charlena, 2004).

Kontaminasi logam berat pada lingkungan perairan merupakan masalah besar dunia saat ini. Persoalan spesifik logam berat di lingkungan terutama karena akumulasinya sampai pada rantai makanan dan keberadaannya di alam, serta meningkatnya sejumlah logam berat yang menyebabkan keracunan terhadap tanah, udara dan air meningkat. Proses industri dan urbanisasi memegang peranan penting terhadap peningkatan kontaminasi tersebut. Suatu organisme akan kronis apabila produk yang dikonsumsi mengandung logam berat. Berikut ini penjelasan singkat mengenai logam berat dan standar kesehatannya.

a. Logam Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam berat yang bersifat karsinogenik bagi makhluk hidup. Menurut Ernawati (2010) keracunan kadmium kronis

menyebabkan kerusakan pada fisiologis tubuh, yaitu ginjal, paru-paru, darah dan jantung, kelenjar reproduksi, indra penciuman, kerapuhan tulang.

b. Logam Besi (Fe)

Senyawa besi dalam jumlah kecil di dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, di mana tubuh memerlukan 7-35 mg/hari yang sebagian diperoleh dari air. Tetapi zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengsekresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapat tranfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe (Amazine, 2014).

c. Tembaga (Cu)

Bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 mg/L. Konsentrasi yang aman bagi air minum manusia tidak lebih dari 1 mg/L. Konsentrasi normal komponen ini di tanah berkisar 20 mg/L dengan tingkat mobilitas sangat lambat karena ikatan yang sangat kuat dengan material.

d. Logam timbal (Pb)

Logam timbal (Pb) yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan akan terserap dalam aliran darah, setelah itu timbal akan dikeluarkan dari tubuh melalui feses dan urine, serta sisanya akan tersimpan di dalam tubuh terutama pada bagian tulang dan gigi. Timbal (Pb) mempengaruhi hampir setiap organ dan sistem dalam tubuh termasuk saluran *gastrointestinal*, sistem hematopoietik, sistem *kardiovaskuler*, sistem saraf pusat dan *perifer*, ginjal, sistem kekebalan, serta sistem reproduksi (Whardayani dkk., 2006)

e. Logam Nikel (Ni)

Logam ini cenderung lebih beracun pada tumbuhan. Selama masih mudah diambil oleh tanaman dari tanah, pembuangan limbah yang mengandung nikel masih sangat perlu diperhatikan. Total nikel yang terkandung dalam tanah berkisar 5-500 mg/L. Konsentrasi pada air tanah

biasanya berkisar 0,005-0,05 mg/L, dan kandungan pada tumbuhan biasanya tidak lebih dari 1 mg/L (kering) (Amazine, 2014).

f. Logam Krom (Cr)

Dengan terjadinya pencemaran lingkungan, kadar unsur krom yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat meningkat melebihi kadar normal (kadar normal: 0,05 mg/kg berat badan), baik melalui makanan maupun air minum, mencerna makanan yang mengandung kadar kromium tinggi bisa menyebabkan gangguan pencernaan, berupa sakit lambung, muntah, dan pendarahan, luka pada lambung, konvulsi, kerusakan ginjal, dan hepar, bahkan dapat menyebabkan kematian (Widowati, 2008).

2.3 Kitosan

Kitosan adalah senyawa polimer alam turunan kitin yang diisolasi dari limbah perikanan, seperti kulit udang dan cangkang kepiting dengan kandungan kitin antara 65-70 persen. Sumber bahan baku kitosan yang lain di antaranya kalajengking, jamur, cumi, gurita, serangga, laba-laba, dan ulat sutera dengan kandungan kitin antara 5-45 persen. Kitosan merupakan bahan kimia multiguna berbentuk serat dan merupakan kopolimer berbentuk lembaran tipis, berwarna putih atau kuning, tidak berbau. Kitosan merupakan produk deasetilasi kitin melalui proses kimia menggunakan basa natrium hidroksida atau proses enzimatik menggunakan enzim *chitin deacetylase*. Serat ini bersifat tidak dicerna dan tidak diserap tubuh. Sifat menonjol kitosan adalah kemampuan mengabsorpsi lemak hingga 4-5 kali beratnya (Rismana, 2006).

Kitosan adalah senyawa kimia yang berasal dari bahan hayati kitin, suatu senyawa organik yang melimpah di alam ini setelah selulosa. Kitin ini umumnya diperoleh dari kerangka hewan invertebrata dari kelompok *Arthropoda sp*, *Molusca sp*, *Coelenterata sp*, *Annelida sp*, *Nematoda sp*, dan beberapa dari kelompok jamur. Selain dari kerangka hewan invertebrata, juga banyak ditemukan pada bagian insang ikan, trakea, dinding usus dan pada kulit cumi-cumi. Sebagai sumber utamanya ialah cangkang *Crustaceae sp*, yaitu udang, lobster, kepiting, dan hewan yang bercangkang lainnya, terutama asal laut. Sumber ini diutamakan

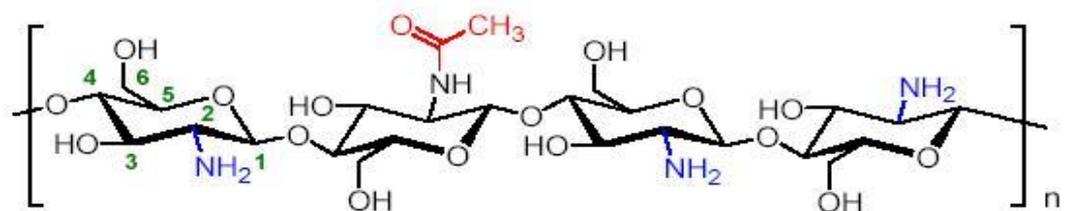
karena bertujuan untuk memberdayakan limbah udang (Hawab, 2005).

Kitosan adalah produk terdeasetilasi dari kitin yang merupakan biopolimer alami kedua terbanyak di alam setelah selulosa, yang banyak terdapat pada serangga, *crustaceae*, dan fungi (Sanford and Hutchings, 1987). Diperkirakan lebih dari 109-1.010 ton kitosan diproduksi di alam tiap tahun. Sebagai negara maritim, Indonesia sangat berpotensi menghasilkan kitin dan produk turunannya. Limbah cangkang rajungan di Cirebon saja berkisar 10 ton/hari yang berasal dari sekurangnya 20 industri kecil. Kitosan tersebut masih menjadi limbah yang dibuang dan menimbulkan masalah lingkungan. Data statistik menunjukkan negara yang memiliki industri pengolahan kerang menghasilkan sekitar 56.200 ton limbah. Pasar dunia untuk produk turunan kitin menunjukkan bahwa oligomer kitosan adalah produk yang termahal, yaitu senilai \$ 60.000/ton.

Kitosan merupakan senyawa turunan kitin, senyawa penyusun rangka luar hewan berkaki banyak seperti kepiting, ketam, udang dan serangga. Kitosan dan kitin termasuk senyawa kelompok polisakarida. Senyawa-senyawa lain yang termasuk kelompok polisakarida yang sudah tidak asing bagi kita adalah pati dan selulosa. Polisakarida-polisakarida ini berbeda dalam jenis monosakarida penyusunnya dan cara monosakarida-monosakarida berikatan membentuk polisakarida (Rismana, 2006).

2.3.1 Struktur Kitosan

Kitosan adalah jenis polimer rantai yang tidak linier yang mempunyai rumus umum $(C^6H_{11}O_4)_n$ atau disebut sebagai (1,4)-2-Amino-2-Deoksi- β -D-Glukosa, di mana strukturnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Thate (2004)

Gambar 1. Struktur kitosan

2.3.2 Sifat–Sifat Kimia dan Biologi Kitosan

Sebagian besar polisakarida yang terdapat secara alami seperti selulosa, dekstran, pektin, asam alginat, agar, karangenan bersifat netral atau asam di alam, sedangkan kitosan merupakan polisakarida yang bersifat basa (Kumar, 2000).

Menurut Rismana (2006) sifat alami kitosan dapat dibagi menjadi dua sifat besar yaitu, sifat kimia dan biologi. Sifat kimia kitosan antara lain:

- Merupakan polimer poliamin berbentuk linear;
- Mempunyai gugus amino aktif;
- Mempunyai kemampuan mengikat beberapa logam.

Sifat biologi kitosan antara lain:

- Bersifat biokompatibel artinya sebagai polimer alami sifatnya tidak mempunyai akibat samping, tidak beracun, tidak dapat dicerna, mudah diuraikan oleh mikroba (*biodegradable*);
- Dapat berikatan dengan sel mamalia dan mikroba secara agresif;
- Bersifat hemostatik, fungistatik, spermisidal, antitumor, antikolesterol;
- Bersifat sebagai depresan pada sistem saraf pusat. Berdasarkan kedua sifat tersebut maka kitosan mempunyai sifat fisik khas yaitu mudah dibentuk menjadi spons, larutan, pasta, membran, dan serat. yang sangat bermanfaat (Rismana, 2006).

Kitosan dengan bentuk amino bebas tidak selalu larut dalam air pada pH lebih dari 6,5 sehingga memerlukan asam untuk melarutkannya. Kitosan larut dalam asam asetat dan asam formiat encer. Adanya dua gugus hidroksil pada kitin, sedangkan kitosan dengan 1 gugus amino dan 2 gugus hidroksil merupakan target dalam modifikasi kimiawi (Hirano dkk.,1987).

Sifat kation kitosan adalah linier *polielektrolit*, bermuatan positif, flokulan yang sangat baik, pengkelat ion–ion logam. Sifat biologi kitosan adalah non toksik, polimer alami, sedangkan sifat kimia seperti linier poliamin, gugus amino dan gugus hidroksil yang reaktif. Aplikasi kitosan dalam berbagai bidang tergantung sifat–sifat kationik, biologi dan kimianya (Sandford dan Hutchings, 1987).

2.3.3 Kelarutan Kitosan

Kitosan yang disebut juga dengan β -1,4-2 amino-2-dioksi-D-glukosa merupakan senyawa yang sedikit larut dalam HCl, HNO₃, dan H₃PO₄ dan tidak larut dalam H₂SO₄. Kitosan tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi dan bersifat polielektrolitik. Di samping itu kitosan dapat dengan mudah berinteraksi dengan zat-zat organik lainnya seperti protein. Oleh karena itu, kitosan relatif lebih banyak digunakan pada berbagai bidang industri terapan dan industri kesehatan. Kitosan tidak larut dalam air, pelarut-pelarut organik, juga tidak larut dalam alkali dan asam-asam mineral pada pH di atas 6,5. Dengan adanya sejumlah asam, maka dapat larut dalam air-metanol, air-etanol, air-aseton, dan campuran lainnya. Kitosan larut dalam asam formiat dan asam asetat dan menurut Peniston dalam 20% asam sitrat juga dapat larut. Asam organik lainnya juga tidak dapat melarutkan kitosan, asam-asam anorganik lainnya pada pH tertentu setelah distirer dan dipanaskan dan asam sitrat juga dapat melarutkan kitosan pada sebagian kecil setelah beberapa waktu akan terbentuk endapan putih yang menyerupai *jelly* (Widodo, 2005).

2.3.4 Proses Pembuatan Kitin Menjadi Kitosan

Metode penyediaan kitosan pertama kali dilakukan oleh *Hope-Seyler* (1894) yaitu dengan merefluks kitin dalam kalium hidroksida pada suhu 180°C. Di mana proses deasetilasi kitin dapat dilakukan tanpa pemutusan rantai polimernya. Secara umum pemurnian kitin secara kimiawi terdiri dari empat tahap yaitu :

a. Deproteinisasi

Tahap awal dimulai dengan pemisahan protein dengan larutan basa, yang disebut dengan tahap deproteinasi. Deproteinasi bertujuan untuk memisahkan protein pada bahan dasar cangkang. Efektifitas prosesnya tergantung pada konsentrasi NaOH yang digunakan.

b. Demineralisasi

Tahap kedua yaitu demineralisasi. Tahap demineralisasi bertujuan untuk memisahkan mineral organik yang terikat pada bahan dasar, yaitu CaCO₃

sebagai mineral utama dan $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ dalam jumlah minor. Dalam proses demineralisasi menggunakan larutan asam klorida encer.

c. Depigmentasi

Penghilangan zat-zat warna dilakukan pada waktu pencucian residu setelah proses deproteinasi dan proses demineralisasi. Pada proses ini hasil dari proses demineralisasi direaksikan lebih lanjut dengan menggunakan agensia pemutih berupa natrium hipoklorit (NaOCl) atau peroksida. Proses decolorisasi bertujuan untuk menghasilkan warna putih pada kitin.

d. Deasetilasi

Tranformasi kitin menjadi kitosan disebut tahap deasetilasi, yaitu dengan memberikan perlakuan dengan basa berkonsentrasi tinggi. Proses deasetilasi kitosan dapat dilakukan dengan cara kimiawi maupun enzimatik. Proses kimiawi menggunakan basa misalnya NaOH , dan dapat menghasilkan kitosan dengan derajat deasetilasi yang tinggi, yaitu mencapai 85-93%. Namun proses kimiawi menghasilkan kitosan dengan bobot molekul yang beragam dan deasetilasinya juga sangat acak, sehingga sifat fisik dan kimia kitosan tidak seragam. Selain itu proses kimiawi juga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, sulit dikendalikan, dan melibatkan banyak reaksi samping yang dapat menurunkan rendemen. Proses enzimatik dapat menutupi kekurangan proses kimiawi. Pada dasarnya deasetilasi secara enzimatik bersifat selektif dan tidak merusak struktur rantai kitosan, sehingga menghasilkan kitosan dengan karakteristik yang lebih seragam agar dapat memperluas bidang aplikasinya (Sugita, 2009).

2.4 PVA (*Polivinil alcohol*)

Polivinil alkohol bersifat tidak berbau, tidak berasa, transparan, berbentuk serbuk berwarna putih atau kekuningan. PVA larut dalam air, sedikit larut dalam etanol tetapi tidak larut dalam pelarut organik. PVA (*Polivinyl Alcohol*) merupakan senyawa turunan dari *Poly Vinyl Acetat* akan meleleh pada suhu di atas 72°C , sebab *Poly Vinyl Acetat* meleleh pada suhu 72°C (Cowd, 1991). Struktur PVA terdiri dari gabungan monomer $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_5$. Sifat fisik PVA seperti

kekuatan, kelarutan dalam air, permeabilitas gas dan sifat termalnya bergantung pada berat molekul polimer. Semakin besar berat molekul PVA, maka viskositas, elastisitas, ketahanan terhadap air, pelarut, dan kekuatan melekat akan semakin meningkat. PVA banyak digunakan sebagai membran anorganik (Charles, 2010).

2.5 PEG (Polietilen Glikol)

Poli(etilena glikol) adalah molekul sederhana dengan struktur molekul linier atau bercabang. Pada suhu ruang, PEG dengan bobot molekul di bawah 700 berbentuk cair, sedangkan yang memiliki bobot molekul 700-900 berbentuk semi padat, dan PEG dengan bobot molekul 900-1000 atau lebih berbentuk padatan. PEG larut dalam air dan beberapa pelarut organik seperti toluena, aseton, metanol, dan metilklorida tetapi tidak larut dalam heksana dan hidrokarbon alifatik yang sejenis (Fadillah, 2003).

2.6 Membran

Membran sering digunakan dalam proses industri yang membutuhkan suatu teknik pemisahan. Membran merupakan suatu lapisan tipis permeabel atau semipermeabel, yang terbuat dari bahan polimer atau zat anorganik yang dapat menahan atau melewatkan spesi-spesi tertentu.

2.6.1 Klasifikasi membran

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

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 di bawahnya. Ukuran dan kerapatan pori untuk membran asimetris tidak sama, di mana 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 di dalam umpan tertahan di permukaan membran dan mencegah terjadinya pemblokiran di dalam pori.

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 permselectifitas 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.

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, di mana 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. Ukuran pori pada membran ini berkisaran 0,1-10 μm (Mulder, 1996).

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 di dalamnya 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.

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 tipe yang berbeda, sehingga dalam perpindahan mengalami hambatan.

5) Berdasarkan bentuknya

Berdasarkan bentuknya membran dapat dibagi dibagi menjadi dua macam (Rautenbach, 1997), 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).

2.6.2 Membran Komposit

Merupakan jenis membran asimetrik membran yang terdiri dari dua atau lebih bahan di mana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit) sehingga membentuk lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung di bawahnya.

2.6.3 Karakteristik membran

Agar diperoleh membran yang baik perlu dilakukan karakterisasi yang meliputi pengukuran terhadap fungsi dan efisiensi membran yaitu permeabilitas dan permselektivitas membran. Selain daripada itu karakteristik sifat mekanik juga diperlukan untuk mengetahui kekuatan membran, seperti uji kekuatan tarik dan daya sobek. Morfologi mikrostruktur membran dapat dilihat dengan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

1) Permeabilitas

Permeabilitas merupakan ukuran kecepatan dari suatu spasi untuk menembus membran. Sifat ini dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran pori, tekanan yang diberikan, serta ketebalan membran. Permeabilitas dinyatakan sebagai suatu besaran fluks yang didefinisikan sebagai jumlah volume

permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam suatu waktu tertentu dengan adanya gaya penggerak berupa tekanan (Mulder, 1991).

2) **Permselektivitas**

Permselektivitas dapat digunakan untuk mengetahui daya membran dalam menahan dan melewati suatu partikel. Sifat ini tergantung pada interaksi antara membran dengan partikel tersebut, ukuran pori membran, dan ukuran partikel yang akan melewati poli membran. Permselektivitas dinyatakan sebagai koefisien rejeksi, dilambangkan dengan R , yaitu fraksi konsentrasi zat yang tertahan oleh membran. Semakin besar R berarti semakin selektif membran tersebut dalam melewatkan partikel-partikel dalam larutan umpan (Mulder, 1991).

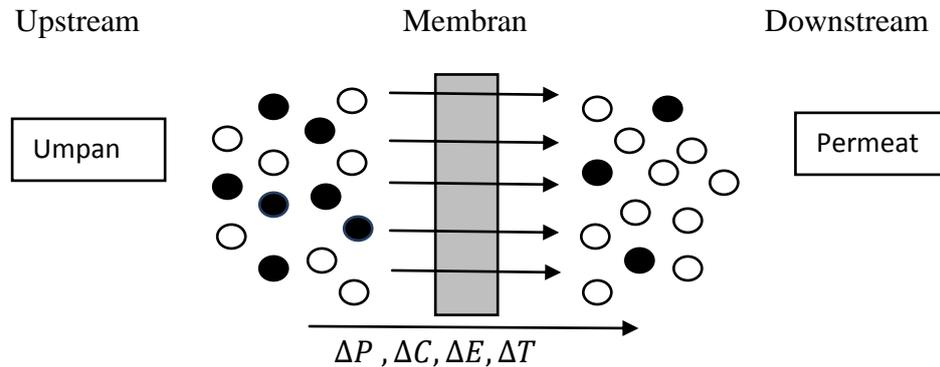
3) **Sifat Mekanik**

Karakterisasi sifat mekanik perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatan membran terhadap gaya yang berasal dari luar yang dapat merusak membran. Semakin rapat skruktur membran, berarti jarak antara molekul dalam membran semakin rapat sehingga mempunyai kekuatan tarik dan semakin mudah sobek atau rusak..

Untuk mengetahui morfologi membran, digunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), yang dapat memberikan informasi mengenai struktur membran dan penampang lintang. Dengan SEM juga dapat diperoleh data mengenai ukuran porinya, sehingga dari hasil ini dapat ditentukan standar keseragaman struktur membran yang dapat digunakan (Mulder, 1991).

2.6.4 Prinsip Pemisahan dengan Membran

Proses Pemisahan dengan menggunakan media membran dapat terjadi karena membran mempunyai sifat selektifitas yaitu kemampuan untuk memisahkan suatu partikel dari campurannya. Hal ini dikarenakan partikel memiliki ukuran lebih besar dari pori membran. Untuk lebih jelasnya mengenai proses pemisahan dengan menggunakan membran dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: *Mulder (1995)*

Gambar 2. Proses Pemisahan dengan Membran

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 temperatur (ΔT).

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

- a. Interaksi membran dengan larutan;
- b. Tekanan;
- c. Temperatur, 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.

Prinsip proses pemisahan dengan membran adalah pemanfaatan sifat membran, di mana dalam kondisi yang identik, jenis molekul tertentu akan berpindah dari satu fasa fluida ke fasa lainnya di sisi lain membran dalam

kecepatan yang berbeda-beda, sehingga membran bertindak sebagai filter yang sangat spesifik, di mana satu jenis molekul akan mengalir melalui membran, sedangkan jenis molekul yang berbeda akan “tertangkap” oleh membran. *Driving force* yang memungkinkan molekul untuk menembus membran antara lain adanya perbedaan suhu, tekanan atau konsentrasi fluida. *Driving force* ini dapat dipicu antara lain dengan penerapan tekanan tinggi, atau pemberian tegangan listrik.

Terdapat dua faktor yang menentukan efektivitas proses filtrasi dengan membran: faktor selektivitas dan faktor produktivitas. Selektivitas adalah keberhasilan pemisahan komponen, dinyatakan dalam parameter *Retention* (untuk sistem larutan), atau faktor pemisahan (untuk sistem senyawa organik cair atau campuran gas). Produktivitas didefinisikan sebagai volume/massa yang mengalir melalui membran per satuan luas membran dan waktu, dan dinyatakan dalam parameter *flux*, dan. Nilai selektivitas dan produktivitas sangat bergantung pada jenis membran.

2.6.5 Kinerja Membran pada proses Ultrafiltrasi

Kinerja atau efisiensi membran dalam ultrafiltrasi ditentukan oleh dua parameter yaitu fluks dan rejeksi.

2.6.5.1 Fluks

Fluks didefinisikan sebagai banyaknya spesi yang dapat menembus membran tiap satuan luas membran persatuan waktu. Fluks ditentukan oleh jumlah pori membran. Fluks demikian dinyatakan sebagai fluks volume (J_v) yang dinyatakan sebagai berikut (Mulder, 1995):

$$J_v = \frac{V}{A \times t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

J_v = Fluks volume (mL/cm².det)

V = volume permeat (mL)

A = Luas membran (cm²)

t = waktu tempuhan (det)

2.6.5.2 Rejeksi

Rejeksi didefinisikan sebagai fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran. Rejeksi ditentukan oleh ukuran pori membran. Rejeksi yang diamati adalah rejeksi yang tidak melibatkan molekul yang menempel pada membran atau tanpa terjadi akumulasi. Rejeksi dinyatakan sebagai berikut (Mulder, M, 1995):

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

R = Koefisien rejeksi(%)

C_p = Konsentrasizat terlarut dalam permeat

C_f = Konsentrasizat terlarut dalam umpan

Harga rejeksi bergantung pada berat molekul zat terlarut yang digunakan, bila $R = 100\%$, berarti membran tersebut menolak sempurna zat terlarut atau menahan sempurna zat terlarut, sehingga hampir tidak ada zat terlarut yang berhasil menembus pori membran.

2.7 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses akumulasi substansi di permukaan antara dua fasa yang terjadi secara fisika dan atau kimia, atau proses terserapnya molekul-molekul pada permukaan eksternal atau internal suatu padatan. Akumulasi yang terjadi dapat berlangsung pada proses cair-cair, cair-padat dan padat-padat. Komponen-komponen yang diserap disebut adsorbat contoh bahan yang bisa digunakan sebagai adsorbat antara lain: aluminium, karbon aktif, silika gel, dan lain-lain (Cabe, 1999).

Adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya tarik dari permukaan adsorban dan energi kinetik molekul adsorbat, dapat berupa adsorpsi fisika, adsorpsi kimia dan adsorpsi isoterm. Pada adsorpsi fisika terjadi gaya van der Waals antara molekul adsorbat dan adsorban untuk berikatan. Hal ini terjadi akibat perbedaan energi gaya tarik elektrostatik oleh karena itu adsorpsi fisika merupakan reaksi reversibel, sedangkan adsorpsi kimia adalah merupakan interaksi antara elektron-

elektron pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul adsorbat membentuk ikatan yang lebih kuat dibandingkan dengan adsorpsi fisika dan proses ini merupakan irreversibel (Bernasconi, 1995).

Proses adsorpsi berlangsung dalam tiga tahap yaitu: pergerakan molekul-molekul adsorbat menuju permukaan adsorben, penyebaran molekul-molekul adsorbat ke dalam rongga-rongga adsorben dan penarikan molekul-molekul adsorbat oleh permukaan aktif membentuk ikatan yang berlangsung sangat cepat (sorpsi) (Metcalf dan Eddy, 1979).

Pada adsorpsi di dalam permukaan tetap konsentrasi fase fluida dan fase zat padat berubah menurut waktu dan menurut posisinya di dalam permukaan. Kinetika adsorpsi dapat dianggap sebagai laju reaksi yang merupakan perbedaan waktu. Pengambilan logam (q) adalah adsorben dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q = V \frac{C_i - C_f}{1000} W \quad \dots\dots\dots(3)$$

di mana:

- V = Volume larutan (ml)
- C_i = Konsentrasi awal logam(mg/L)
- C_f = Konsentrasi akhir logam (mg/L)
- W = Berat adsorben (g)
- q = Banyaknya logam yang teradsorpsi dalam adsorben (mg/L)

Model isoterm Langmuir diterapkan dengan asumsi bahwa seluruh permukaan adsorben mempunyai afinitas yang relatif sama atau berbeda yang tidak signifikan terhadap logam. Persamaanya dalam bentuk umum adalah:

$$q = \frac{q_{\max} \cdot bC_f}{1 + bC_f} \quad \dots\dots\dots(4)$$

- di mana: q = jumlah adsorbat per unit berat adsorben (g)
- C_f = konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan

(mg/L)

q_{\max} = konstanta kapasitas adsorpsi langmuir (mg/L)

b = konstanta energi adsorpsi langmuir

Persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk persamaan linier sebagai berikut:

$$C_f/q = 1/q_{\max}b + C_f/q_{\max} \dots\dots\dots(5)$$