

# 7\_Andi\_off\_set\_2023\_Buku\_Ajar\_Bab1-11\_Lengkap.pdf

*by Erna Yuliwati*

---

**Submission date:** 14-Jun-2023 01:53PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2115786295

**File name:** 7\_Andi\_off\_set\_2023\_Buku\_Ajar\_Bab1-11\_Lengkap.pdf (1.78M)

**Word count:** 21996

**Character count:** 139992

# **PROSES PEMISAHAN LANJUT**

**Oleh**

**Erna Yuliwati , Muhammad Faizal dan Sri  
Martini**

**PASCASAJANA MAGISTER TEKNIK KIMIA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH  
PALEMBANG**

**2022**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR TABEL**

**DAFTAR GAMBAR**

## **KATA PENGANTAR**

Bismillahirrahmanirrahim  
Assalamualaikum wa Rahmatullah wa Barakatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya atas selesainya pembuatan buku “Proses Pemisahan Lanjut”. Shalawat serta salam pada Junjungan Nabi Besar Muhammad SAW yang selalu menjadi panutan umat hingga akhir zaman. Buku ini memberikan materi dasar teknologi membran yang diperlukan untuk mengelola air limbah dan menjadi salah satu literatur pada mata kuliah Teknologi Membran pada Jurusan/Program Studi teknik Kimia. Buku ini sebagai bacaan bagi para peneliti pemula yang ingin mengetahui tentang teori dasar mengenai teknologi membran, jenis dan klasifikasi membran, material dan struktur membran, karakterisasi dan proses pembuatan serat aplikasi membran. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang khusus disampaikan kepada Prof. Datuk Ahmad Fauzi Ismail, PhD., FASc.,Ceng., FICHEME sebagai guru dan inspirator untuk menulis

dan menyelesaikan buku ini, Dr Sri Rahayu, S.E., M>M selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Palembang, Dr. Ir Elfidiah , M.T. selaku Ketua Program Studi, demikian juga untuk kawan kawan dosen dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelesaian buku ini. Semoga amalnya diterima Allah sebagai amal jariyah dan buku ini dapat bermanfaat. Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan buku ini, untuk itu kritik dan saran untuk penyempurnaannya sangat diharapkan.

Wassalamualaikum wa Rahmatullah wa Barakatuh

Palembang 12 Desember 20212

Penulis  
Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D, IPM  
Dr Ir Faizal, DEA  
Sri Martini, S.T., M.T., Ph.D

## **BAB 1**

### **DISTILASI**

Kelayakan dan keandalan penyediaan kuantitas dan kualitas air yang memadai untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dibatasi oleh faktor geografis, hidrologi, ekonomi, dan sosial. Proyeksi pertumbuhan populasi global yang belum pernah terjadi sebelumnya, khususnya di daerah perkotaan, telah memicu kekhawatiran tentang ketersediaan air di lingkungan yang semakin kompleks lingkungan, ekonomi, dan sosial. Untuk mengatasi dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi dari pengembangan sumber daya air dan menghindari prospek kelangkaan air yang tidak menyenangkan, ada kebutuhan kritis untuk menguji kembali sistem sumber daya air. Masalah sumber daya air setempat dapat memberikan motivasi yang cukup untuk mendaur ulang sendiri. Kelangkaan air dapat dinilai hanya melalui rasio total abstraksi air tawar dari sumber daya total, dan dapat digunakan untuk menunjukkan ketersediaan air dan tekanan pada sumber daya air. Stres air terjadi ketika permintaan air melebihi jumlah ketersediaan ketika kualitas yang

buruk membatasi penggunaannya. Ini memberikan indikasi bagaimana total permintaan air memberi tekanan pada sumber daya air.

Selain itu, paradigma yang muncul dari pengelolaan sumber daya air berkelanjutan menekankan solusi sistem menyeluruh untuk dapat diandalkan dan secara adil memenuhi kebutuhan air generasi sekarang dan mendatang. Memahami konsep pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan sebagai dasar dari reklamasi air adalah sangat penting. Prinsip keberlanjutan didefinisikan sebagai 'Kemampuan memiliki kemampuan untuk membuat pembangunan berkelanjutan untuk memastikan bahwa ia memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri'[1]. Oleh karena itu, tujuan pengembangan dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan adalah untuk memenuhi kebutuhan air yang dapat diandalkan dan adil untuk generasi saat ini dan masa depan dengan merancang sistem yang terintegrasi dan dapat beradaptasi, mengoptimalkan efisiensi penggunaan air, dan melakukan upaya berkelanjutan terhadap pelestarian dan pemulihan

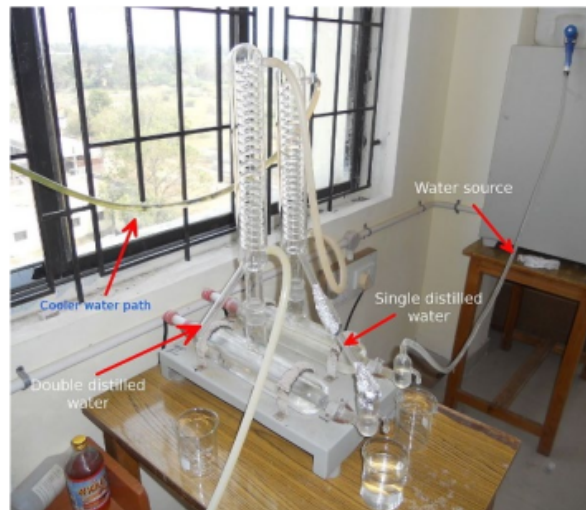
ekosistem alami. Transisi menuju masyarakat yang berkelanjutan menimbulkan sejumlah tantangan teknologi dan sosial. Inovasi teknologi dapat membantu meningkatkan pertimbangan untuk keberlanjutan yang harus mencakup penggunaan energi dan sumber daya serta pencemaran lingkungan [2]. Reklamasi air adalah proses dimana air limbah dari rumah dan bisnis dibersihkan menggunakan perawatan biologi dan kimia sehingga air dapat dikembalikan ke lingkungan dengan aman untuk menambah sistem alam. Faktor-faktor yang harus dimasukkan dalam keputusan pada proses reklamasi air limbah termasuk penghapusan kontaminan, kualitas sumber air, keandalan, kondisi yang ada, fleksibilitas proses, kemampuan utilitas, biaya, kompatibilitas lingkungan, kualitas air limbah sistem distribusi, dan masalah skala proses. Berdasarkan faktor-faktor ini, kemajuan perkembangan teknologi pada reklamasi air limbah dilihat oleh teknologi membran yang memiliki potensi luar biasa yang dihasilkan dari kemampuan universal dan biaya kompetitif.



## 1.1 Konsep Dasar Distilasi

Distilasi<sup>2</sup> adalah suatu metode pemisahan campuran yang didasarkan pada perbedaan tingkat volalitas (kemudahan suatu zat untuk menguap) pada suhu dan tekanan tertentu. Destilasi merupakan proses fisika dan tidak terjadi adanya reaksi kimia selama proses berlangsung. Dasar utama pemisahan dengan cara destilasi adalah perbedaan titik didih cairan pada tekanan tertentu. Proses destilasi biasanya melibatkan suatu penguapan campuran dan diikuti dengan proses pendinginan dan pengembunan. Aplikasi destilasi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu skala laboratorium dan skala industri. Perbedaan utama destilasi skala laboratorium dan industri adalah sistem ketersinambungan. Pada skala laboratorium, destilasi dilakukan sekali jalan. Dalam artian pada destilasi skala laboratorium, komposisi campuran dipisahkan menjadi komponen fraksi yang diurutkan berdasarkan volatilitas, dimana zat yang paling volatil akan dipisahkan terlebih dahulu. Dengan demikian, zat yang paling tidak volatile akan tersisa pada bagian paling bawah (Gambar 1.1). Proses ini dapat diulangi ketika

campuran ditambahkan dan memulai proses distilasi dari awal.



Gambar 1.1 Sistem Distilasi skala Lab

<sup>2</sup> Pada distilasi skala industri, senyawa asli (campuran), uap, dan destilat tetap dalam komposisi konstan. Fraksi yang diinginkan akan dipisahkan dari sistem secara hati-hati, dan ketika bahan awal habis maka akan ditambahkan lagi tanpa menghentikan proses destilasi. Distilasi mempunyai peranan yang sangat banyak dalam kehidupan manusia. Destilasi adalah kunci utama dalam pemisahan fraksi-fraksi minyak bumi. Minyak bumi dipisahkan menjadi fraksi-fraksi tertentu didasarkan pada perbedaan titik didih. Alkohol yang

terbentuk dari proses fermentasi juga dimurnikan dengan cara destilasi. Minyak-minyak atsiri alami yang mudah menguap dapat dipisahkan melalui destilasi. Banyak sekali minyak atsiri alami yang dapat diperoleh dengan cara destilasi, yakni minyak serai, minyak jahe, minyak cengkeh. Minyak kayu putih juga didapatkan dengan cara destilasi [1]

Destilasi ada beberapa macam, yaitu:

#### 1. Destilasi sederhana

Teknik pemisahan kimia untuk memisahkan dua atau lebih komponen yang memiliki perbedaan titik didih yang jauh. Peralatan distilasi skala laboratorium pada distilasi sederhana, dasar pemisahannya adalah perbedaan titik didih yang jauh atau dengan salah satu komponen bersifat volatile [2]. Jika campuran dipanaskan maka komponen yang titik didihnya lebih rendah akan menguap lebih dulu [3]. Selain perbedaan titik didih, juga perbedaan kevolatilan, yaitu kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas [2,4] Distilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer [5] Aplikasi distilasi sederhana digunakan untuk memisahkan campuran air dan alkohol [1,4]

## 2. Destilasi bertingkat

Untuk memisahkan dua atau lebih komponen yang memiliki perbedaan titik didih yang dekat. Fungsi distilasi fraksionasi adalah memisahkan komponen-komponen cair, dua atau lebih, dari suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didihnya [6] Distilasi ini juga dapat digunakan untuk campuran dengan perbedaan titik didih kurang dari 20 °C dan bekerja pada tekanan atmosfer atau dengan tekanan rendah [6] Aplikasi dari distilasi jenis ini digunakan pada industri minyak mentah, untuk memisahkan komponen-komponen dalam minyak mentah.

Perbedaan distilasi fraksionasi dan distilasi sederhana adalah adanya kolom fraksionasi. Di kolom ini terjadi pemanasan secara bertahap dengan suhu yang berbeda-beda pada setiap platnya [6] Pemanasan yang berbeda-beda ini bertujuan untuk pemurnian distilat yang lebih dari plat-plat di bawahnya. Semakin ke atas, semakin tidak volatil cairannya.

## 3. Destilasi Azeotrop

Memisahkan campuran azeotrop (campuran dua atau lebih komponen yang <sup>2</sup> sulit dipisahkan) biasanya dalam

prosesnya digunakan senyawa lain yang dapat memecah ikatan azeotrop tersebut, atau dengan menggunakan tekanan tinggi.

Peralatan sederhana untuk mendistilasi toluena kering dan bebas oksigen. Azeotrop adalah campuran dari dua atau lebih komponen yang memiliki titik didih yang konstan. Azeotrop dapat menjadi gangguan yang menyebabkan hasil distilasi menjadi tidak maksimal [1]. Komposisi dari azeotrop tetap konstan dalam pemberian atau penambahan tekanan [3]. Akan tetapi ketika tekanan total berubah, kedua titik didih dan komposisi dari azeotrop berubah. Sebagai akibatnya, azeotrop bukanlah komponen tetap, yang komposisinya harus selalu konstan dalam interval suhu dan tekanan, tetapi lebih ke campuran yang dihasilkan dari saling memengaruhi dalam kekuatan intramolekuler dalam larutan.

Azeotrop dapat didistilasi dengan menggunakan tambahan pelarut tertentu, misalnya penambahan benzena atau toluena untuk memisahkan air. Air dan pelarut akan ditangkap oleh penangkap Dean-Stark. Air akan tetap tinggal di dasar penangkap dan pelarut akan kembali ke campuran dan memisahkan air lagi.

Campuran azeotrop merupakan penyimpangan dari hukum Raoult.

#### <sup>2</sup> 4. Destilasi uap

Memisahkan zat senyawa cair yang tidak larut dalam air dan titik didihnya cukup tinggi. Aplikasi distilasi uap adalah untuk mengekstrak beberapa produk alam seperti minyak eucalyptus, minyak sitrus dari lemon atau jeruk, dan untuk ekstraksi minyak dari tumbuhan lainnya. Distilasi uap adalah istilah umum untuk destilasi campuran air dengan senyawa yang tidak larut dalam air.

Suatu evaporator putar mampu mendistilasi pelarut lebih cepat pada suhu rendah melalui penggunaan vakum. Distilasi uap digunakan pada campuran senyawa-senyawa yang memiliki titik didih mencapai 200 °C atau lebih [4] Distilasi uap dapat menguapkan senyawa-senyawa ini dengan suhu mendekati 100 °C dalam tekanan atmosfer dengan menggunakan uap atau air mendidih [4-5] Sifat yang fundamental dari distilasi uap adalah dapat mendistilasi campuran senyawa di bawah titik didih dari masing-masing senyawa campurannya [5] Selain itu distilasi uap dapat

digunakan untuk campuran yang tidak larut dalam air di semua temperatur, tetapi dapat didistilasi dengan air. Aplikasi dari distilasi uap adalah untuk mengekstrak beberapa produk alam seperti minyak eukaliptus dari eukaliptus, minyak citrus dari lemon atau jeruk, dan untuk ekstraksi minyak parfum dari tumbuhan.

Campuran dipanaskan melalui uap air yang dialirkan ke dalam campuran dan mungkin ditambah juga dengan pemanasan. Uap dari campuran akan naik ke atas menuju ke kondensor dan akhirnya masuk ke labu distilat.

#### 5. Destilasi vakum

Memisahkan dua komponen yang titik didihnya sangat tinggi, metode yang digunakan adalah dengan menurunkan tekanan permukaan lebih rendah dari 1atm sehingga titik didihnya juga menjadi rendah, dalam prosesnya suhu yang digunakan untuk mendestilasinya tidak terlalu tinggi. Distilasi vakum biasanya digunakan jika senyawa yang ingin didistilasi tidak stabil, dengan pengertian dapat terdekomposisi sebelum atau mendekati titik didihnya atau campuran yang memiliki titik didih di atas 150 °C.[11] Metode

distilasi ini tidak dapat digunakan pada pelarut dengan titik didih yang rendah jika kondensornya menggunakan air dingin, karena komponen yang menguap tidak dapat dikondensasi oleh air.[11] Untuk mengurangi tekanan digunakan pompa vakum atau aspirator.[11] Aspirator berfungsi sebagai penurun tekanan pada sistem distilasi ini.

## <sup>2</sup> 6. Destilasi Water Steam

Penyulingan dengan air dan uap ini biasa dikenal dengan sistem kukus. Cara ini sebenarnya mirip dengan sistem rebus, hanya saja bahan baku dan air tidak bersinggungan langsung karena dibatasi dengan saringan diatas air. Cara ini adalah yang paling banyak dilakukan pada dunia industri karena cukup membutuhkan air sedikit sehingga bisa menyingkat waktu proses produksi. Metode kukus ini biasa dilengkapi sistem kohobasi yaitu air kondensat yang keluar dari separator masuk kembali secara otomatis ke dalam ketel agar meminimalkan kehilangan air. Bagaimanapun cost produksi juga diperhitungkan dalam aspek komersial. Disisi lain, sistem kukus kohobasi lebih menguntungkan oleh karena terbebas

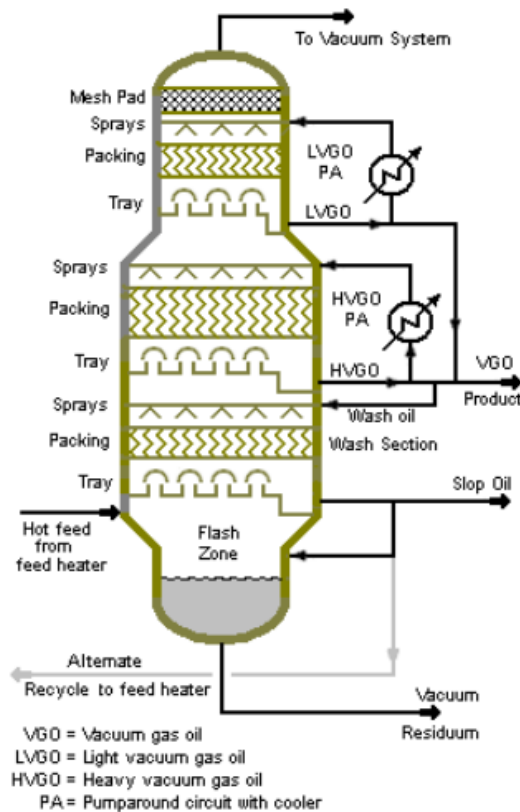


dari proses hidrolisa terhadap komponen minyak atsiri dan proses difusi minyak dengan air panas. Selain itu dekomposisi minyak akibat panas akan lebih baik dibandingkan dengan metode uap langsung (*Direct Steam Distillation*). Metode penyulingan dengan sistem kukus ini dapat menghasilkan uap dan panas yang stabil oleh karena tekanan uap yang konstan.

#### 7. Distilasi Skala Industri

Diagram kolom distilasi vakum skala industri yang umum digunakan dalam penyulingan minyak. Umumnya proses distilasi dalam skala industri dilakukan dalam menara, oleh karena itu unit proses dari distilasi ini sering disebut sebagai menara distilasi (MD).[4] Menara distilasi biasanya berukuran 2-5 meter dalam diameter dan tinggi berkisar antara 6-15 meter. Masukan dari menara distilasi biasanya berupa cair jenuh, yaitu cairan yang dengan berkurang tekanan sedikit saja sudah akan terbentuk uap dan memiliki dua arus keluaran, arus yang di atas adalah arus yang lebih volatil (mudah menguap) dan arus bawah yang terdiri dari komponen berat.

Menara destilasi terbagi dalam 2 jenis kategori besar:[4]



Gambar 1.2 Destilasi Skala Industri

Menara Distilasi tipe Stagewise, menara ini terdiri dari banyak piringan yang memungkinkan kesetimbangan terbagi-bagi dalam setiap piringannya, dan Menara Distilasi tipe Continuous, yang terdiri dari pengemasan dan kesetimbangan cair-gasnya terjadi di sepanjang kolom menara.

## 1.2 Aplikasi Distilasi

### 1.2.1 Minyak Atsiri

Minyak atsiri atau dikenal juga sebagai minyak eteris (aetheric oil), minyak esensial, minyak terbang, serta minyak aromatik, adalah kelompok besar minyak nabati yang berwujud cairan kental pada suhu ruang namun mudah menguap sehingga memberikan aroma yang khas. Minyak atsiri merupakan bahan dasar dari wangi wangian atau minyak gosok (untuk pengobatan) alami. Di dalam perdagangan, sulingan minyak atsiri dikenal sebagai bibit minyak wangi.

Proses produksi minyak atsiri dapat ditempuh melalui 3 cara, yaitu:

- (a) pengempaan (pressing),
- (b) ekstraksi menggunakan pelarut (solvent extraction),
- (c) penyulingan (distillation). Penyulingan merupakan metode yang paling

banyak digunakan untuk mendapatkan minyak atsiri. Penyulingan dilakukan dengan mendidihkan bahan baku di dalam ketel suling sehingga terdapat uap yang diperlukan untuk memisahkan minyak atsiri dengan

cara mengalirkan uap jenuh dari ketel pendidih air (boiler) ke dalam ketel penyulingan.

### 1.2.2 Tanaman Kayu Manis (*Cinnamomum verum*, sin. *C. zeylanicum*)

Kayu manis (*Cinnamomum verum*, sin. *C. zeylanicum*) ialah sejenis pohon penghasil rempah-rempah. Termasuk ke dalam jenis rempah-rempah yang amat beraroma, manis, dan pedas. Orang biasa menggunakan rempah-rempah dalam makanan yang dibakar manis, anggur panas. Kayu manis adalah salah satu bumbu makanan tertua yang digunakan manusia. Bumbu ini digunakan di Mesir Kuno sekitar 5000 tahun yang lalu, dan disebutkan beberapa kali di dalam kitab-kitab Perjanjian Lama. Kayu manis juga secara tradisional dijadikan sebagai suplemen untuk berbagai penyakit, dengan dicampur madu, misalnya untuk pengobatan penyakit radang sendi, kulit, jantung, dan perut kembung.

Beberapa spesies kayu manis yang dijual di pasaran di antaranya:

- (a) *Cinnamomum verum* (True cinnamon, Sri Lanka cinnamon atau Ceylon cinnamon).

- (b) *Burmannii* (korintje, kasiavera, atau Indonesian cinnamon).
- (c) *loureiroi* (Saigon cinnamon atau Vietnamese cinnamon).
- (d) *aromaticum* (Cassia atau Chinese cinnamon).

Kulit manis Ceylon sering kali hanya menggunakan kulit bagian dalam yang lebih tipis, lebih memiliki kesegaran, kurang padat, lebih beraroma, dan lebih lembut dalam rasa daripada kasiavera. Kasiavera memiliki rasa yang lebih kuat (sering lebih pedas) daripada kulit manis Sri Lanka dan umumnya berwarna merah kecoklatan sedang hingga ringan, keras dan bertekstur kayu, serta lebih tebal (2–3 mm (0,079–0,12 inci) dan menggunakan seluruh lapisan kulitnya.

### 1.3 Rangkuman

<sup>2</sup> Destilasi adalah suatu metode pemisahan campuran yang didasarkan pada perbedaan tingkat volalitas (kemudahan suatu zat untuk menguap) pada suhu dan tekanan tertentu. Destilasi merupakan proses fisika dan tidak terjadi adanya reaksi kimia selama proses

berlangsung. Dasar utama pemisahan dengan cara destilasi adalah perbedaan titik didih cairan pada tekanan tertentu. Proses destilasi biasanya melibatkan suatu penguapan campuran dan diikuti dengan proses pendinginan dan pengembunan. Aplikasi destilasi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu skala laboratorium dan skala industri. Perbedaan utama destilasi skala laboratorium dan industry adalah sistem ketersinambungan.

#### 1.4 Soal

1. Proses apakah yang berlaku dalam proses destilasi dan bagaimana proses itu terjadi?
2. Jelaskan proses destilasi yang anda ketahui dan buat diagram alirnya.

#### Referensi

1. McMurry, John (2003). *Fundamentals of Organic Chemistry* (edisi ke-Fifth). Agnus McDonald. hlm. 409. ISBN 0-534-39573-2.
2. Nasmi HS., Suteja, Syarif H. (2021). *Pengantar Inhibitor Korosi Alami*. Deepublish. hlm. 120. ISBN 9786230226618.

3. Nasmi HS., Suteja, Syarif H. (2021). Pengantar Inhibitor Korosi Alami. Deepublish. hlm. 121. ISBN 9786230226618.
4. Dasar-2 Fenomena Transport/3. Erlangga. 2002. hlm. 4. ISBN 9789797410193.
5. Nasmi HS., Suteja, Syarif H. (2021). Pengantar Inhibitor Korosi Alami. Deepublish. hlm. 121. ISBN 9786230226618.
6. Leiviskä, Tiina; Gehör, Seppo; Eijärvi, Erkki; Sarpola, Arja; Tanskanen, Juha (10 April 2012). "Characteristics and potential applications of coarse clay fractions from Puolanka, Finland". *Central European Journal of Engineering*. 2 (2): 239–247. Bibcode:2012CEJE.2.239L. doi:10.2478/s13531-011-0067-9.

## **BAB 2**

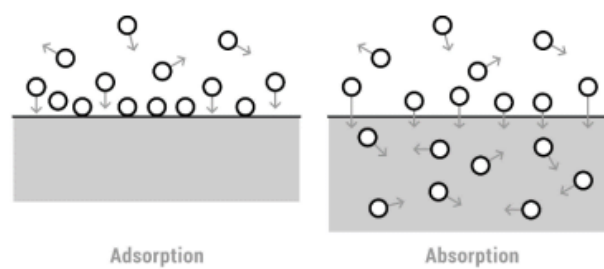
### **ABSORPSI**

Absorpsi adalah proses terjebakanya suatu partikel terlarut yang berukuran kurang dari 9-10 m dan koloid berdiameter 6-10 m oleh bahan yang berpori (absorbent) [1]. Partikel-partikel pengotor masuk ke dalam rongga melalui pori-pori, sebagian terjebak di dalamnya. Terjebakanya partikel pada absorbent terjadi karena adanya gaya fisik dan gaya kimia. Gaya fisik terjadi pada absorpsi fisik, misalnya karena adanya gaya coulomb, yaitu gaya yang terjadi akibat interaksi partikel-partikel bermuatan. Gaya kimia, gaya yang mempengaruhi berupa ikatan kimianya. Proses absorpsi hanya bisa terjadi ketika bahan absorbent mempunyai rongga. Apabila tidak terdapat rongga pada absorben maka proses absorpsi tidak akan terjadi. Semakin besar pori atau rongga pada absorben maka daya serap pada partikelnya akan semakin besar [2]. Gambar 2.1 merupakan gambaran proses terjebakanya partikel pengotor ke karbon aktif.

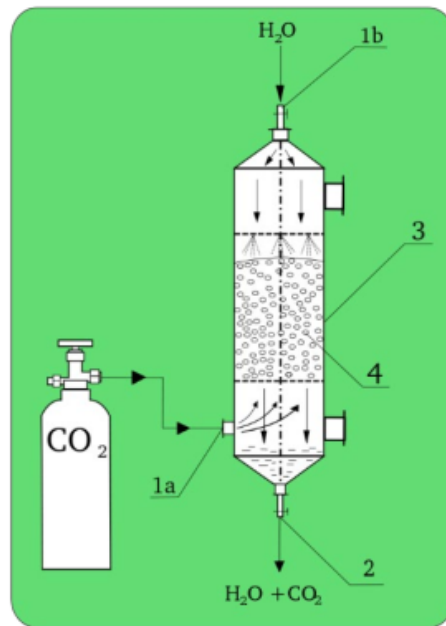
Adsorpsi merupakan suatu peristiwa terkontakanya partikel padatan dan cairan pada kondisi tertentu



sehingga sebagian partikel pengotor terperap (menempel pada permukaan rongga) di permukaan padatan dan konsentrasi partikel pengotor yang tidak terperap (menempel pada permukaan rongga) mengalami perubahan [3]. Pada proses adsorpsi partikel pengotor menempel pada bagian pinggir dari bahan penyerap. Hal tersebut yang membedakan antara absorpsi dengan adsorpsi. Pengertian absorpsi seringkali disalahartikan dengan adsorpsi. Sebenarnya kedua istilah tersebut saling berkaitan satu sama lain. Untuk adsorpsi adalah proses jerapan artinya partikel menjerap atau menempel pada permukaan partikel lainnya, sedangkan proses absorpsi adalah proses serapan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jerapan atau adsorpsi untuk sistem yang tak berpori dan serapan atau absorpsi untuk sistem yang berpori [4].



Gambar 2.2 Adsorpsi dan Absorpsi



Gambar 2.3 Aplikasi absorpsi pada industry

Dalam ilmu kimia, absorpsi atau penyerapan adalah fenomena fisika atau kimia atau suatu proses di mana atom, molekul atau ion memasuki fase ruah – bahan cair atau padat. Absorpsi berbeda dengan adsorpsi, karena molekul-molekul yang mengalami absorpsi memasuki volume, tidak hanya di permukaan saja (seperti yang terjadi pada adsorpsi). Istilah yang lebih umum adalah serapan (bahasa Inggris: sorption), yang meliputi absorpsi, adsorpsi, dan pertukaran ion. Absorpsi adalah suatu kondisi di mana sesuatu

memasuki zat lain [1,5]. Dalam banyak proses teknologi penting, absorpsi kimia digunakan untuk proses fisika, misalnya absorpsi karbon dioksida oleh natrium hidroksida – semacam proses asam-basa yang tidak mematuhi hukum partisi Nernst.

Beberapa contoh efek ini dapat dilihat pada artikel ekstraksi cair-cair. Adalah hal yang mungkin untuk mengekstraksi suatu zat terlarut (solut) dari suatu fase cair ke fase cair lainnya tanpa reaksi kimia. Contoh solut semacam ini adalah gas mulia dan osmium tetroksida.

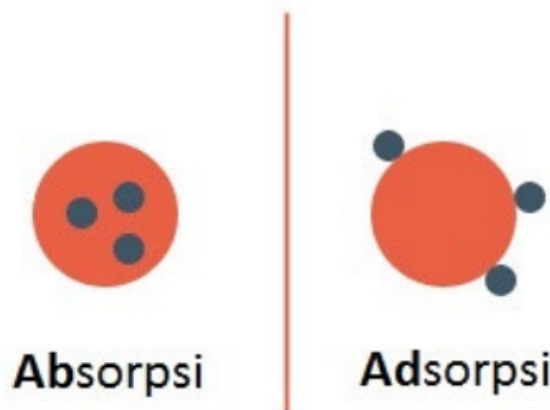
Proses absorpsi berarti bahwa zat menangkap dan memindahkan energi. Absorben mendistribusikan bahan yang ditangkapnya secara menyeluruh, sementara adsorben hanya mendistribusikannya di permukaan saja. Proses gas atau cair yang menembus ke dalam badan adsorben secara umum dikenal sebagai absorpsi [2]

#### Definisi IUPAC

Absorpsi: Proses suatu bahan (absorbat) diretensi oleh bahan lain (absorben); ini dapat berupa larutan fisik gas, cairan, atau padatan dalam cairan, pengikatan

molekul suatu gas, uap, cairan, atau pelarutan bahan pada permukaan padatan melalui gaya fisika, dll. Dalam spektrofotometri, absorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu digunakan untuk mengidentifikasi sifat kimia suatu molekul, atom atau ion dan untuk mengukur konsentrasi spesies-spesies ini. Jika absorpsi adalah suatu proses fisika yang tidak berhubungan dengan proses fisika atau kimia, biasanya ia memenuhi hukum distribusi Nernst:

"perbandingan konsentrasi beberapa spesies zat terlarut dalam dua fase ruah yang saling kontak pada kesetimbangan adalah konstan untuk zat terlarut dan fase ruah tertentu":



Gambar 2.3 Pengertian Absorpsi dan Adsorpsi

Dalam kasus absorpsi gas, perhitungan konsentrasi dapat dilakukan dengan menggunakan, misalnya Hukum gas ideal,  $c = p/RT$  [6]  
Cara lainnya, dapat digunakan tekanan parsial untuk menggantikan konsentrasi.

Jenis-jenis absorpsi

Absorpsi adalah suatu proses yang dapat berupa kimia (reaktif) maupun fisika (tak-reaktif).

#### **Absorpsi kimia**

Absorpsi kimia atau absorpsi reaktif adalah reaksi kimia antara bahan yang diabsorpsi dan yang mengabsorpsi. Kadang-kadang, ia merupakan kombinasi dengan absorpsi fisika. Absorpsi jenis ini bergantung pada stoikiometri reaksi dan konsentrasi reaktannya.[6]

#### 2.3. Rangkuman

Absorpsi adalah proses dimana zat terserap ke dalam suatu cairan ataupun padatan secara keseluruhan. Adsorpsi adalah proses dimana atom, ion ataupun molekul melekat/terjebak di pori-pori permukaan dari adsorbent(zat penyerap). Baik adsorpsi dan absorpsi

adalah proses sorpsi. Peristiwa adsorpsi terjadi ketika suatu zat menarik zat lain yang keberadaannya dekat dengan sekitar untuk berinteraksi sehingga saling berikatan. Pada proses adsorpsi dapat terjadi antara zat yang berbeda fase, misalnya fase padat berbeda dengan fase cair. Namun, selain itu juga dapat terjadi pada zat yang memiliki fase sama, yaitu fase padat dengan padat dan fase cair dengan fase cair. Sedangkan absorpsi merupakan salah satu metode pemisahan dengan cara mengontakkan campuran gas dengan cairan yang berperan sebagai penyerap. Dari proses tersebut akan terjadi perpindahan komponen gas, yaitu dari fase gas ke fase cair. Sebagai proses sorpsi atau pemisahan, antara peristiwa adsorpsi dan absorpsi memiliki perbedaan seperti yang ditabulasikan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi dan Absorpsi

Berdasarkan gejalanya	Adsorpsi adalah fenomena permukaan sedangkan absorpsi adalah fenomena ruah yang disebut juga dengan bulky
-----------------------	---

Pertukaran panasnya	Pada proses adsorpsi pertukaran panas terjadi secara eksotermik, sementara pertukaran panas pada proses absorpsi terjadi secara endotermik
Suhu lingkungan/temperatur lingkungan	Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan saat terjadi. Namun proses absorpsi berkebalikan, yaitu tidak dipengaruhi oleh suhu lingkungan.
Berdasarkan pada laju reaksinya	Proses adsorpsi baik secara fisika maupun kimia laju reaksinya terus meningkat sampai nilainya mencapai keseimbangan. Berbeda dengan proses absorpsi yang laju reaksinya selalu berjalan seragam dari awal hingga akhir proses pemisahan
Konsentrasi	Proses adsorpsi menunjukkan konsentrasi yang berbeda pada permukaan adsorben dari ruah. Sedangkan pada proses absorpsi konsentrasinya sama

Penting juga dipahami bahwa selama peristiwa absorpsi terjadi, molekul akan terlarut sepenuhnya pada absorben untuk membentuk larutan. Kemudian jika sudah larut molekul tadi tidak dapat dipisahkan secara mudah. Sedangkan disisi lain adsorpsi dapat disebabkan oleh tarikan elektrostatis. Pada proses adsorpsi molekul yang ditahan secara bebas pada permukaannya lebih mudah untuk dilepaskan.

#### 2.4 Soal

1. Apa perbedaan utama absorpsi dan adsorpsi?
2. Bagaimana posisi molekul yang ter"sorpsi" pada kedua proses diatas.?
3. Apakah yang terjadi pada adsorpsi gas , dan bagaimana mekanismenya.

#### Referensi

1. McMurry, John (2003). *Fundamentals of Organic Chemistry* (edisi ke-Fifth). Agnus McDonald. hlm. 409. ISBN 0-534-39573-2.
2. Nasmi HS., Suteja, Syarif H. (2021). *Pengantar Inhibitor Korosi Alami*. Deepublish. hlm. 120. ISBN 9786230226618.



3. Nasmi HS., Suteja, Syarif H. (2021). Pengantar Inhibitor Korosi Alami. Deepublish. hlm. 121. ISBN 9786230226618.
4. Dasar-2 Fenomena Transport/3. Erlangga. 2002. hlm. 4. ISBN 9789797410193.
5. Nasmi HS., Suteja, Syarif H. (2021). Pengantar Inhibitor Korosi Alami. Deepublish. hlm. 121. ISBN 9786230226618.
6. Leiviskä, Tiina; Gehör, Seppo; Eijärvi, Erkki; Sarpola, Arja; Tanskanen, Juha (10 April 2012). "Characteristics and potential applications of coarse clay fractions from Puolanka, Finland". *Central European Journal of Engineering*. 2 (2): 239–247. Bibcode:2012CEJE....2..239L. doi:10.2478/s13531-011-0067-9

## **BAB 3**

### **EKSTRAKSI**

Ekstraksi adalah suatu proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda, biasanya air dan yang lainnya pelarut organik.

Proses ekstraksi dapat berlangsung pada:

- Ekstraksi parfum, untuk mendapatkan komponen dari bahan yang wangi.
- Ekstraksi cair-cair atau dikenal juga dengan nama ekstraksi solven. Ekstraksi jenis ini merupakan proses yang umum digunakan dalam skala laboratorium maupun skala industri.

#### **Leaching**

Leaching, adalah proses pemisahan kimia yang bertujuan untuk memisahkan suatu senyawa kimia dari matriks padatan ke dalam cairan. Penyiapan bahan yang akan diekstrak dan pelarut



Gambar 3.1 Sistem Ekstraksi Skala Laboratorium

### **Selektivitas**

Pelarut hanya boleh melarutkan ekstrak yang diinginkan, bukan komponen-komponen lain dari bahan ekstraksi. Dalam praktik, terutama pada ekstraksi bahan-bahan alami, sering juga bahan lain (misalnya lemak, resin) ikut dibebaskan bersama-sama dengan ekstrak yang diinginkan. Dalam hal itu larutan ekstrak tercemar yang diperoleh harus dibersihkan,

yaitu misalnya diekstraksi lagi dengan menggunakan pelarut kedua.

### **Kelarutan**

Pelarut sedapat mungkin memiliki kemampuan melarutkan ekstrak yang besar (kebutuhan pelarut lebih sedikit). Kemampuan tidak saling bercampur Pada ekstraksi cair-cair, pelarut tidak boleh (atau hanya secara terbatas) larut dalam bahan ekstraksi.

### **Kerapatan**

Terutama pada ekstraksi cair-cair, sedapat mungkin terdapat perbedaan kerapatan yang besar antara pelarut dan bahan ekstraksi. Hal ini dimaksudkan agar kedua fase dapat dengan mudah dipisahkan kembali setelah pencampuran (pemisahan dengan gaya berat). Bila beda kerapatannya kecil, sering kali pemisahan harus dilakukan dengan menggunakan gaya sentrifugal (misalnya dalam ekstraktor sentrifugal).

### **Reaktivitas**

Pada umumnya pelarut tidak boleh menyebabkan perubahan secara kimia pada komponen-komponen

bahan ekstraksi. Sebaliknya, dalam hal-hal tertentu diperlukan adanya reaksi kimia (misalnya pembentukan garam) untuk mendapatkan selektivitas yang tinggi. Seringkali ekstraksi juga disertai dengan reaksi kimia. Dalam hal ini bahan yang akan dipisahkan mutlak harus berada dalam bentuk larutan.

### **Titik didih**

Karena ekstrak dan pelarut biasanya harus dipisahkan dengan cara penguapan, destilasi atau rektifikasi, maka titik didih kedua bahan itu tidak boleh terlalu dekat, dan keduanya tidak membentuk azeotrop. Ditinjau dari segi ekonomi, akan menguntungkan jika pada proses ekstraksi titik didih pelarut tidak terlalu tinggi (seperti juga halnya dengan panas penguapan yang rendah).

### **Ekstraksi Pelarut**

Ekstraksi pelarut menghasilkan sebuah larutan melalui sebuah proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya.

### **Hukum Distribusi atau partisi**

Dengan Hukum Distribusi dapat diketahui bahwa zat tertentu lebih mudah larut dalam pelarut-pelarut tertentu. Contohnya bila banyaknya iod diubah-ubah, angka banding konsentrasi-konsentrasi itu selalu konstan dengan syarat temperaturnya konstan.

Konsentrasi Iod dalam Karbon disulfida / konsentrasi iod dalam air dapat ditulis dengan persamaan berikut,

$$C_2/C_1 = K_d$$

dimana  $K_d$  dikenal dengan koefisien distribusi atau partisi. Hukum distribusi atau partisi dapat dirumuskan: bila suatu zat terlarut terdistribusi antara dua pelarut yang tidak dapat campur, maka suatu temperatur yang konstan untuk tiap spesi molekul terdapat angka banding berubah dengan sifat dasar kedua pelarut itu. angka banding distribusi ini tidak tergantung pada spesi molekul lain apapun yang mungkin ada. Harga angka banding berubah dengan sifat dasar kedua pelarut, sifat dasar zat terlarut, dan temperatur [1].

**Penerapan ekstraksi pelarut dalam analisis kualitatif.**

Berbagai uji dalam analisis kualitatif (i) kromium pentoksida lebih dapat larut dalam amil alkohol(eter) daripada dalam air, dengan mengocok larutan encer dalam air dengan amil alkohol(eter). Diperoleh suatu larutan pekat dengan amil alkohol dan adanya kromat atau hidrogen peoksida yang dinyatakan oleh warna biru.

Studi hidrolisis, terdapat kesetimbangan antara garam, hidrolisis dapat ditulis sebagai



Konsentrasi dapat ditentukan dengan cara distribusi antara air dan pelarut lain, seperti benzena atau kloroform. Penentuan susunan ion Halida yang kompleks, iod jauh lebih dapat larut dalam Kallium iodida dalam air. hal ini disebabkan oleh terbentuknya ion tri iodida. Pengukuran distribusi juga telah dilakukan untuk membuktikan adanya ion tetraaminokuprat (II), dalam suatu larutan air beramoniak dari tembaga sulfida, dengan diperiksannya perisi amonia bebas antara kloroform dan air [3-5]

3  
Salah satu metode pemisahan senyawa pada bahan alam yang paling umum adalah ekstraksi. Ekstraksi

merupakan suatu proses pemisahan satu atau beberapa zat yang dapat larut dari suatu kesatuan yang tidak bisa larut dengan bantuan bahan pelarut. Ekstraksi banyak dilakukan dalam bidang industri makanan dan juga farmasi. Berdasarkan prosesnya, ekstraksi dibedakan menjadi :

Ekstraksi cair-cair, yaitu proses pemisahan cairan dari suatu larutan dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarutnya Ekstraksi padat-cair, yaitu proses pemisahan cairan dari padatan dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarutnya. Adapun macam-macam dari metode ekstraksi adalah sebagai berikut

### **Ekstraksi Secara Dingin**

#### **Maserasi**

Maserasi merupakan metode ekstraksi sederhana yang dilakukan dengan cara merendam serbuk simplisia dalam cairan pelarut selama beberapa hari pada suhu kamar. Metode maserasi digunakan untuk menyari simplisia yang mengandung komponen kimia yang mudah larut dalam cairan pelarut, tidak mengandung benzoin, tiraks dan lilin [6]. Keuntungan dari metode



ini adalah peralatannya sederhana dan mudah untuk dilakukan. Sedangkan kerugiannya antara lain membutuhkan waktu yang cukup lama selama masa perendaman, cairan pelarut yang digunakan cukup banyak, tidak dapat digunakan untuk bahan-bahan yang mempunyai tekstur keras seperti benzoin, tiraks dan lilin.

### **Perkolasi**

Perkolasi adalah cara penyarian dengan mengalirkan penyari melalui serbuk simplisia yang telah dibasahi. Keuntungan metode ini adalah tidak memerlukan langkah tambahan yaitu sampel padat (marc) telah terpisah dari ekstrak. Kerugiannya adalah kontak antara sampel padat tidak merata atau terbatas dibandingkan dengan metode refluks, dan pelarut menjadi dingin selama proses perkolasi sehingga tidak melarutkan komponen secara efisien [7].

### **Ekstraksi Secara Panas**

#### **Refluks**

Refluks merupakan ekstraksi dengan pelarut pada temperatur titik didihnya, selama waktu tertentu dan

jumlah pelarut yang relative konstan dengan adanya pendinginan balik. Ekstraksi refluks digunakan untuk mengekstraksi bahan-bahan yang tahan terhadap pemanasan. Prinsip dari metode refluks adalah pelarut volatil yang digunakan akan menguap pada suhu tinggi, namun akan didinginkan dengan kondensor sehingga pelarut yang tadinya dalam bentuk uap akan mengembun pada kondensor dan turun lagi ke dalam wadah reaksi sehingga pelarut akan tetap ada selama reaksi berlangsung. Sedangkan aliran gas N<sub>2</sub> diberikan agar tidak ada uap air atau gas oksigen yang masuk terutama pada senyawa organologam untuk sintesis senyawa anorganik karena sifatnya reaktif [8].

### **Soxhletasi**

Soxhletasi merupakan penyarian simplisia secara berkesinambungan, cairan penyari dipanaskan sehingga menguap, uap cairan penyari terkondensasi menjadi molekul-molekul air oleh pendingin balik dan turun menyari simplisia dalam klongsong dan selanjutnya masuk kembali ke dalam labu alas bulat setelah melewati pipa sifon [9]. Keuntungan metode ini adalah dapat digunakan untuk sampel dengan

tekstur yang lunak dan tidak tahan terhadap pemanasan secara langsung, pelarut yang digunakan lebih sedikit dan pemanasannya dapat diatur. Sedangkan kerugiannya, karena pelarut digunakan secara berulang, ekstrak yang terkumpul pada wadah di sebelah bawah terus-menerus dipanaskan sehingga dapat menyebabkan reaksi peruraian oleh panas. Jumlah total senyawa-senyawa yang diekstraksi akan melampaui kelarutannya dalam pelarut tertentu sehingga dapat mengendap dalam wadah dan membutuhkan volume pelarut yang lebih banyak untuk melarutkannya. Bila dilakukan dalam skala besar, mungkin tidak cocok untuk menggunakan pelarut dengan titik didih yang terlalu tinggi, seperti metanol atau air, karena seluruh alat yang berada di bawah komdensor perlu berada pada temperatur ini untuk pergerakan uap pelarut yang efektif

Metode ini terbatas pada ekstraksi dengan pelarut murni atau campuran azeotropik dan tidak dapat digunakan untuk ekstraksi dengan campuran pelarut, misalnya heksan : diklormetan = 1 : 1, atau pelarut yang diasamkan atau dibasakan, karena uapnya akan

mempunyai komposisi yang berbeda dalam pelarut cair di dalam wadah

### 2.3 Rangkuman

3 Salah satu metode pemisahan senyawa pada bahan alam yang paling umum adalah ekstraksi. Ekstraksi merupakan suatu proses pemisahan satu atau beberapa zat yang dapat larut dari suatu kesatuan yang tidak bisa larut dengan bantuan bahan pelarut. Ekstraksi banyak dilakukan dalam bidang industri makanan dan juga farmasi. Berdasarkan prosesnya, ekstraksi dibedakan menjadi :

Ekstraksi cair-cair, yaitu proses pemisahan cairan dari suatu larutan dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarutnya

Ekstraksi padat-cair, yaitu proses pemisahan cairan dari padatan dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarutnya

### 2.4 Soal

1. Jelaskan perbedaan ekstraksi dingin dan panas secara rinci berikut contoh aplikasinya?.

2. Jelaskan definisi dari ekstraksi yang anda ketahui?
3. Apakah yang dimaksud dengan refluks, dan soxhletasi?.

#### Referensi

1. Svehla, G. 1979. Text Book of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis. Alih bahasa: Setiono, L. dkk. (1985). Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Bagian 1. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka
2. Agoes.G.2007. Teknologi Bahan Alam, ITB Press Bandung.
3. Deinstrop, Elke. 2007. Applied Thin-Layer Chromatography. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCA hal. 1-2.
4. Gandjar IG & Abdul R. 2008. Kimia Farmasi Analisis. Yogyakarta. Pustaka Pelajar.
5. Saifuddin A, Rahayu, Yuda Hilwan. 2011. Standarisasi Bahan Obat Alam. Graha Ilmu. Yogyakarta. hal. 1-22.
6. Seidel V. Initial and ulkextraction. In: Sarker SD, Latif Z & Gray Al, editors. Natural

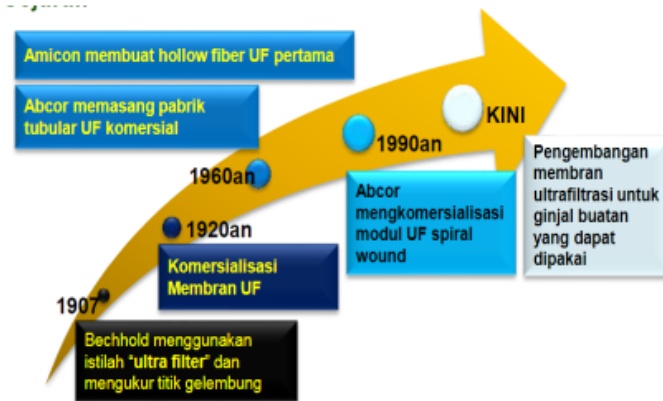
- product Isolation, 2nd ed. Totowa (New Jersey). Humana Press Inc. 2006. hal. 31-5
7. Sarker SD, Latif Z, & Gray AI. 2006. Natural products isolation. In: Sarker SD, Latif Z, & Gray AI, editors. Natural Products Isolation. 2nd ed. Totowa (New Jersey). Humana Press Inc. hal. 6-10, 18.
  8. Seidel V., 2006. Initial and bulk extraction. In: Sarker SD, Latif Z, & Gray AI, editors. Natural Products Isolation. 2nd ed. Totowa (New Jersey). Humana Press Inc. hal. 31-5.
  9. Talamona A. 2005. Laboratory Chromatography Guide. Büchi Labortechnik AG.. Switzerland. hal 12.

## **BAB 4.**

### **TEKNOLOGI MEMBRAN**

Membran juga telah mendapatkan tempat yang penting dalam proses reklamasi air limbah dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Sebagai teknologi yang relatif baru, membran sering diabaikan di masa lalu dalam mendukung tanaman biotreatment konvensional. Namun, sejumlah indikator menunjukkan bahwa membran kini semakin diterima sebagai teknologi pilihan. Teknologi membran ditawarkan sebagai alternatif pengolahan air limbah non-konvensional karena perkembangan yang dinamis dari proses pengolahan air limbah sekunder dan lanjutan. Penggunaan air reklamasi mengurangi polusi yang dikirim ke lingkungan yang sensitif. Teknologi membran membantu mengurangi air yang divergen dari ekosistem yang sensitif yang sangat bergantung pada aliran untuk meningkatkan kualitas air. Kebutuhan energi dari proses perawatan rendah dibandingkan dengan alternatif lain dari penambahan pasokan air. Kemajuan teknologi membran untuk reklamasi air limbah, sebagaimana yang dapat dilihat

pada Gambar 4.1, berkontribusi pada pengakuan yang semakin meningkat sebagai teknologi andal untuk biaya produksi efluen berkualitas tinggi yang efektif biaya.



Gambar 4.1. Sejarah Aplikasi Teknologi Membran

Jumlah penduduk yang tinggal di daerah yang tertekan air diperkirakan akan meningkat lebih dari 20% pada tahun 2025 [3]. Kapasitas air limbah efluen juga meningkat karena retrofit dan peningkatan, biasanya berkaitan dengan persyaratan untuk meningkatkan kualitas air limbah tanpa menimbulkan jejak yang lebih besar. Diharapkan peluang untuk penerapan teknologi membran akan diterima. Untuk mempertimbangkan kebutuhan energi, limbah sistem reklamasi air limbah konvensional yang ada setelah



pengolahan sekunder membutuhkan kebutuhan energi yang sangat tinggi. Selain itu, perlakuan reklamasi air limbah di luar pengolahan sekunder dapat menjadi mahal dan memerlukan energi yang tinggi karena penghilangan bahan organik yang terurai (dalam larutan atau suspensi) dan padatan tersuspensi. Perawatan tersier atau lanjutan dari reklamasi air limbah juga membutuhkan banyak langkah untuk menghilangkan bakteri, mengurangi padatan tersuspensi setelah pengolahan sekunder, dan mendisinfeksi air untuk menghasilkan air yang dapat digunakan. Ini juga mahal dan membutuhkan jejak besar dalam pemasangan sistem distribusi air reklamasi.

Setelah melihat kerugian yang diberikan oleh proses reklamasi air limbah konvensional karena rendahnya efektivitas biaya dan keandalannya, perlu untuk menawarkan gambaran tentang teknologi perawatan canggih, termasuk teknologi membran. Air limbah pada dasarnya adalah pasokan air masyarakat setelah digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kombinasi limbah cair atau air yang dibuang dari tempat tinggal, lembaga, dan perusahaan komersial dan industri.

Mereka mungkin hadir sebagai air tanah, air permukaan, dan air hujan. Air limbah mengandung banyak mikroorganisme patogen dan juga nutrisi, yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman air. Air limbah dapat mengandung senyawa atau senyawa beracun yang berpotensi bersifat mutagenik dan karsinogenik. Untuk alasan ini, pembuangan air limbah dari sumber pembangkitannya, diikuti oleh perawatan, penggunaan kembali atau penyebaran ke lingkungan adalah penting untuk melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan.



Gambar 4.2 Tanki Sedimentasi di Thailand

#### 4.1 Konsep Dasar Teknologi Membran

Reklamasi air limbah adalah pengolahan atau pengolahan air limbah untuk membuatnya dapat digunakan kembali dengan keandalan pengobatan yang dapat ditentukan dan memenuhi kriteria kualitas air. Manfaat dari reklamasi air limbah dan faktor-faktor pendorong masa depannya dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 4.1. Manfaat reklamasi air menggunakan teknologi membran

Dasar pemikiran untuk reklamasi air limbah
<ul style="list-style-type: none"><li>• Air limbah adalah sumber daya yang terbatas. Masyarakat semakin tidak lagi memiliki kemewahan menggunakan air hanya sekali.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mengakui bahwa daur ulang air sudah terjadi dan melakukannya lebih dan lebih baik</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kualitas air limbah reklamasi sesuai untuk banyak aplikasi yang tidak dapat diminum seperti irigasi dan pendingin industri dan air pembersih, sehingga memberikan sumber air tambahan yang dapat menghasilkan penggunaan air yang lebih efektif dan efisien.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Untuk memenuhi tujuan keberlanjutan sumber daya air, perlu dipastikan bahwa air digunakan secara efisien.</li></ul>

- Reklamasi air dan penggunaan kembali memungkinkan penggunaan energi dan sumber daya yang lebih efisien dengan menyesuaikan persyaratan perawatan untuk melayani pengguna akhir air.

- Penggunaan kembali air memungkinkan perlindungan lingkungan dengan mengurangi volume limbah yang diolah yang dibuang ke perairan penerima.

Potensi manfaat reklamasi air limbah

- Konservasi pasokan air bersih
- Pengelolaan nutrisi yang dapat menyebabkan degradasi lingkungan.

- Peningkatan perlindungan terhadap lingkungan perairan yang sensitif dengan mengurangi buangan limbah.

- Keuntungan ekonomi dengan mengurangi kebutuhan akan sumber air tambahan dan infrastruktur terkait. Air reklamasi tersedia di dekat pembangunan perkotaan di mana keandalan pasokan air adalah yang paling penting dan harga air paling tinggi.

- Nutrisi dalam air reklamasi dapat mengimbangi kebutuhan pupuk tambahan, sehingga menghemat sumber daya. Air reklamasi yang berasal dari limbah olahan mengandung nutrisi; jika air ini digunakan untuk mengairi lahan pertanian, lebih sedikit pupuk yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Dengan mengurangi nutrisi (dan mengakibatkan polusi) mengalir ke saluran air, industri pariwisata, dan perikanan juga dibantu.

Faktor-faktor yang mendorong implementasi lebih lanjut reklamasi air limbah

- Kedekatan: Air reklamasi tersedia di sekitar lingkungan perkotaan, di mana sumber daya air sangat dibutuhkan dan harganya sangat mahal.
- Ketergantungan: Air yang direklamasi menyediakan sumber air yang dapat diandalkan, bahkan di tahun-tahun kemarau, karena produksi air limbah perkotaan tetap hampir konstan.
- Keunikan: Proses pengolahan air limbah tersedia untuk menyediakan air dengan aplikasi yang tidak dapat diminum dan dapat menghasilkan air berkualitas yang memenuhi persyaratan air minum.
- Keselamatan: Sistem penggunaan kembali air yang tidak dapat diminum telah beroperasi selama lebih dari empat dekade tanpa dampak kesehatan masyarakat yang buruk dan terdokumentasi di banyak negara.
- Meningkatnya tekanan pada sumber daya air yang ada karena pertumbuhan populasi dan meningkatnya permintaan pertanian
- Kepentingan umum: Meningkatkan kesadaran akan dampak lingkungan yang terkait dengan penggunaan air secara berlebihan, dan antusiasme masyarakat terhadap konsep reklamasi air
- Dampak lingkungan dan ekonomi dari pendekatan sumber daya air tradisional: Pengakuan yang lebih besar

terhadap biaya lingkungan dan ekonomi dari fasilitas penyimpanan air seperti bendungan dan waduk.

- Standar kualitas air yang lebih ketat: Peningkatan biaya terkait dengan peningkatan fasilitas pengolahan air limbah untuk memenuhi persyaratan kualitas air yang lebih tinggi untuk pembuangan limbah
- Kebutuhan dan peluang: Faktor-faktor yang memotivasi untuk pengembangan proyek reklamasi air seperti kekeringan, kekurangan air, pencegahan intrusi air laut dan pembatasan pembuangan limbah cair, ditambah kondisi ekonomi, politik, dan teknis yang mendukung reklamasi air.



Gambar 4.2 Efektifitas Pemisahan

Metode reklamasi di mana penghilangan kontaminan dibawa oleh reaksi kimia atau biologis yang dikenal sebagai proses unit. Saat ini, unit operasi dan proses dikelompokkan bersama untuk menyediakan berbagai tingkat perawatan yang dikenal sebagai perawatan awal, primer, lanjutan primer, sekunder (tanpa atau dengan pemindahan hara), dan pengobatan lanjutan (atau tersier) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

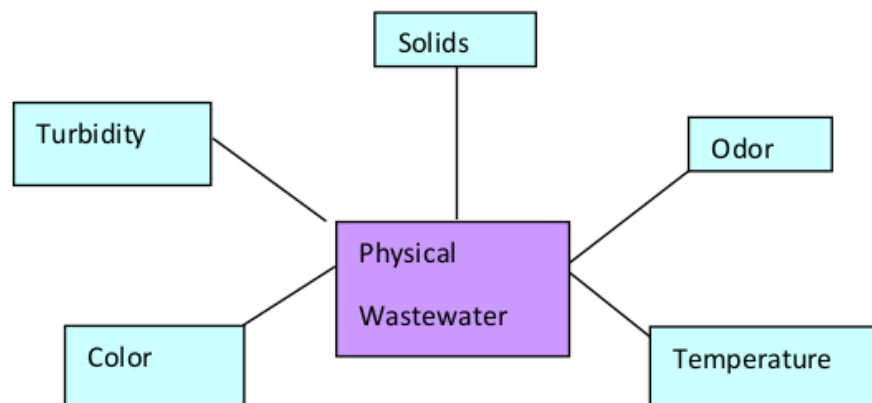
Tabel 4.2 Tingkatan reklamasi air limbah

Deskripsi tingkat perawatan	
Tingkat awal	Penghapusan awal konstituen air limbah seperti kain, tongkat, floatable, grit, dan minyak yang banyak menyebabkan masalah pemeliharaan atau operasional dengan operasi pengolahan, proses, dan sistem tambahan.
Primer	Penghapusan primer sebagian padatan tersuspensi dan bahan organik dari air limbah.
Primer lanjut	Peningkatan pembuangan padatan tersuspensi dan bahan organik dari air limbah. Biasanya dilakukan dengan penambahan atau penyaringan kimia.
Sekunder	Penghapusan sekunder bahan organik yang dapat terbiodegradasi (dalam larutan atau suspensi) dan padatan tersuspensi. Disinfeksi

	juga biasanya termasuk dalam definisi perawatan sekunder konvensional.
Sekunder dengan penghilangan unsur hara	Sekunder dengan penghilangan unsur hara Penghilangan organik yang dapat terbiodegradasi, padatan tersuspensi, dan nutrisi (nitrogen, fosfor, atau nitrogen dan fosfor).
Tersier dan lanjutan	Penghapusan padatan tersuspensi residu (setelah perawatan sekunder), tersisa setelah pengolahan biologis normal bila diperlukan untuk berbagai aplikasi penggunaan kembali air. Disinfeksi juga biasanya merupakan bagian dari perawatan tersier. Penghapusan nutrisi sering termasuk dalam definisi ini

Dalam perawatan awal, benda padat seperti benda besar, kain lap, dan pasir yang dapat merusak peralatan akan dihapus. Dalam pengobatan primer, operasi fisik, biasanya sedimentasi, digunakan untuk menghapus mengambang dan menyelesaikan bahan yang ditemukan dalam air limbah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3





Gambar 4.3 Karakteristik fisika air limbah

Untuk perawatan primer lanjutan, bahan kimia ditambahkan untuk meningkatkan penghilangan padatan tersuspensi dan padatan terlarut. Dalam perawatan sekunder, proses biologi dan kimia digunakan untuk menghilangkan sebagian besar bahan organik. Dalam perawatan lanjutan, kombinasi tambahan dari operasi dan proses unit digunakan untuk menghilangkan padatan tersuspensi sisa dan konstituen lainnya yang tidak berkurang secara signifikan dengan pengobatan sekunder konvensional.

#### 4.1.1 Evolusi reklamasi air limbah

Indikasi penggunaan air limbah untuk irigasi pertanian membentang kembali sekitar 3000 tahun ke Peradaban

Minoan di Kreta, Yunani [7]. Di zaman modern, awal dari reklamasi air dapat dilacak sampai pertengahan abad kesembilan belas dengan diperkenalkannya sistem air limbah untuk melakukan limbah rumah tangga. Beberapa kegiatan di seluruh dunia yang signifikan dalam reklamasi air limbah yang telah terjadi sejak tahun 1960 dirangkum dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Evolusi reklamasi air limbah dan penggunaannya di dunia<sup>[8][9]</sup>

Periode	Lokasi	Kegiatan
1962	La Soukra	Irigasi dengan air reklamasi untuk tanaman jeruk dan isi ulang air tanah untuk mengurangi air asin.
1965	Israel	Penggunaan efluen sekunder untuk irigasi tanaman.
1968	Windhoek, Namibia	Penelitian tentang penggunaan kembali langsung minum dan implementasi selanjutnya.
1969	Wagga Wagga, Australia	Irigasi lansekap bidang olahraga, halaman rumput, dan kuburan.
1977	Tel-Aviv, Israel	Proyek wilayah 'Dan' - Isi ulang air tanah melalui

		cekungan. Air tanah yang dipompa dipindahkan melalui sistem pengangkutan sepanjang 100 km ke Israel selatan untuk irigasi tanaman yang tidak dibatasi.
1984	Tokyo, Japan	Toilet menyiram air untuk bangunan komersial di Distrik Shinjuku menggunakan air reklamasi dari pabrik pengolahan air limbah Ochiai yang dioperasikan oleh Tokyo .
1988	Brighton, UK	Metropolitan Sewerage Bureau. Peresmian Kelompok Spesialis reklamasi Air Limbah, Daur Ulang dan penggunaan kembali pada Konferensi Dua Tahunan ke-14 Asosiasi Internasional untuk Penelitian dan Pengendalian Pencemaran Air (saat ini, Asosiasi Air Internasional, berkantor pusat di London, Inggris).
1989	Girona, Spain	Irigasi lapangan golf menggunakan air reklamasi dari fasilitas pengolahan air limbah Consorci de la Costa Brava.

		Proyek Pipa Virginia, reklamasi air terbesar. proyek di Australia - mengairi tanaman sayuran menggunakan air reklamasi dari Pabrik Pengolahan Air Limbah Bolivar (120.000 m <sup>3</sup> / d).
1999	Adelaide, South Australia	Air reklamasi BARU yang telah mengalami pemurnian yang signifikan menggunakan mikrofiltrasi, osmosis balik, dan desinfeksi ultrafiltrasi.
2002	Singapore	NEWater digunakan sebagai sumber air baku untuk menambah persediaan air Singapura.
2010	Singapore	Pengolahan air limbah terbesar akan dibangun di Jurong Singapura.

#### 4.2 Aplikasi Teknologi Membran

Hingga akhir 1980-an, pengobatan sekunder konvensional adalah metode perawatan yang paling umum untuk menghilangkan BOD dan TSS. [10] Sifat perubahan dari air limbah yang akan dirawat, masalah kesehatan dan lingkungan yang muncul, masalah limbah industri, dan dampak peraturan baru adalah

masalah yang paling penting. Lebih lanjut, masalah penting lainnya termasuk;

1. infrastruktur yang konvensional;
2. metode baru pengolahan air limbah;
3. metode baru dari analisis dan kontrol proses;
4. kinerja dan keandalan instalasi pengolahan;
5. desinfeksi air limbah;
6. Perlakuan terpisah dari arus balik;
7. kontrol bau dan kontrol emisi VOC;
8. Peningkatan instalasi pengolahan air limbah.

#### 4.2.1 Reklamasi air limbah dan masa depannya

Reklamasi air limbah adalah pendekatan berkelanjutan dan dapat efektif dalam jangka panjang. Perlakuan tambahan air limbah di luar perlakuan sekunder untuk reklamasi dan pemasangan sistem distribusi air reklamasi dapat menjadi mahal dan intensif energi dibandingkan dengan alternatif pasokan air seperti air yang diimpor atau air tanah. Proses membran menjanjikan keberhasilan penerapan pengolahan air lanjutan karena perspektif ekonomi.

#### 4.2.2 Peraturan air limbah

Kondisi limbah yang dibuang ke badan air, tentu saja, mempengaruhi pasokan air masyarakat di hilir dari titik pembuangan. Fasilitas pra-perawatan yang dipilih dan pembuangannya harus mematuhi semua persyaratan peraturan. Parameter utama kualitas efluen diilustrasikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Persyaratan kualitas air limbah<sup>[10]</sup>

Parameter	Standar kualitas (mg/l)
COD	100
BOD	10
TSS	10
Ammonia	20
Total nitrogen	25

#### 4.2.3 Masalah Kesehatan dan Lingkungan dalam Pengelolaan Air Limbah

Karena penelitian tentang karakteristik air limbah telah menjadi lebih luas, dan sebagai teknik untuk menganalisis konstituen spesifik dan potensi efek kesehatan dan lingkungan mereka menjadi lebih

komprehensif, tubuh pengetahuan ilmiah telah berkembang secara signifikan. Banyak metode pengobatan baru yang dirancang untuk menangani masalah kesehatan dan lingkungan yang terkait dengan temuan penelitian terbaru. Namun, kemajuan dalam teknologi pengobatan belum berlangsung dengan kemampuan deteksi konstituen yang ditingkatkan. Polutan dapat dideteksi pada konsentrasi yang lebih rendah daripada yang dapat dicapai oleh teknologi perawatan yang tersedia. Oleh karena itu, penilaian yang cermat terhadap efek kesehatan dan lingkungan dan kekhawatiran masyarakat tentang efek ini menjadi semakin penting dalam pengelolaan air limbah. Kebutuhan untuk membangun dialog dengan masyarakat adalah penting untuk memastikan bahwa masalah kesehatan dan lingkungan sedang ditangani. Masalah kualitas air muncul ketika peningkatan jumlah air limbah yang diolah dibuang ke badan air yang akhirnya digunakan sebagai pasokan air. Pernyataan dan pertanyaan penting tetap tentang pengujian dan tingkat perawatan yang diperlukan untuk melindungi kesehatan manusia. Beberapa profesional secara prinsip menolak penggunaan air

limbah yang diolah secara tidak langsung untuk tujuan yang dapat diminum; yang lain menyatakan keprihatinan bahwa teknik saat ini tidak memadai untuk mendeteksi semua kontaminan mikroba dan kimia yang penting bagi kesehatan [11].

Kekurangan informasi teknologi penggunaan air limbah adalah

1. Kurangnya informasi yang memadai mengenai risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh beberapa mikroba patogen dan kandungan kimia dalam air limbah.
2. Sifat unsur kimia yang tidak diketahui atau tidak teridentifikasi dan patogen potensial.
3. Efektivitas proses pengobatan untuk pemindahannya.

Metode baru dan lebih sensitif untuk mendeteksi bahan kimia tersedia. Metode telah dikembangkan yang lebih baik menentukan efek biologis. Konstituen yang tidak terdeteksi sebelumnya sekarang menjadi perhatian. Contoh konstituen kimia yang ditemukan di permukaan dan air tanah meliputi: n-nitrosodimetilamina (NDMA), bahan utama dalam



bahan bakar roket, metil butil eter (MTBE), aditif bensin yang sangat larut, zat aktif secara medis termasuk pengganggu endokrin, pestisida, bahan kimia industri, dan senyawa fenolik umumnya ditemukan surfaktan nonionik. Bahan kimia yang mengganggu endokrin merupakan masalah kesehatan khusus karena mereka dapat meniru hormon yang diproduksi pada hewan vertebrata dengan menyebabkan respon berlebihan, atau mereka dapat memblokir efek hormon pada tubuh. [12]. Zat kimia ini dapat menyebabkan masalah dengan perkembangan, perilaku, dan reproduksi dalam berbagai spesies. Meskipun perawatan bahan kimia ini saat ini bukan misi pengolahan air limbah kota, fasilitas pengolahan air limbah mungkin harus dirancang untuk menangani bahan kimia ini di masa depan.

#### 4.2.3 Karakteristik Air Limbah

Karena perubahan teknologi terjadi di bidang manufaktur, perubahan juga terjadi pada senyawa yang dibuang dan karakteristik air limbah yang dihasilkan. Banyak senyawa yang dihasilkan dari proses industri sulit dan mahal untuk ditangani oleh proses

pengolahan air limbah konvensional. Oleh karena itu, pretreatment industri yang efektif menjadi bagian penting dari keseluruhan program manajemen kualitas air.

Parameter air limbah memberikan tolok ukur untuk menilai karakteristik fisik, kimia, dan biologi dari air limbah. Memenuhi parameter-parameter ini sebelum dibuang memastikan air limbah yang dilepas ke permukaan air tidak memberikan peluang bahaya atau gangguan terhadap lingkungan atau manusia dalam berbagai kemungkinan penggunaan air.

- Karakteristik air limbah fisik

Karakteristik fisik yang menjadi perhatian termasuk keberadaan dan kuantitas padatan dalam aliran air limbah, tingkat kekeruhan, warna air limbah, suhu, dan bau.

1. Padatan dalam air limbah

Padatan dalam air limbah dapat tersuspensi atau dilarutkan dalam air, dan diklasifikasikan menurut ukuran dan statusnya, berdasarkan karakteristik kimianya, dan berdasarkan distribusi ukurannya.

Padatan ini terdiri dari partikel anorganik dan organik, atau cairan tak bercampur seperti minyak dan lemak. Air permukaan sering mengandung padatan anorganik seperti tanah liat dan konstituen tanah lainnya sebagai hasil erosi. Bahan organik juga umum di permukaan air. Air tanah jarang mengandung padatan tersuspensi karena sifat penyaringan tanah.

## 2. Kekeruhan

Kejernihan air biasanya diukur dengan indeks kekeruhan. Indeks kekeruhan mengukur gangguan bagian cahaya. Kekeruhan air permukaan dapat dihasilkan dari partikel materi koloid yang sangat kecil (fragmen batuan, endapan lumpur, tanah liat, oksida logam dari tanah) yang disumbangkan oleh erosi atau oleh mikroorganisme dan bahan nabati.

## 3. Warna

Air murni tidak memiliki warna, tetapi zat asing sering dapat mewarnai air. Ini termasuk bahan organik dari tanah, vegetasi, mineral dan organisme air atau limbah kota dan industri. Warna dapat menjadi masalah perawatan yang memberikan permintaan klorin,

mengurangi efektivitas disinfektan klorin. Warna air diklasifikasikan sebagai warna asli (dari padatan terlarut yang tersisa setelah materi yang ditanggihkan dihapus) atau warna yang tampak (dari materi yang ditanggihkan). Warna sebenarnya adalah yang paling sulit untuk dihilangkan

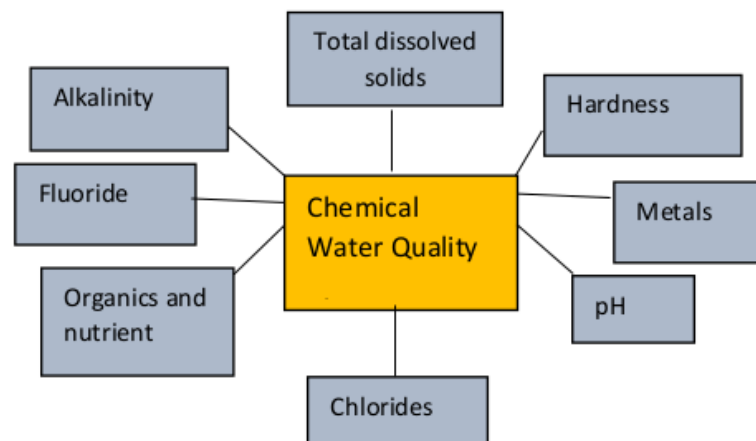
#### 4. Rasa dan bau

Rasa dan bau air adalah masalah estetis penting lainnya dengan sedikit dampak keamanan. Masalah rasa dan bau dapat disebabkan oleh mineral, logam, dan garam dari tanah, dan konstituen air limbah, dan produk akhir reaksi biologi.

5. Suhu mempengaruhi tingkat pelarutan bahan kimia dan laju reaksi. Panas atau perubahan suhu di permukaan air mempengaruhi kelarutan oksigen dalam air dan laju aktivitas bakteri.

- Karakteristik Air Limbah Kimia Parameter kimia utama yang menjadi perhatian dalam reklamasi air adalah total padatan terlarut (TDS), alkalinitas, kekerasan, logam, organik dan nutrisi, pH, dan klorida.

Kemampuan air sebagai pelarut secara langsung berkaitan dengan parameter kimianya, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Karakteristik kualitas kimia air

1. Total padatan terlarut Padatan dalam air yang tersisa setelah penyaringan dan penguapan sebagai residu disebut total padatan terlarut (TDS). Padatan terlarut dapat dihilangkan dari air dengan filtrasi dan penguapan, dan juga dengan elektrodialisis, reverse osmosis, atau pertukaran ion. Padatan terlarut dapat organik atau anorganik, dan berasal dari kontak air dengan zat-zat di tanah, di permukaan, dan di atmosfer. Konstituen organik terlarut berasal dari vegetasi yang membusuk, dan dari bahan kimia organik dan gas.

Mineral, gas, dan konstituen organik terlarut ini dapat menyebabkan efek fisiologis, serta masalah warna, rasa, dan bau.

## 2. Alkalinitas

Konstituen alkalinitas dalam pasokan air alami adalah ion bikarbonat, karbonat, dan hidroksil. Alkalinitas terjadi secara alami dari karbon dioksida dan dari mineral. Dalam pengobatan, air alkali dapat menyebabkan masalah dengan reaksi yang terjadi antara alkalinitas dan zat-zat tertentu di dalam air yang dapat mencemari kecanggihan sistem air.

## 3. Hardness

Kekerasan dalam air biasanya menunjukkan adanya mineral seperti kalsium dan magnesium. Mineral terlarut ini menyebabkan timbunan simpanan dalam pipa air panas dan mempengaruhi efisiensi sabun.

## 4. Fluorida

Fluoride adalah racun bagi manusia dalam jumlah besar, dan untuk beberapa hewan, meskipun jumlah fluoride ion moderat (F-) dalam air minum

berkontribusi terhadap kesehatan gigi yang baik. Fluorida adalah tambahan umum untuk air minum di banyak komunitas.

5. Logam Logam dalam air yang berbahaya dalam jumlah yang relatif kecil diklasifikasikan sebagai beracun; logam lain diklasifikasikan tidak beracun. Beberapa logam (besi misalnya) memberikan rasa pahit ke air minum bahkan pada konsentrasi rendah, meskipun mereka tidak menyebabkan masalah kesehatan. Logam-logam ini biasanya terjadi dalam air tanah dalam larutan.

#### 6. Organik-Anorganik dan nutrisi

Bahan organik dapat berkontribusi pada pembentukan senyawa terhalogenasi dalam air yang menjalani desinfeksi klorin. Bahan organik juga dapat menciptakan masalah dengan penipisan oksigen dalam aliran, karena ketika mikroba memetabolisme bahan organik, mereka mengonsumsi oksigen. Mikroba oksigen yang dikonsumsi adalah oksigen terlarut (DO). Permintaan oksigen ini disebut permintaan oksigen biokimia (BOD), jumlah dekompos aerobik

oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk membusuk bahan organik dalam volume air tertentu selama periode inkubasi lima hari pada suhu 68oF (20oC). Oksigen terlarut (DO) biasanya dibagi menjadi biodegradable dan non biodegradable (organik menolak degradasi biologis).

- Anorganik

Kontaminan anorganik sering dihilangkan dengan metode pengendalian korosi atau dengan teknik penghilangan. Teknologi penghilangan digunakan untuk mengobati sumber air yang tercemar termasuk koagulasi / filtrasi, reverse osmosis (RO), dan pertukaran ion.

- Nutrisi

Nutrisi yang paling memprihatinkan dalam pasokan air adalah nitrogen dan fosfor. Nutrisi lainnya termasuk karbon, sulfur, kalsium, besi, kalium, mangan, kobalt, dan boron. Nitrogen memasuki air dari limpasan dari feedlots hewan, limpasan pupuk, pembuangan air limbah kota, dan dari bakteri tertentu dan ganggang



biru-hijau yang langsung memperoleh nitrogen atmosfer.

#### 7.pH

pH (konsentrasi ion hidrogen) menunjukkan intensitas keasaman atau alkalinitas dalam air, dan mempengaruhi reaksi biologi dan kimia. Keseimbangan kimia air (hubungan kesetimbangan) sangat dipengaruhi oleh pH.

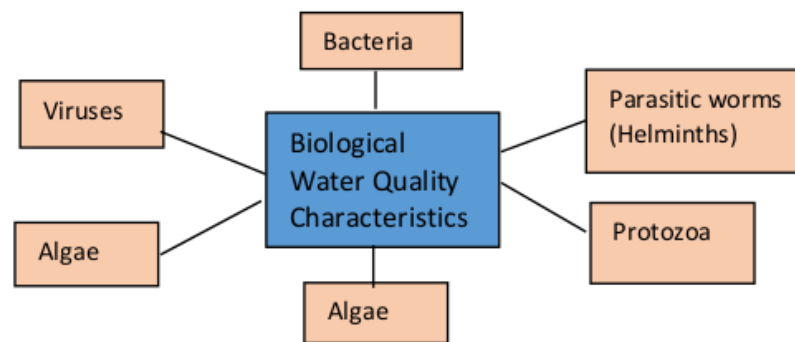
#### 8. Klorida

Klorida (konstituen anorganik utama dalam air) umumnya tidak menimbulkan efek berbahaya bagi kesehatan masyarakat, meskipun konsentrasi yang cukup tinggi dapat menyebabkan rasa asin yang tidak menyenangkan. Klorida terjadi secara alami di air tanah, sungai, dan danau.

#### • Karakteristik Kualitas Air Limbah Biologis

Ada atau tidaknya organisme hidup di air adalah indikator yang sangat berguna untuk kualitas air. Ribuan spesies biologis menghabiskan sebagian, jika tidak semua, dari siklus mereka dalam air. Semua

anggota komunitas biologis dapat memberikan parameter kualitas air, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



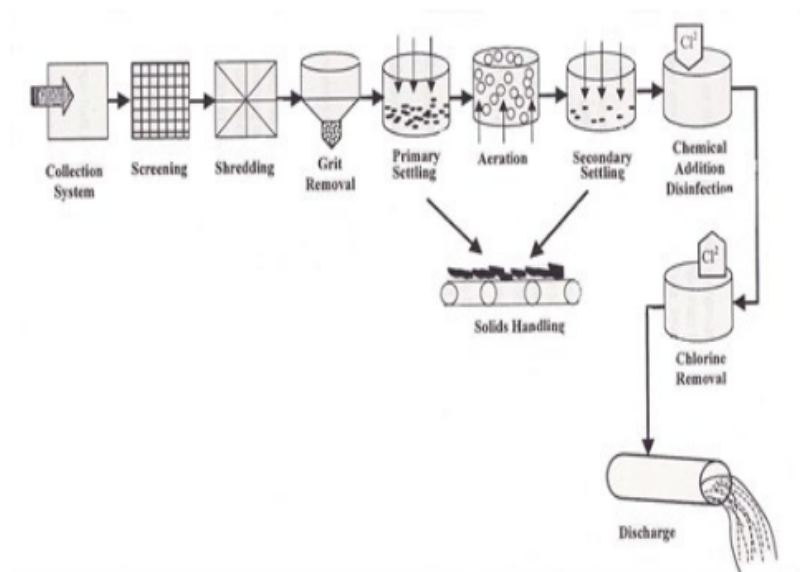
Gambar 4.5 Karakteristik kualitas biologi air

Sebagian besar mikroba yang terbawa air bermanfaat, terutama sebagai pengurai rantai makanan. Hanya beberapa spesies mikroorganisme yang menyebabkan penyakit pada manusia atau kerusakan lingkungan: patogen adalah organisme yang mampu menginfeksi atau menularkan penyakit kepada manusia dan hewan. Adanya atau tidak adanya patogen dalam air adalah yang paling penting. Patogen termasuk spesies bakteri, virus, dan protozoa, meskipun tidak secara alami terjadi di lingkungan perairan, patogen dapat ditularkan oleh sistem air alami.

#### 4.2.5 Proses Reklamasi Air Limbah

Sumber air, yang digunakan untuk reklamasi air limbah, sangat terkontaminasi dengan konstituen yang mewujudkan kondisi lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu, teknologi perawatan khusus dan sangat andal diperlukan untuk aplikasi yang melibatkan penggunaan kembali air. Air limbah tersedia dalam jumlah berlimpah di lokasi yang memungkinkan pengangkutan yang nyaman ke fasilitas pengolahan dan distribusi ke limbah yang diolah untuk pengguna potensial; Kebutuhan energi dari proses perawatan rendah dibandingkan dengan alternatif lain dari penambahan pasokan air. Kemajuan teknologi membran untuk reklamasi air limbah berkontribusi pada pengakuan yang semakin meningkat sebagai teknologi andal untuk biaya produksi efluen berkualitas tinggi yang efektif biaya.

Air limbah harus dikumpulkan dan dibawa ke fasilitas pengolahan dan diolah untuk menghilangkan polutan hingga tingkat kepatuhan yang diizinkan sebelum fasilitas kota atau industri dapat mengalirkannya ke air penerima.



Gambar 4.6 Unit proses reklamasi air limbah

Proses reklamasi air limbah yang melibatkan proses unit fisik, kimia dan biologi dilakukan dalam bejana atau tangki yang biasa dikenal sebagai reaktor. Instalasi reklamasi air limbah biasanya diklasifikasikan sebagai penyediaan proses primer, sekunder, atau tersier (atau lanjutan), tergantung pada tingkat pemurnian yang mereka obati, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Setelah berada di fasilitas pengolahan, di instalasi pengolahan primer, proses fisik (skrining dan sedimentasi) menghapus sebagian dari polutan yang mengendap atau mengambang. Polutan yang terlalu besar untuk melewati perangkat

skrining sederhana juga dihapus, diikuti oleh desinfeksi. Perawatan primer biasanya menghilangkan sekitar 35% dari BOD dan 60% dari padatan tersuspensi [13].

Instalasi pengolahan sekunder menggunakan proses fisik yang digunakan oleh perawatan primer, tetapi menambah proses dengan oksidasi mikroba limbah. Ketika dioperasikan dengan benar, pabrik pengolahan sekunder menghilangkan sekitar 90% dari BOD dan 90% dari padatan tersuspensi.

Proses perawatan lanjutan adalah khusus, dan penggunaannya tergantung pada polutan untuk dibuang. Meskipun biasanya perawatan lanjutan mengikuti perawatan primer dan sekunder, dalam beberapa kasus (terutama dalam pengolahan limbah industri), pengobatan lanjutan menggantikan proses konvensional sepenuhnya.

Tabel 4.5 Pemurnian pada proses reklamasi air limbah

Process/Step	Purpose
Primary treatment	Removes 90-95% settleable solids, 40 to 60% total suspended solids, and 25 to 35% BOD <sub>5</sub>

Collection	Conveys wastewater from source to treatment plant
Screening	Removes debris that could foul or damage plant equipment
Shredding	Screening alternative that reduces solids to a size the plant equipment can handle
Grit removal	Removes gravel, sand, silt, and other gritty materials
Flow measurement	Provides compliance report data and treatment process information for hydraulic and organic loading calculations
Preaeration	Freshens septic wastes, reduces odors and corrosion, and improves solids separation and settling
Chemical addition	Reduces odors, neutralizes acids or bases, reduces corrosion, reduces BOD <sub>5</sub> , improves solids and grease removal, reduces loading on the plant, aids subsequent processes
Flow equalization	Reduces or removes the wide swings in flow rates for plant loadings
Primary sedimentation	Concentrates and removes settle able organic and floatable solids from wastewater
Secondary Treatment	Produces effluent with not more than 30 mg/L BOD <sub>5</sub> and 30 mg/L suspended solids

Biological treatment	Provides BOD removal beyond that achievable by primary treatment, using biological processes to convert dissolved, suspended and colloidal organic wastes to more stable solids
Secondary sedimentation	Removes the accumulated biomass that remains after secondary treatment
Tertiary or Advanced Treatment	Removes pollutant, including nitrogen, phosphorus, soluble COD, and heavy metals to meet discharge or reuse criteria with respect to specific parameters
Effluent polishing	Filtration or microstraining to remove additional BOD or TSS
Nitrogen removal	Removes nutrients to help control alga blooms in the receiving body
Phosphorus removal	Removes limiting nutrients that could affect the receiving body
Land application	Controlled land application used as an effective alternative to tertiary treatment methods. Reduces TSS, BOD, phosphorus and nitrogen compounds, as well as refractory organics
Disinfection	Destroys any pathogens in the effluent that survived treatment
Dechlorination	Protects aquatic life from high chlorine concentrations, needed to comply with various regulations

Discharge	Releases treated effluent back to the environment through evaporation, direct discharge, or beneficial reuse
Solids treatment	Transforms sludge to biosolids for use as soil conditioners

---

#### 4.2.6 Perawatan Primer

Dalam sedimentasi primer, air limbah mengalir melalui tangki besar, yang biasa disebut "primary clarifier" atau "primary sedimentation tanks". Tangki cukup besar sehingga lumpur dapat mengendap dan bahan mengambang seperti minyak dan minyak dapat naik ke permukaan dan dilepas. Tujuan utama dari tahap sedimentasi utama adalah untuk menghasilkan kedua cairan yang umumnya homogen yang mampu diperlakukan secara biologis dan lumpur yang dapat secara terpisah dirawat atau diproses. Tiga jenis sistem pembuangan limbah air limbah pada umumnya digunakan: saluran saniter, selokan badai, dan sistem pembuangan gabungan yang membawa aliran sanitasi dan aliran badai. Selokan saniter menyampaikan air limbah dari tempat tinggal, bisnis, dan beberapa industri ke fasilitas perawatan. Perhatian utama dalam pengelolaan limbah sanitasi adalah mencegah aliran



limbah, karena limbah ini mengandung bahan-bahan infeksi. Selokan badai menangani masuknya air ke dalam sistem pengumpulan dari limpasan permukaan sebagai hasil dari badai hujan atau lelehan salju. Selama aliran ini tidak membawa limbah infeksius atau manusia, selokan badai sering dapat dihaluskan, tidak ditangani, ke drainase alami, meskipun perawatan utama mungkin diperlukan untuk memenuhi persyaratan izin Discharge National Pollutant Elimination System (NPDES). Sistem pembuangan limbah gabungan membawa aliran sanitasi dan air hujan. Sistem kombinasi selalu membawa limbah sanitasi, tetapi dirancang untuk menangani aliran besar juga. Saluran pembuangan gabungan yang berlebih menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan masyarakat.

- **Penyaringan**

Penyaringan menghilangkan padatan besar dari aliran. Ini mungkin termasuk sampah alami dan buatan manusia (daun, ranting, akar, batu, kain, dan kaleng). Penyaringan air limbah pada umumnya menggunakan layar bar, yang terdiri dari bar logam yang berjarak

secara paralel, atau layar berlubang. Penghilangan padatan dari layar mungkin baik manual atau mekanis, tetapi harus sering terjadi bahwa penumpukan sampah tidak menghalangi aliran influen.

- *Shredding*

*Shredding* mendekati masalah yang dihasilkan oleh padatan besar berbeda dari pada skrining. *Shredding* mengurangi padatan ke ukuran yang dapat masuk ke pabrik tanpa merusak peralatan atau gangguan proses. Dua proses penumpahan yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah adalah kominusi dan barminusi. Fasilitas pengolahan air limbah umumnya lebih memilih perangkat *comminution* untuk memotong-motong. Seluruh arus influen mengalir melalui majelis penggilingan kominuter. Padatan diparut antara pemotong dan melewati layar atau slot untuk dihapus dalam proses hilir.

- Pelarutan Grit

Pengaruh air limbah dapat membawa material berpasir (pasir, endapan lumpur, ampas kopi, kulit telur, dan bahan inert lainnya). Lebih berat dari padatan organik,

padatan ini dapat menyebabkan pemakaian peralatan yang berlebihan (misalnya impeler pompa). Pelarutan Grit mengambil materi dari limbah.

- Preaerasi

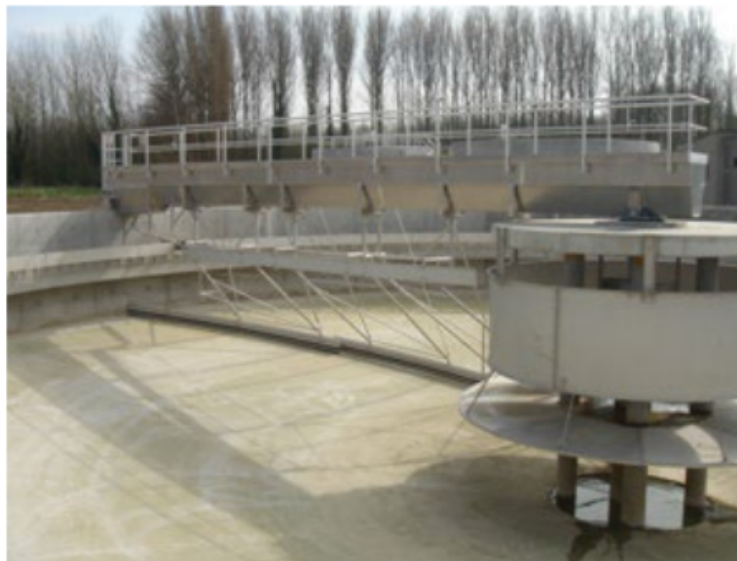
Proses preaerasi memaksa udara melalui wastestream, mencapai dan mempertahankan keadaan aerobik. Aerasi menyegarkan limbah septik selama 10 hingga 30 menit, mengurangi bau dan korosi dengan menghilangkan hidrogen sulfida, dan meningkatkan pemisahan padatan dan mengendap dengan mengaduk zat padat untuk melepaskan gas yang terperangkap. Preaerasi juga mengurangi BOD<sub>5</sub> selama 45 hingga 60 menit [14]. Tangki aerasi atau blower saluran mengirim udara melalui diffusers pada bagian bawah tangki. Gelembung udara membawa gas yang terperangkap dan hidrogen sulfida bersama mereka saat mereka melakukan perjalanan ke permukaan sampah.

- Penambahan Bahan Kimia

Bahan kimia yang digunakan dalam pengobatan primer termasuk peroksida, asam, dan basa, garam mineral (besi klorida, tawas, dll), bioaditif, dan enzim.

#### 4.4.7 Perawatan sekunder

Fungsi melakukan perawatan sekunder sangat penting untuk keseluruhan proses perawatan. Perawatan sekunder segera mengikuti pengobatan biologis, dan diperlukan sebelum proses pengobatan lanjutan dapat terjadi. Sedimentasi juga harus terjadi sebelum disinfeksi sebelum pembuangan efluen ke badan air penerima, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.

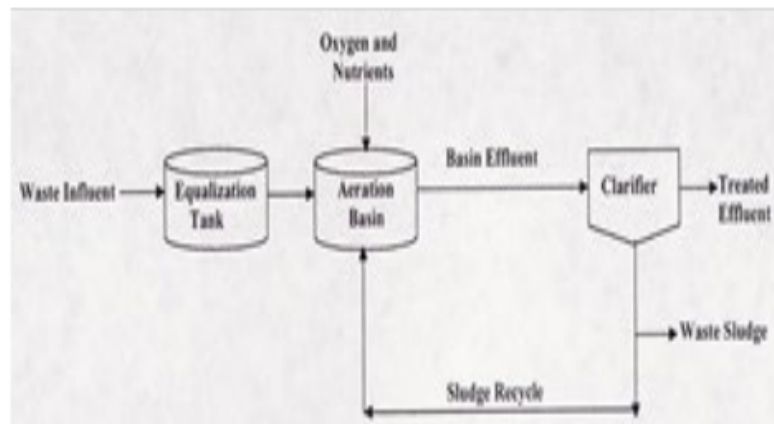


Gambar 4.7 Proses Aktivasi *Sludge*[13]

Tangki sedimentasi sekunder (atau *secondary clarifier*) menyediakan lingkungan di mana pemisahan

melalui pengendapan gravitasi dapat terjadi. Sistem perawatan sekunder diklasifikasikan sebagai (1) Fixed-film atau (2) Sistem pertumbuhan yang ditangguhkan. Fixed-film atau sistem pertumbuhan terlampir terpasang termasuk filter trickling dan rotasi kontak biologis dimana biomassa pada media dan air limbah melewati permukaannya. Dalam sistem pertumbuhan suspensi, seperti lumpur aktif, biomassa tercampur dengan air limbah dan dapat dioperasikan dalam ruang yang lebih kecil daripada sistem film tetap yang memperlakukan jumlah air yang sama. Namun, sistem film tetap lebih mampu mengatasi perubahan drastis dalam jumlah bahan biologis dan dapat memberikan tingkat penghapusan yang lebih tinggi untuk bahan organik dan padatan tersuspensi daripada sistem pertumbuhan tersuspensi.

- Sistem lumpur aktif Proses lumpur aktif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, meresirkulasi bagian dari biomassa sebagai bagian integral dari proses. Hal ini memungkinkan proses aklimatisasi yang relatif singkat untuk adaptasi mikroorganisme terhadap perubahan komposisi air limbah, dan tingkat kontrol yang lebih besar atas populasi bakteri yang diaklimatisasi.



Gambar 4.8 Diagram alir padatan pada proses membran

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem lumpur aktif termasuk suhu, tingkat pengembalian, jumlah oksigen yang tersedia, jumlah bahan organik yang tersedia, pH, tingkat limbah, waktu aerasi, dan toksisitas air limbah. Sebagian besar masalah dengan sistem lumpur aktif disebabkan oleh ketidakseimbangan antara jumlah makanan (zat organik), organisme (lumpur aktif), dan oksigen terlarut (DO).

#### 4.2.8 Perawatan Tersier atau Lanjut

Tujuan dari perawatan tersier atau lanjut adalah untuk menyediakan tahap perawatan akhir untuk

meningkatkan kualitas limbah sebelum dibuang ke lingkungan penerima (laut, sungai, danau, tanah, dll). Lebih dari satu proses perawatan tersier dapat digunakan di setiap pabrik pengolahan. Jika disinfeksi dipraktikkan, itu selalu merupakan proses akhir. Pengolahan tersier, sering disebut sebagai polishing efluen, dirancang untuk "memoles" efluen akhir dengan membuang BOD dan TSS, padatan tersuspensi tambahan, sebagian besar senyawa organik. Pemolesan umumnya dilakukan dengan menerapkan filter (biasanya jenis media granular), seperti filter yang digunakan untuk pemurnian air minum. Penyaringan gravitasi dalam tangki terbuka dan penyaringan di bawah tekanan dalam bejana bertekanan tertutup adalah metode penyaringan umum yang digunakan untuk pemolesan limbah.

- Pengangkatan nitrogen

Ketika nitrogen hadir dalam air limbah, nitrogen dapat muncul dalam bentuk larut sebagai nitrogen organik, amonia, atau senyawa nitrat. Penghapusan senyawa nitrogen diperlukan karena beberapa alasan, termasuk pemindahan hara untuk membantu mengendalikan

meakar alga di tubuh penerima. Bentuk nitrogen amonia dapat menjadi racun bagi ikan, dan penghilangan mencegah permintaan oksigen tambahan dalam menerima air, karena nitrogen diubah menjadi nitrat.

Nitrogen air limbah dibuang menggunakan proses biologis (nitrifikasi/denitrifikasi) atau dengan proses kimia (pengupasan amonia). Nitrifikasi/denitrifikasi adalah proses dua langkah. Pada tahap nitrifikasi, limbah sekunder memasuki tangki aerasi tambahan atau unit-unit biologis lainnya (misalnya, filter penipu), di mana bakteri nitrifikasi berkembang. Mikroorganisme ini mengubah nitrogen amonia menjadi nitrat nitrogen, suatu bentuk nitrogen yang tidak beracun bagi ikan, dan itu tidak menyebabkan permintaan oksigen tambahan. Pada langkah kedua (denitrifikasi), bakteri yang berbeda secara anaerob mengubah nitrat menjadi gas nitrogen ( $N_2$ ).

Dalam proses pengupasan amoniak, pH air limbah yang diolah dinaikkan pH 10, biasanya menggunakan Karbon monoksida (CaO) [16]. Ini membentuk gas amonia terlarut, yang kemudian dibebaskan dari efluen di menara pengupasan. Pengupasan amonia umumnya



lebih hemat biaya daripada nitrifikasi / denitrifikasi biologis, tetapi memiliki keterbatasan. Suhu rendah menyebabkan masalah dengan lapisan es dan mengurangi kemampuan pengupasan yang disebabkan oleh peningkatan kelarutan amonia dalam air dingin [17].

- Pelepasan fosfor

Pemindahan fosfor biasanya melibatkan bahan kimia (misalnya tawas, besi klorida, atau kapur) ditambahkan ke air limbah di beberapa titik dalam proses konvensional, menghindari kebutuhan untuk tangki tambahan dan filter (untuk informasi lebih lanjut tentang pengumpan kimia). Melalui pengendapan kimia dari ion fosfat dan koagulasi, senyawa fosfor organik terperangkap dalam gumpalan koagulan dan menetap dalam klarifikasi.

Fosfor dapat dihilangkan secara biologis dalam proses yang disebut peningkatan fosfor biologis. Ketika biomassa yang diperkaya dalam bakteri dipisahkan dari air limbah yang diolah, biosolids ini memiliki nilai pupuk yang tinggi.

- Desinfeksi air limbah

Proses unit terakhir sebelum pembuangan limbah cair ke badan penerima, disinfeksi, memiliki beberapa tujuan penting. Tujuan utama disinfeksi adalah untuk melindungi kesehatan masyarakat dengan mengurangi populasi organisme dalam air limbah ke tingkat yang cukup rendah untuk memastikan bahwa organisme patogen tidak akan hadir dalam jumlah yang cukup untuk menyebabkan penyakit ketika dibuang. Klorin adalah disinfektan yang paling umum digunakan, baik untuk proses reklamasi air dan air limbah. Alternatif untuk penggunaan klor termasuk klorin dioksida, ozonisasi, kalium permanganat, sistem radiasi ultraviolet (UV), proses membran, pengupasan udara, dan adsorpsi karbon aktif. Proses disinfeksi yang paling umum digunakan untuk disinfeksi air limbah adalah klorinasi dan deklorinasi, radiasi ultraviolet (UV), ozonisasi, dan disinfeksi oleh bromida klorida.

- Klorinasi

Desinfeksi klorin memiliki kelebihan dalam biaya, ketergantungan, dan prediktabilitas kinerja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Klorin adalah zat yang

sangat reaktif dan mudah bereaksi dengan zat lain, termasuk banyak bahan kimia, bahan organik, dan amonia. Reaksi kimia ini mengurangi klorin, menggunakan itu sehingga tidak lagi tersedia untuk disinfeksi. Jumlah klorin yang diambil oleh bahan organik dan amonia pada disinfeksi air limbah dikenal sebagai permintaan klorin. Ketika klor bereaksi dengan amonia, ia menghasilkan kloramina yang terdiri dari klor, nitrogen, dan hydrogen (Tabel 4.6)

Tabel 4.6 Keuntungan dan Kerugian proses klorinasi

Advantages	Disadvantages
Relatively inexpensive compared with other disinfection methods	Increased safety and regulatory requirements caused increased operational and liability costs
Dependable chlorination equipment designs reduce breakdowns	Produces chloramines and other substances toxic to fish and aquatic organisms, even in very low concentrations
Process familiarity makes identifying and correcting problems fast and simple	Possible health hazards from chlorine by-products require additional treatment steps

Disinfection performance	Chlorine by-product compounds remain active in the receiving stream for very long periods
Easy to control mechanism (residual and contact time)	Potential in-plant hazards demand safety precautions, personal protective equipment, emergency response plans, training, and regulatory monitoring and reporting

---

- Deklorinasi

Konsentrasi klorin tinggi dilepaskan ke lingkungan dapat memiliki dampak lingkungan yang merugikan. Air limbah yang banyak mengandung klorin saat dilepaskan dari pipa pembuangan limbah pabrik pengolahan air limbah dapat membunuh ikan dan kehidupan akuatik lainnya di daerah itu. Standar kualitas air klorin yang ditetapkan dari total residu klorin 0,011 mg / L di air tawar dan 0,0075 mg / L untuk oksidan yang dihasilkan klorin dalam air garam [18]. Untuk mematuhi peraturan-peraturan ini, dan untuk melindungi kehidupan akuatik, kadang-kadang pengkosongan limbah perlu dilakukan. Untuk kepatuhan, banyak sistem perawatan telah

menambahkan langkah-langkah perawatan tambahan untuk menghilangkan klorin sebelum dibuang. Proses deklorinasinya menggunakan sulfur dioksida, natrium sulfit, atau natrium metabisulfit, yang mana pun bereaksi cepat dengan klorin dan mengubahnya menjadi bentuk yang kurang berbahaya.

- Radiasi ultraviolet (UV)

Radiasi ultraviolet adalah disinfektan yang sangat efektif dalam kondisi yang ideal. Ketika radiasi UV digunakan dalam pengolahan air limbah, efluen air limbah terkena sinar ultraviolet dengan panjang gelombang dan intensitas tertentu untuk periode kontak tertentu. Efektivitas proses tergantung pada intensitas sinar UV, waktu kontak, dan tingkat kekeruhan air limbah. Keuntungan dan kerugian radiasi UV ditunjukkan pada Tabel 7.

- Ozonisasi

Ozonisasi memberikan beberapa keunggulan dibandingkan klorinasi. Ozon, gas pengoksidasi yang kuat, bereaksi dengan sebagian besar molekul organik dan banyak anorganik. Ozon dihasilkan ketika molekul

oksigen terpisah dan bertabrakan dengan atom oksigen lainnya. Molekul ozon terbentuk dari tiga atom oksigen. Ozon adalah disinfektan yang sangat baik untuk limbah berkualitas tinggi, tetapi kurang untuk air limbah yang keruh. Ozonasi juga menghasilkan produk sampingan disinfektan lebih sedikit daripada klorinasi.

Tabel 4.7 Keuntungan dan kerugian sinar ultraviolet

Advantages	Disadvantages
Excellent germicidal qualities	Turbidity levels affect UV radiation's ability to disinfect, allowing possible microbial survival
Effectively destroys microorganisms	Maintenance includes regular tube cleaning and replacement as needed. Periodic acid washing removes chemical buildup
Use in hospitals, biological testing facilities, and many other similar locations for sterilization means that effectiveness is well tested	Extremely hazardous to the eyes, requires proper eye protection

- Penghapusan bau

Tahap awal pengolahan akan cenderung menghasilkan gas yang bau, hidrogen sulfida yang paling umum dalam menghasilkan keluhan dari daerah terdekat. Pabrik-pabrik proses besar di daerah perkotaan sering kali berisi menara pengusir udara kotor, terdiri dari sirkulator udara, media kontak dengan bio-slime, dan cairan sirkulasi untuk menangkap dan memetabolisme gas yang menjengkelkan secara biologis.

#### 4.3 Membran Fouling

Selama pemisahan yang sebenarnya, misalnya proses tekanan didorong, kinerja membran dapat berubah sangat banyak dengan waktu. Fluks melalui membran menurun seiring waktu. Perilaku ini, seperti yang ditunjukkan secara skematik pada Gambar 18, terutama disebabkan oleh polarisasi konsentrasi dan fouling. Polarisasi konsentrasi dapat digambarkan sebagai penumpukan materi mendekati atau pada permukaan membran yang menyebabkan peningkatan resistensi terhadap transpor pelarut melintasi membran.

Membran fouling merupakan pertimbangan penting dalam desain dan pengoperasian sistem membran karena mempengaruhi kebutuhan pra-perawatan, persyaratan pembersihan, dan kondisi operasi, biaya, dan kinerja. Istilah ini digunakan untuk menggambarkan deposisi potensial dan akumulasi konstituen dalam aliran umpan pada membran. Fouling dari membran dapat terjadi dalam tiga bentuk umum: (1) penumpukan konstituen di feedwater pada permukaan membran, (2) pembentukan presipitat kimia karena kimia dari air umpan, dan (3) kerusakan pada membran karena adanya zat kimia yang dapat bereaksi dengan membran.

Tiga mekanisme yang diterima menghasilkan resistensi terhadap aliran karena akumulasi bahan dalam lumen adalah (1) penyempitan pori, (2) penyumbatan pori, dan (3) pembentukan gel / cake yang disebabkan oleh polarisasi konsentrasi.

#### 4.3.1 Jenis Fouling

Fouling dapat dikarakteristikan sebagai reversible atau ireversibel. Oleh karena itu, penurunan fluks spesifik disebabkan oleh peningkatan tekanan transmembran



sementara fluks tetap konstan. Penurunan fluks spesifik terjadi selama operasi awal, dan sebagian dari kehilangan fluks ini tidak dapat dipulihkan selama operasi pencucian balik dan pembersihan. Kerugian fluks permanen, disebut fouling ireversibel, tergantung pada kualitas sumber air serta jenis membran yang digunakan. Selama operasi lanjutan, fluks spesifik dapat menurun lebih lanjut, tetapi kinerjanya dapat dipulihkan dengan operasi pencucian balik dan pembersihan. Hilangnya fluks ini disebut fouling reversibel.

#### 4.3.2 Pengaruh kecepatan aliran-silang

Kecepatan aliran silang yang tinggi cenderung untuk mencegah fouling dan juga membantu dalam proses pembersihan.

#### 4.3.3 Pengaruh Perlakuan Permukaan Membran

Permukaan membran Perubahan kecepatan aliran-silang atau tekanan transmembran tidak selalu dapat mengurangi fouling. Membran terbuat dari polimer hidrofilik, yaitu selulosa asetat, polikarbonat, umumnya kurang rentan terhadap fouling daripada

polimer hidrofilik. Namun, dalam beberapa kasus, modifikasi permukaan lebih banyak polimer tahan kimia telah membuat mereka kurang rentan terhadap fouling. Berbagai teknik dapat diterapkan untuk memodifikasi permukaan membran seperti pencangkakan kimia, pencampuran polimer dengan aditif, dan pengendapan film hidrofilik pada bahan hidrofobik [35].

#### 4.3.4 Kontrol fouling membran

Biasanya, pendekatan digunakan untuk mengontrol fouling membran: (1) pretreatment air umpan, (2) sifat membran, (3) modul dan kondisi proses, dan (4) pembilasan hidrolis dan pembersihan kimia dari membran. Pretreatment digunakan untuk mengurangi TSS dan kandungan bakteri dari feedwater untuk membatasi fouling. Seringkali feedwater akan dikondisikan secara kimia untuk membatasi presipitasi kimia dalam unit.

Pemilihan bahan membran dan modul memainkan peran penting dalam mengurangi fouling. Selain itu, backflushing dengan air dan/atau udara biasanya digunakan untuk menghilangkan akumulasi material

dari permukaan membran. Pembersihan kimia digunakan juga untuk menghilangkan konstituen yang tidak dihilangkan selama backwash konvensional atau pembilasan hidrolis aliran-silang.

#### 4.4 Rangkuman

Sebagai teknologi yang relatif baru, membran sering diabaikan di masa lalu dalam mendukung tanaman biotreatment konvensional. Namun, sejumlah indikator menunjukkan bahwa membran kini semakin diterima sebagai teknologi pilihan. Teknologi membran ditawarkan sebagai alternatif pengolahan air limbah non-konvensional karena perkembangan yang dinamis dari proses pengolahan air limbah sekunder dan lanjutan. Penggunaan air reklamasi mengurangi polusi yang dikirim ke lingkungan yang sensitif. Teknologi membran membantu mengurangi air yang divergen dari ekosistem yang sensitif yang sangat bergantung pada aliran untuk meningkatkan kualitas air. Kebutuhan energi dari proses perawatan rendah dibandingkan dengan alternatif lain dari penambahan pasokan air.

#### 4.5 Soal

1. Apa manfaat signifikan dari aplikasi teknologi membrane?
2. Sebutkan karakteristik membran berdasarkan jenis membran?
3. Apakah tekanan dapat divariasikan dalam proses filtrasi menggunakan membran dan bagaimana mekanisme yang terjadi?
4. Jelaskan definisi dari modul dan apakah pengaruhnya pada proses filtrasi?

## **BAB 5**

### **JENIS DAN MODUL MEMBRAN**

Desain membran menggambarkan unit lengkap yang terdiri dari membran, struktur pendukung tekanan untuk membran, inlet umpan dan outlet merembes dan port retentat, dan struktur dukungan keseluruhan. Jenis utama modul membran yang digunakan untuk reklamasi air limbah adalah (1) tubular, (2) serat berongga, (3) luka spiral. Pelat dan bingkai dan filter kartrid lipit juga tersedia tetapi juga digunakan lebih umum dalam aplikasi industri. Salah satu contoh konfigurasi tubular membran diilustrasikan pada Gambar. 5.1.



<http://www.kochmembrane.com/Landing/SR3D-Nanofiltration.aspx>

Gambar 5.1 Membran tubular

- Hollowfiber

Modul membran serat berongga terdiri dari seikat seratus hingga ribuan serat berongga. Seluruh perakitan dimasukkan ke dalam bejana tekan. Pakan dapat diterapkan ke bagian dalam serat (aliran luar-dalam) atau bagian luar serat (aliran luar-dalam).

Dalam konfigurasi tubular membran dilemparkan di bagian dalam tabung pendukung. Sejumlah tabung (baik secara tunggal atau dalam bundel) kemudian ditempatkan dalam bejana bertekanan yang tepat. Air limbah pakan dipompa melalui tabung umpan dan air produk dikumpulkan di luar tabung. Konsentrat terus mengalir melalui tabung umpan. Unit-unit ini umumnya digunakan untuk air dengan padatan tersuspensi tinggi atau potensi penyumbatan. Unit tubular adalah yang paling mudah dibersihkan, yang dicapai dengan mensirkulasikan bahan kimia dan memompa *'foamball'* atau *'spongeball'* melalui tabung untuk menyeka membran secara mekanis.

- Spiral wound

Di dalam membran spiral-wound, spacer permeasi yang fleksibel ditempatkan di antara dua lembaran

membran datar. Membran disegel pada tiga sisi. Sisi terbuka melekat pada pipa berlubang. *Spacer feed* fleksibel ditambahkan dan lembaran datar digulirkan ke dalam konfigurasi melingkar yang ketat.

- 

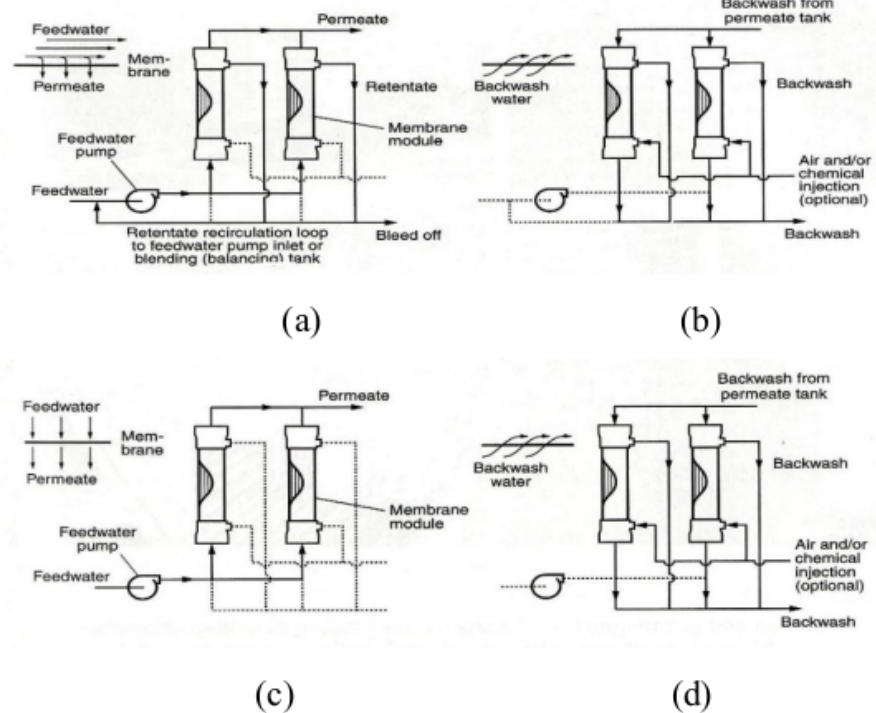
5.1 Konfigurasi modul dan pengembangan tekanan  
Modul membran tersedia dalam dua konfigurasi dasar: sistem bejana tekan atau sistem terendam.

- Konfigurasi bejana-tekan

Dengan pengecualian dari bejana tekan, yang perlu dibuat khusus, sebagian besar peralatan yang digunakan untuk penyaringan membran adalah standar untuk industri kimia dan proses. Dalam konfigurasi bertekanan, pompa digunakan untuk menekan air limbah umpan dan beredar melalui membran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 5.2.

Tujuan utama dari bejana tekan (atau tabung) adalah untuk mendukung membran dan menjaga aliran air umpan dan produk yang diisolasi. Kapal juga harus dirancang untuk mencegah kebocoran dan kehilangan tekanan ke luar. Tergantung pada tekanan operasi dan karakteristik air umpan, bahan yang digunakan

biasanya termasuk tabung plastik atau fiberglass. Setiap modul umumnya berdiameter 100 hingga 300 mm, panjang 0,9 hingga 5,5 m, dan disusun dalam rak atau selip.



Gambar 5.2 Sketsa sistem membran bertekanan: (a) sistem membran cross-flow bertekanan, (b) backwashing sistem cross-flow bertekanan, (c) aliran buntu bertekanan, (d) backwashing sistem aliran buntu bertekanan.



- Konfigurasi terendam Dalam sistem terendam, elemen membran direndam dalam tangki air umpan dan merembes ditarik melalui membran dengan menerapkan vakum, biasanya dari hisap pompa sentrifugal. Tekanan transmembran yang dikembangkan oleh pompa permeate menyebabkan air bersih diekstraksi melalui membran. positif kepala hisap (NPSH) keterbatasan bersih dari pompa permeate membatasi membran terendam ke tekanan transmembran maksimum sekitar 50 kPa (0,5 bar), dan biasanya beroperasi pada tekanan transmembran dari 0,2-0,4 bar [13]. Sistem terendam dikonfigurasi dengan beberapa cekungan sehingga masing-masing basis dapat mengisolasi untuk pembersihan atau pemeliharaan tanpa mematikan seluruh pabrik. Setiap cekungan biasanya memiliki pompa permeate sendiri.

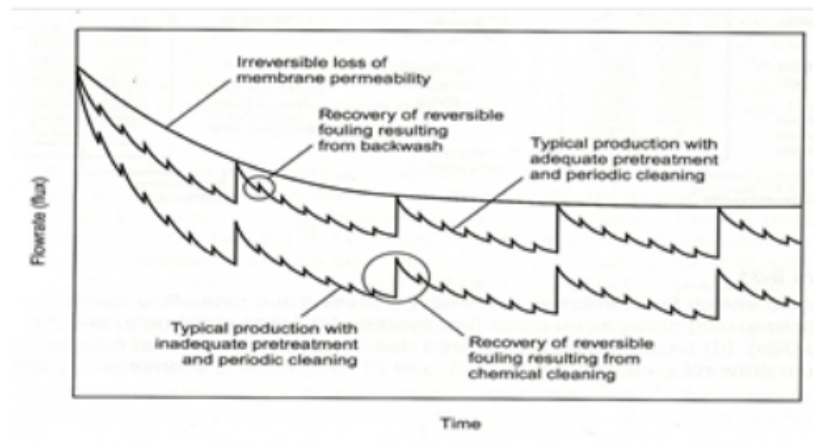
### 5.1 Hollowfiber

Empat sistem penyaringan membran berpengerak tekanan yang dikembangkan dengan baik, seperti MF, UF, NF, dan RO, tersedia dalam industri reklamasi air limbah. Penghilangan konstituen terlarut dalam air limbah yang direklamasi oleh proses membran ini

dapat dicapai dengan dua proses pemisahan membran dasar seperti tekanan yang digerakkan dan dikendalikan secara elektrik. proses membran ini semua mapan dan dilayani oleh perusahaan-perusahaan internasional yang berpengalaman dan terkemuka seperti Dow-Film Tec., Nitto Denko, Ge Osmonics, Desal dan Hydraunatic, Toray Membran Co, Koch Membran Co, Asahi, dan lain-lain

Operasi umum proses membran cukup sederhana. Sebuah pompa digunakan untuk menekan larutan umpan dan mengedarkannya melalui modul. Katup digunakan untuk mempertahankan tekanan retentate. Rembesan ditarik, biasanya pada tekanan atmosfer. Karena konstituen dalam air umpan terakumulasi pada membran (sering disebut membran fouling), tekanan menumpuk di sisi umpan, fluks membran (yaitu, mengalir melalui membran) mulai berkurang, dan penolakan persen juga mulai menurun. Ketika kinerja telah memburuk ke tingkat yang diberikan, modul membran diambil dari layanan dan backwash dan/ atau dibersihkan secara kimia. Konfigurasi operasional dan parameter untuk berbagai proses membran dipertimbangkan dalam pilihan sistem membran.

Gambaran umum untuk kinerja sistem filtrasi membran sebagai fungsi waktu dengan dan tanpa pembersihan yang tepat ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Sketsa performa sistem filtrasi membran<sup>[24]</sup>

Secara umum telah disepakati bahwa perbedaan antara proses membran dalam hal ukuran pori rata-rata, seperti ditunjukkan pada Gambar. 5.2, mempengaruhi penolakan zat terlarut dan fluks. Kedua faktor utama ini mengatur penerapan proses filtrasi membran. MF dan UF lebih disukai untuk diterapkan dalam menghilangkan partikel yang lebih besar. Membran ini menawarkan fluks air yang tinggi pada tekanan operasi yang sangat rendah karena karakter terbuka mereka. Untuk memisahkan zat terlarut berat molekul rendah

dan/atau zat terlarut bermuatan dari air limbah, NF dan RO dipertimbangkan. Membran NF dan RO tidak bekerja sesuai prinsip pori-pori; proses pemisahan pada dasarnya terjadi oleh mekanisme interaksi sterik-penghalang elektrostatik (NF) atau difusi melalui membran (RO)

#### 5.4 Rangkuman

#### 5.5 Soal

#### Referensi

## **BAB 6**

### **DESAIN MEMBRAN**

#### 6.1 Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi

Membran asimetris yang digunakan dalam MF dan UF umumnya terbuat dari polimer seperti selulosa asetat (CA), polisulfon (PSf), polyethersulfone (PES) dan polyvinylidene fluoride (PVDF) [25]. Namun, ada perbedaan yang signifikan antara membran ini, karena membran UF biasanya memiliki struktur asimetris dengan ukuran pori yang jauh lebih kecil dan porositas lebih rendah daripada membran MF meskipun membran ini melibatkan proses pemisahan serupa berdasarkan prinsip pemisahan yang sama. Membran MF memiliki pori-pori dalam kisaran 0,1-1  $\mu\text{m}$  dan digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti klarifikasi, bioreaktor membran, sterilisasi makanan dan pengolahan air. Sedangkan membran UF memiliki pori-pori yang lebih kecil (10-100  $\mu\text{m}$ ) dan digunakan dalam bidang-bidang seperti industri makanan dan susu, industri farmasi, industri tekstil, pengolahan air, dan industri kertas. Meskipun membran MF dan UF dapat menghasilkan fluks tinggi pada konsumsi energi

rendah, penghapusan efektif zat terlarut dengan berat molekul rendah mungkin tidak tercapai. Proses uji coba percontohan telah dilakukan menggunakan RO, NF, dan UF untuk reklamasi air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa UF benar-benar dapat memisahkan molekul dalam air limbah.

- Mikrofiltrasi konfigurasi dan aplikasi Ultrafiltrasi

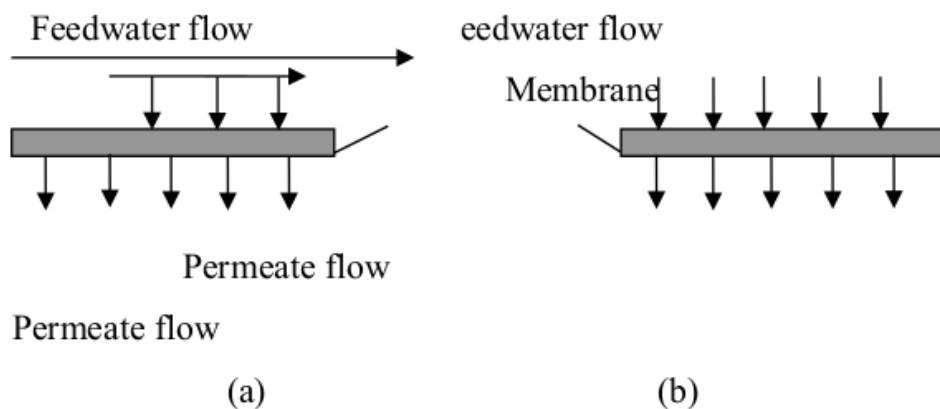
Dua konfigurasi proses yang berbeda dalam operasi membran digunakan dengan mikrofiltrasi dan unit ultrafiltrasi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6 Ultrafiltrasi

Dalam konfigurasi pertama yang dikenal sebagai aliran silang, feedwater dipompa dengan kurva aliran silang ke membran. Air yang tidak melewati membran

diresirkulasi melalui membran setelah dicampur dengan air umpan tambahan. Konfigurasi kedua dikenal sebagai umpan langsung (*dead-end*) di mana tidak ada aliran silang. Semua air yang diaplikasikan ke membran melewati membran. Air umpan mentah digunakan secara berkala untuk menyiram bahan akumulasi dari permukaan membran. Permeat fluks dan fouling konfigurasi cross-flow dan konfigurasi dead-end dipengaruhi oleh rezim aliran feedwater dekat permukaan membran.



Gambar 17 Aliran membran (a) filtrasi cross-flow, (b) filtrasi buntu

Aliran permeat total, (Q)

$$Q = F_w A$$

3.5

dimana Q adalah laju alir permeate, m<sup>3</sup> / h, Fw adalah transmbran air fluks, m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>h, A adalah luas membran, m<sup>2</sup>.

Penolakan, R

Penolakan, R adalah ukuran fraksi material yang dibuang dari aliran umpan. R dinyatakan sebagai persentase, diberikan oleh ekspresi berikut:

$$R, \% = (C_P / C_f) \times 100 \quad 3.6$$

di mana C<sub>f</sub> adalah konsentrasi dalam aliran umpan, g / m<sup>3</sup> dan C<sub>P</sub> adalah konsentrasi dalam permeat, g / m<sup>3</sup>.

Dalam aplikasi perawatan tingkat lanjut, MF telah digunakan, paling umum sebagai pengganti filtrasi kedalaman untuk mengurangi kekeruhan, menghilangkan sisa padatan tersuspensi, dan mengurangi bakteri. MF juga telah digunakan sebagai langkah awal untuk RO pada luka spiral, serat berongga dan konfigurasi plat frame dengan polypropylene, polysulfone, bahan poliamida. Beberapa membran UF dengan ukuran pori-pori kecil juga telah digunakan untuk menghilangkan senyawa terlarut dengan berat molekul tinggi, seperti koloid,



protein, dan karbohidrat dalam serat berlubang, luka spiral, dan konfigurasi kerangka pelat. Bahan yang digunakan dalam proses UF adalah polypropylene, polysulfone, polyethersulfone, polyvinylidene fluoride, dll. [26]

## 6.2 Nanofiltrasi

Istilah nanofiltrasi (NF) muncul dalam literatur pada awal 1970-an, meskipun membran serupa sudah dikenal sebagai membran RO dengan struktur "longgar". Dalam dekade terakhir, beberapa proses NF berskala besar yang sangat sukses secara teknis telah ditetapkan, terutama dalam pengolahan air. Dibandingkan dengan membran RO, membran NF pada dasarnya memiliki sifat elektrokimia khusus dalam bentuk kelompok yang bermuatan positif atau negatif yang melekat pada tulang punggung polimer yang mengarah ke penolakan lebih tinggi dari ion multivalen daripada ion monovalen. Dengan demikian, proses pemisahan oleh NF lebih rumit dan canggih karena efisiensi pemisahan tergantung pada kedua memiliki pengayakan dan mekanisme pengecualian Donnan. Taylor dan Jacob (2003) melaporkan bahwa

biaya pemeliharaan sistem perawatan NF dapat dikurangi dengan menggunakan sistem pra-perawatan, pembersihan reguler dan/atau dengan memilih sistem membran NF yang paling tepat [27].

### 6.3 Reverse Osmosis

Untuk teknologi membran secara umum, pengembangan membran RO CA asimetris asimetris pertama oleh Loeb dan Sourirajan (1963) adalah salah satu terobosan paling kritis yang membuat membran RO cocok untuk proses praktis untuk desalting air. Saat ini, membran CA tetap sangat menarik dalam teknologi membran karena harganya yang rendah, resistensi klorin dan sumber daya berkelanjutan mereka. Sekitar setengah dari sistem RO yang saat ini dipasang digunakan untuk desalinasi payau atau air laut. Sistem yang tersisa digunakan untuk memproduksi air ultra-murni untuk industri elektronik, farmasi dan pembangkit listrik. Hanya sejumlah kecil sistem RO yang digunakan untuk pengolahan air limbah [28]. Seperti yang dilaporkan oleh Tzahi et al. (2004), pemilihan teknologi membran atau limbah tekstil bergantung pada keseimbangan antara fluks dan

selektivitas [29]. Namun, fluks yang sangat rendah dicapai oleh membran RO (karena struktur polimer padat) sering menjadi alasan utama menghambat penggunaannya secara luas di daerah ini. Selain itu, tekanan osmotik tinggi yang dihasilkan dari konsentrasi garam yang tinggi juga membuatnya tidak diterima secara luas dalam proses pengolahan air limbah kilang.

- Nanofiltrasi (NF) dan desain dan aplikasi Reverse Osmosis (RO) Membran RO dan NF terbuat dari bahan yang berbeda dan digunakan dalam konfigurasi yang berbeda. Baik material dan konfigurasi membran tersebut mempengaruhi transportasi massal atau kinerja ini. RO dan NF untuk reklamasi air limbah memiliki konfigurasi spiral wound (SW) atau hollow fine fiber (HFF).



Gambar 6.7 Nanofiltrasi

Kebanyakan fasilitas NF menggunakan membran poliamida dalam konfigurasi SW. Saat ini, lebih banyak jenis membran yang berbeda tersedia, yaitu polieter sulphone dan asimetris selulosa asetat (turunan selulosa) [30]. Konfigurasi HFF digunakan secara luas untuk desalinasi air laut di Timur Tengah. Geometri modul membran SW tunduk pada area mati yang lebih sedikit daripada modul membran HFF. Modul SW dapat dibersihkan lebih teliti, dan kurang tunduk pada fouling. Rasio luas permukaan terhadap volume lebih

tinggi untuk elemen HFF daripada elemen SW. Mekanisme fouling dominan dalam air laut mungkin berbeda dengan yang ada di air payau. Dalam reklamasi air limbah, RO digunakan untuk menghilangkan konstituen terlarut dari sisa air limbah setelah perawatan lanjutan dengan filtrasi kedalaman atau mikrofiltrasi. Kinerja RO juga spesifik lokasi, terutama yang berkaitan dengan fouling. Disinfeksi air umpan RO biasanya dilakukan untuk meminimalkan atau membatasi pertumbuhan bakteri pada membran. Oleh karena itu bahan membran dan proses pembersihan harus dipertimbangkan dengan hati-hati, tergantung pada berapa lama laju fluks dipertahankan.

### 6.3. Masa Pakai Membran

Kehidupan membran adalah penting karena biaya berlebihan yang terkait dengan perbaikan, penggantian, dan startup dan waktu operasi yang terjadi dengan penggantian membran sering dapat membuat sistem membran tidak ekonomis. Saat ini, penerapan teknologi membran meningkat dan diperkirakan akan terus berlanjut ke masa depan. Bahkan, penggunaan teknologi reklamasi air limbah

konvensional akan menjadi sesuatu yang lalu dalam 10 hingga 15 tahun, terutama mengingat perlunya menghilangkan unsur organik yang resisten yang menjadi perhatian. Membran kehidupan pada urutan 5 hingga 10 tahun dapat diharapkan dalam keadaan normal, tetapi umur membran kurang dari 2 hingga 3 tahun dapat mempengaruhi ekonomi perawatan membran secara signifikan. Konsumsi energi dan nilai pemulihan produk untuk berbagai sistem membran ditunjukkan pada Tabel 6.3.

Table 6.3 Konsumsi energi dan nilai produksi sistem membran

Proses membran	Tekanan operasi		Konsumsi energi, kWh per		Nilai produksi, %
	lb/in <sup>2</sup>	kPa	1000 gal	m <sup>3</sup>	
MF	15	100	0.1	0.4	94-98
UF	75	525	0.8	3.0	70-80
NF	125	875	1.4	5.3	80-85
RO	225	1575	2.7	10.2	70-85
Electrodialisis	400	2800	2.5	9.5	75-85

#### 6.4 Rangkuman

Membran dengan gaya dorong tekanan merupakan teknik pemisahan yang dapat memisahkan beragam jenis partikel terlarut dalam suatu fluida. Proses penyaringan juga dapat dilakukan untuk menyaring beberapa jenis partikel terlarut secara langsung dan membuat proses penyaringan lebih efisien. Kelebihan ini menyebabkan membran dengan gaya dorong tekanan memiliki aplikasi yang sangat beragam dan kelebihan ini juga diperlukan dalam melakukan filtrasi terhadap air limbah dan air layak minum karena partikel-partikel yang terkandung didalamnya sangat beragam. Karena hal ini lah, aplikasi dari membran dengan gaya dorong tekanan yang paling sering digunakan adalah dalam pengolahan air minum dan air limbah. Tetapi tentu saja kegunaan dari membran ini tidak terbatas sampai disitu saja. Masih banyak sekali aplikasi dari membran dengan gaya dorong tekanan ini di berbagai proses perindustrian.

Berdasarkan hal tersebut, membran ini tentu akan sangat berpengaruh dalam meningkatkan kebersihan dan kesehatan lingkungan yang sangat dibutuhkan di Indonesia ini untuk meningkatkan kesehatan warga.

Maka perkembangan membran ini di Indonesia akan menjadi hal yang sangat penting dan bahkan wajib dilakukan. Namun selain perkembangan dari teknologinya sendiri, perlu diperhatikan pula bahwa dalam praktek penggunaan membran, lama kelamaan membran ini akan mengalami kerusakan. Salah satu kerusakan yang dapat diakibatkan dalam proses pengolahan air limbah dan air layak minum ini adalah fouling. Fouling sendiri merupakan peristiwa turunan fluks dari membran yang disebabkan karena terakumulasinya partikel-partikel yang terlarut dalam fluida yang ingin disaring pada pori membran. Hal ini dapat diatasi dengan proses remediasi dengan larutan kimia tertentu dan dapat juga dicegah dengan cara-cara tertentu. Untuk itu selain perkembangan dari teknologi membran sendiri, perlu juga dikembangkan cara-cara yang efektif dalam merecovery membran yang sudah rusak.

#### 6.5 Soal

Tunjukkan perbedaan pemisahan Mikrofiltrasi, Ultrafiltrasi, dan Hiperfiltrasi (Osmosis Balik) jika ditinjau dari aspek:



- a. jenis membran
- b. ukuran pori
- c. gaya pengendali
- d. prinsip pemisahan.
- e. bahan membran

#### Referensi

- [1] A. Caetano, M.N. de Pinho, E. Drioli, H. Muntau (Eds.). (2012). Membrane Technology: Applications to Industrial Wastewater Treatment (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- [2] www.waterworld.com, Aplikasi dari membrane untuk keperluan pengolahan air limbah, <http://www.waterworld.com/articles/mem/article> s/print/volume-1/issue-1/feature/membranebasics-for-wastewater-treatment.html, diakses 10-04-2022.
- [3] Aplikasi dari membran untuk keperluan pengolahan air limbah, available : <http://cdmsmith.com/en/Insights/Viewpoints/Membrane-Technology-Advances->

WastewaterTreatment-and-Water-Reuse.aspx,  
diakses 10-04-2016.

- [4] B. Van der Bruggen, C. Vandecasteele, T. Van Gestel, W. Doyen, R. Leysen. (2003). A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production. *Environmental progress*, 22(1), 46-56.
- [5] Van der Bruggen, B., Verberk, J. Q. J. C., & Verhack, J. (2004). Comparison of pressuredriven membrane processes and traditional processes for drinking water production in Europe based on specific impact criteria. *Water Sa*, 30(3), 413-419.
- [6] D.W. Hendricks, Hendricks, D. W. (2006). *Water treatment unit processes: physical and chemical*. CRC press (2006) 4-5.
- [7] Glauco M.M.M. Lustosa, Natalia Jacomaci, João P.C. Costa, Gisane Gasparotto, Leinig A. Perazolli and Maria A. Zaghete, *New Approaches to preparation of SnO<sub>2</sub>-Based Varistors – Chemical Synthesis, Dopants, and Microwave Sintering*, interdisciplinary Laboratory of Electrochemistry and Ceramics

(LIEC), Chemistry Institute–UNESP, Araraquara/SP, Brazil.

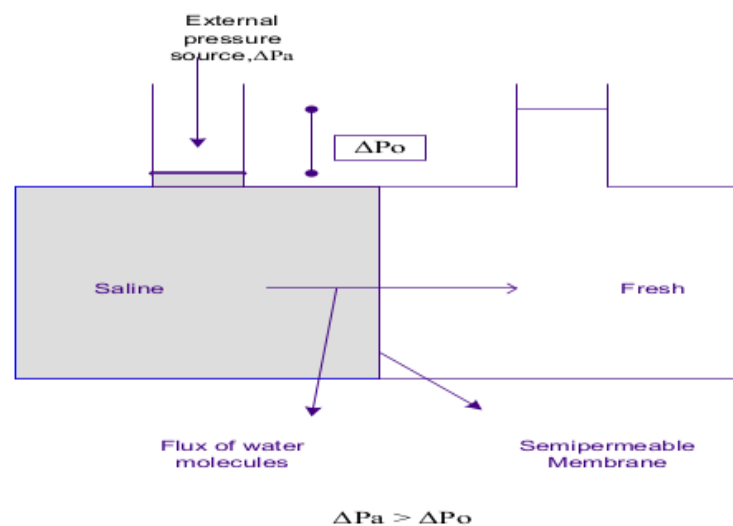
- [9] H.K. Shon, S. Phuntsho, D.S. Chaudhary, S. Vigneswaran, J. Cho. (2013). Nanofiltration for water and wastewater treatment—a mini review. *Drinking Water Engineering and Science*, 6(1), 47-53.
- [10] I.G. Wenten, Khoiruddin, P.T.P. Aryanti, A.N. Hakim. “Pengantar Teknologi Membran.” *Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*, 2010.
- [11] I.G. Wenten, P.T.P. Aryanti, Khoiruddin, A.N.Hakim. “Proses Pembuatan Membran.” *Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*, 2011.
- [12] J.A.L. Santos, M. Mateus, J.M.S. Cabral, *Pressure Driven Membrane Processes*, Volume 204 of the series NATO ASI Series, pp 177-205.

## **BAB 7**

### **REVERSE OSMOSIS**

Penerapan teknologi reverse osmosis untuk reklamasi air limbah kembali ke tahap awal komersialisasi proses RO. Disadari segera bahwa penerapan teknologi membran untuk pengolahan limbah cair merupakan tantangan unik karena potensi fouling yang sangat tinggi dari aliran yang diolah. Oleh karena itu, dalam reklamasi air limbah, RO digunakan untuk menghilangkan konstituen terlarut dari sisa air limbah setelah perawatan lanjutan dengan penyaringan kedalaman oleh proses tekanan yang didorong. Prinsipnya, osmosis, yang terlibat dalam RO dapat diberikan oleh definisi tekanan osmotik berikut. Ketika dua solusi memiliki konsentrasi zat terlarut yang berbeda dipisahkan oleh membran semipermeabel, perbedaan dalam potensi kimia akan ada di seluruh membran. Air akan cenderung berdifusi melalui membran dari sisi konsentrasi rendah ke sisi konsentrasi yang lebih tinggi. Akibatnya, air yang melewati membran berusaha mengencerkan larutan konsentrasi ion yang lebih tinggi untuk menyamakan

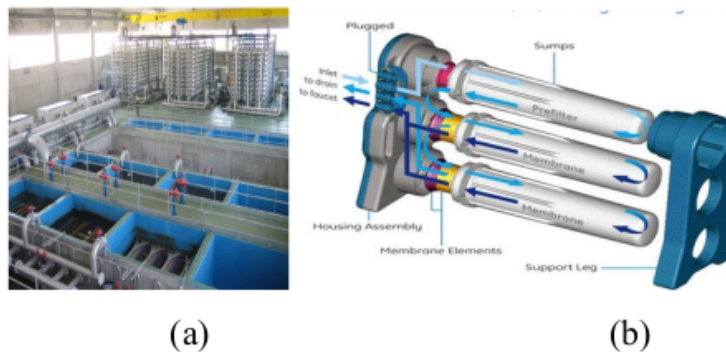
konsentrasi pada kedua sisi membran. Perbedaan tekanan balancing ini disebut tekanan osmotik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 26. Jika gradien tekanan berlawanan arah dan lebih besar dari tekanan osmotik dikenakan melintasi membran, aliran dari yang lebih terkonsentrasi ke daerah yang kurang terkonsentrasi akan terjadi dan disebut reverse osmosis.



Gambar 7.1 Sketsa Reverse Osmosis

Reverse osmosis telah digunakan dalam banyak aplikasi termasuk desalinasi air laut dan air payau dan air proses industri untuk menghilangkan konstituen terlarut. RO biasanya menghilangkan 95 hingga 99,5

persen dari total padatan terlarut dan 95 hingga 97 persen dari bahan organik terlarut. Ini bisa dilanjutkan, tergantung pada air umpan. Saat ini, dengan pengembangan membran tekanan rendah baru, RO menemukan peningkatan penggunaan untuk aplikasi reklamasi air limbah dan penggunaan kembali. Pada Gambar 7.2, pandangan berbagai instalasi RO telah ditunjukkan [53].



Gambar 7.2 (a-b) Variasi sistem reverse osmosis dan Sistem Merlin RO air minum

Reverse osmosis biasanya digunakan untuk memisahkan bahan terlarut, umumnya garam, di bawah tekanan mulai dari 1200 hingga 1800 kPa untuk air TDS rendah (1000 hingga 2500 mg / L) hingga 5500 hingga 8500 kPa untuk air laut dan pada tingkat fluks yang bervariasi dari sekitar 12 sampai 200 L /

m2.h. Pemisahan menggunakan membran RO efektif umumnya pada berat molekul terlarut di bawah 300, dan ukuran zat terlarut terkait dari 0,0001 hingga 0,001  $\mu\text{m}$ .

### 7.1 Definisi Reverse Osmosis (RO)

Membran RO biasanya membran TFC dalam konfigurasi luka spiral atau serat berongga dengan ukuran pori sekitar 0,5 nm. Ada karakteristik kinerja konfigurasi membran RO yang umum digunakan pada Tabel 7.1

Tabel 7.1. Parameter operasional untuk sistem reverse osmosis

Parameter	Unit	Reverse osmosis
Flux	$\text{L}/\text{m}^2.\text{h}$	12-20
Tekanan Operasi		
1000-2500 mg/L TDS	kPa	1200-1800
TDS Air laut	kPa	5500-8500
Konsumsi energi	$\text{kWh}/\text{m}^3$	1.5-2.5
1000-2500 mg/L TDS		5-10

## 7.2 Variabel Proses Reverse Osmosis

Dalam aplikasi reklamasi air limbah, RO digunakan untuk menghilangkan konstituen terlarut yang tersisa di air limbah setelah perawatan lanjutan dengan penyaringan kedalaman. Sistem membran RO telah digunakan untuk menangani air limbah kota reklamasi untuk resapan air tanah, augmentasi air permukaan, menara pendingin dan air makeup dingin evaporative, dan air umpan boiler tekanan tinggi. Kinerja proses RO terkait dengan karakteristik air yang akan dirawat, jenis membran yang digunakan, dan strategi operasional.

### 7.2.1 Desain dan pertimbangan operasional untuk sistem osmosis balik

Dalam desain sistem membran untuk menghilangkan konstituen terlarut, keberhasilan sistem tergantung pada analisis air umpan dan pemilihan sistem pra-perlakuan yang tepat. Pertimbangan desain proses untuk sistem RO meliputi (a) karakterisasi air umpan, (b) proses pretreatment, (c) laju fluks, (d) pemulihan, (e) membran fouling, (f) pembersihan membran, (g)



umur membran, (h) ) biaya operasi dan pemeliharaan, (i) daur ulang arus, (j) pembuangan retentate dan backwash. Faktor-faktor ini harus dipertimbangkan dalam merancang sistem RO untuk mencapai tingkat penyisihan konstituen yang lebih tinggi.

#### 7.2.2. Mengolah parameter operasi

Proses pertimbangan operasi yang dijelaskan dalam bagian ini termasuk rasio pemulihan permeate dan tingkat penolakan, tekanan operasi dan laju fluks, kebutuhan energi, perlakuan perpecahan dan pencampuran. Tekanan operasi dan rasio fluks Dua variabel kunci yang mempengaruhi fluks adalah temperatur dan tekanan operasi. Fluks meningkat dengan suhu yang lebih tinggi karena viskositas cairan menurun. Fluks melalui membran meningkat sekitar 3 persen per derajat Celcius [54]. Sebagaimana dinyatakan sebelumnya, karena tekanan meningkatkan fluks meningkat secara linier dan kualitas produk meningkat. RO khususnya menghasilkan aliran konsentrat tekanan tinggi. Berbagai metode telah dikembangkan atau sedang dikembangkan untuk memulihkan energi yang hilang dalam menekan

konsentrat. Saat ini, sistem pemulihan energi telah dikembangkan untuk memulihkan sebagian besar energi dan mentransfernya ke air umpan untuk mengurangi energi proses keseluruhan [55]

### 7.2.3 Studi Skala Pilot untuk RO

Fasilitas skala pilot yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja proses pengolahan RO. Parameter operasi membran khas dan pengukuran kualitas air yang telah dibahas dalam bab. 3,2, dievaluasi masing-masing. Keberhasilan pengembangan membran RO backwashable adalah desain elemen baru dalam sistem RO untuk reklamasi air limbah. Hasil ini terdiri dari peningkatan teknologi berikut:

- Penyederhanaan sistem pengolahan air dengan menggabungkan pretreatment membran dan RO desalting dalam satu langkah proses
- Pengurangan biaya investasi karena pengurangan peralatan yang dibutuhkan
- Pengurangan biaya operasi karena potensi pengurangan konsumsi daya

- Pengurangan persyaratan ukuran lokasi pabrik Perbaikan ini mempengaruhi ekonomi proses reklamasi air limbah yang lebih baik secara signifikan.

### 7.3 Rangkuman

Keadaan seni proses reklamasi air terus berubah ketika teknologi baru muncul, menawarkan proses unit baru untuk reklamasi air atau membuat proses yang digunakan saat ini lebih efisien dan ekonomis. Proses lanjutan dalam reklamasi air menggunakan teknologi membran telah terbukti masing-masing. Dalam merancang sistem membran, keandalan dan masalah redundansi yang sama yang dipertimbangkan untuk fasilitas perawatan konvensional harus dievaluasi. Meskipun teknologi membran menjadi komersial yang tersedia lebih dari 30 tahun yang lalu, mereka mengalami perkembangan dan peningkatan yang cepat. Berbagai macam proses membran dapat dikategorikan menurut kekuatan pendorong, jenis dan konfigurasi membran, serta kemampuan dan mekanisme penghilangan. Membran semakin efektif biaya dengan karakteristik kinerja yang lebih baik, dan aplikasi mereka terus tumbuh.

#### 7.4 Soal

1. Apakah prinsip dasar proses reverse osmosis?
2. Berapa tekanan yang dibutuhkan untuk proses Reverse osmosis?
3. Jelaskan aplikasi pemanfaatan Reverse osmosis?

#### Referensi

- [1] D.W. Hendricks, Hendricks, D. W. (2006). Water treatment unit processes: physical and chemical. CRC press (2006) 4-5.
- [2] Glauco M.M.M. Lustosa, Natalia Jacomaci, João P.C. Costa, Gisane Gasparotto, Leinig A. Perazolli and Maria A. Zaghete, New Approaches to preparation of SnO<sub>2</sub>-Based Varistors – Chemical Synthesis, Dopants, and Microwave Sintering, interdisciplinary Laboratory of Electrochemistry and Ceramics (LIEC), Chemistry Institute–UNESP, Araraquara/SP, Brazil.
- [3] H.K. Shon, S. Phuntsho, D.S. Chaudhary, S. Vigneswaran, J. Cho. (2013). Nanofiltration for water and wastewater treatment–a mini

review. *Drinking Water Engineering and Science*, 6(1), 47-53.

- [4] I.G. Wenten, Khoiruddin, P.T.P. Aryanti, A.N. Hakim. "Pengantar Teknologi Membran." *Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*, 2010.
- [5] I.G. Wenten, P.T.P. Aryanti, Khoiruddin, A.N.Hakim. "Proses Pembuatan Membran." *Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*, 2011.
- [6] J.A.L. Santos, M. Mateus, J.M.S. Cabral, *Pressure Driven Membrane Processes*, Volume 204 of the series NATO ASI Series, pp 177-205.

## **BAB 8**

### **FORWARD OSMOSIS**

#### 8.1 Definisi Forward Osmosis

1 Sistem reverse osmosis dalam memfiltrasi air laut sangat baik sehingga diperoleh air bersih yang bebas mineral. Untuk digunakan sebagai air umpan industri mungkin air hasil reverse osmosis ini sangat baik akan tetapi jika digunakan sebagai air minum ini dapat membuat tubuh kehilangan mineral-mineral yang wajib dikonsumsi seperti kalsium, magnesium, dan mineral lainnya dalam kadar tertentu tetapi sayangnya reverse osmosis menyaring semua mineral terkandungnya.

##### A. Forward osmosis (FO)

FO digunakan sebagai pretreatment untuk menahan kandungan mineral penting tubuh yang terlarut dalam air disalinasi. Jika dibandingkan energi yang diperlukan oleh hybrid FO-RO untuk menjalankan sistem dan sistem reverse osmosis dapat kita pastikan bahwa hybrid FO-RO sangat hemat energi. Pada akhirnya kita simpulkan perlu pengembangan yang lebih lagi mengenai

sistem hybrid FO-RO agar lebih efisien untuk menangani desalinasi air laut. Sistem hybrid forward osmosisreverse osmosis hanya ekonomis dan tepat desalinasi air laut dengan fouling yang tinggi dan scaling potential yang tinggi pula. Sehingga fluks air hasil forward osmosis rendah. Oleh karena itu diharapkan kedepannya pengembangan hybrid forward osmosis-reverse osmosis dapat dilakukan juga untuk air yang memiliki fluks tinggi hingga pada akhirnya sistem ini memiliki jangkauan kerja yang luas.

#### **B. Penerapan dalam pengolahan air limbah**

Sebuah contoh yang baik dengan dari singapura. Menyadari ancaman akan ketersediaan air bersih untuk 30 tahun mendatang membuat Singapura mencari berbagai cara untuk tetap memperoleh air bersih.



Gambar 8.1 Industri berbasis Forward Osmosis

**1** Fakta menarik bahwa Singapura menggunakan air limbah mereka (kecuali air limbah industri butuh pengolahan yang lebih spesifik) untuk digunakan sehari-hari. Jadi dapat dikatakan bahwa limbah hasil kegiatan mereka sehari-hari dalam bentuk cairan dikumpulkan dan dialirkan untuk diolah lebih lanjut menjadi air bersih layak pakai. Tahap pelaksanaan pengolahan air bersih oleh Singapura yaitu air umpan masuk untuk kemudian ultrafiltration (menggunakan membrane) kemudian dilakukan reverse osmosis dan terakhir dilakukan



ultraviolet disinfection sehingga dipastikan air yang dihasilkan sangat bersih namun tidak untuk diminum karena tidak adanya syarat mineral untuk air minum. Namun hingga proses ini Singapura menunjukkan bahwa air bersih untuk beberapa tahun kedepan sudah tidak menjadi kendala lagi sehingga mereka tidak perlu pusing dengan ancaman dari Malaysia. Jika kita perhatikan seksama bahwa Singapura sudah menerapkan sistem hybrid yaitu dalam pengolahan air limbah ini. Seperti kita lihat bahwa sesudah tahap filtrasi oleh membrane dilanjutkan oleh reverse osmosis. Hal ini tepat karena air limbah lebih memiliki masalah kompleks jika dibandingkan dengan air laut yang desalinasi. Air limbah akan mengandung bukan hanya mikroba dan mineral-mineral terlarut tetapi juga senyawa-senyawa organik, senyawa-senyawa berbahaya dan beracun. Dengan pengotor yang kompleks maka tepatlah untuk dilakukan sistem pengolahan hybrid. Namun dengan melihat fakta pengotor tersebut dengan kadar yang bermacam-macam

masalah yang ditimbulkan juga kompleks terutama mengenai terjadinya fouling. Fouling yang dihasilkan oleh pengotor yang kompleks maka akan menghasilkan fouling yang tidak cukup diselesaikan dengan filtrasi dan reverse osmosis saja karena akan membutuhkan energi yang besar untuk menghilangkan dan mencegah fouling yang tentu saja akan menghasilkan biaya yang besar pula. Oleh karena itu pengembangan sistem hybrid forward osmosis-reverse osmosis dapat menangani masalah tersebut. Pengotor yang kompleks ini akan tidak cukup jika dilakukan sekali jalan maka dilakukan sistem hybrid forward osmosis-reverse osmosis yang berkelanjutan sehingga air limbah akan melewati membrane forward osmosis dua kali. Perhatikan sistem berikut. Dengan melakukan sistem tersebut diperkirakan bahwa meminimalkan biaya selama operasi mencapai sekitar 63% dari aliran pengolahan air limbah. Hal ini karena kita tidak perlu terlalu sering mencuci membran reverse osmosis. Selain itu dengan

melakukan berkelanjutan ini akan ada energi yang disimpan jika kita membandingkan dengan pengolahan reverse osmosis. Energi yang disimpan terjadi karena tekanan osmotik dalam sistem akan menekan fluks air sehingga forward osmosis dapat berjalan optimal. Seperti halnya dalam desalinasi air laut sistem ini perlu dikembangkan karena faktanya tekanan osmotik yang kita harapkan bernilai sangat kecil sehingga tidak dapat menekan fluks air. Oleh karena itu kita memerlukan permukaan membrane yang besar akan tetapi hal ini sama saja karena akan memakan biaya operasi yang besar juga. Oleh karena itu diharapkan pengembangan sistem ini terus berjalan.

### C. Prospek hybrid forward osmosis-reverse osmosis kedepan.

Pada intinya bahwa forward osmosis harus dilakukan berpasangan tidak hanya sendiri agar sistem pengolahan berjalan optimal. Kelemahan dari sistem ini yaitu hanya dapat

bekerja pada tekanan rendah dan dalam fluks air yang kecil dimana hal tersebut tidak mungkin terjadi terutama jika kita menggunakan umpan air laut atau air limbah. Namun kelebihan forward osmosis dapat menyelesaikan permasalahan reverse osmosis yaitu fouling. Dan juga penggunaan draw solution untuk dipisahkan dari air produksi dapat ditangani oleh reverse osmosis. Dan prinsip berikut kedepannya sangat diharapkan melalui pengembangannya dapat menyelesaikan prospek-prospek di masa yang akan datang. Maka diharapkan pengembangan tersebut berupa: Hybrid forward osmosis-reverse osmosis dapat menyelesaikan masalah air umpan kompleks untuk air produk yang memiliki karakteristik ekstrim.

## 8.2 Variabel Proses Forward Osmosis.

<sup>1</sup> Mengkombinasikan membran forward osmosis dengan thermal process sehingga dapat menangani fouling karena senyawa organik dan juga anorganik. Dalam penerapannya diharapkan untuk menggunakan

sistem berkelanjutan sehingga dapat memperkecil beda tekan karena osmotik sehingga fluks air menjadi kecil yang berdampak untuk mengurangi biaya operasi karena harus backwash membrane sebelumnya.

Beberapa Pengembangan forward osmosis.

Beberapa pengembangan forward osmosis reverse osmosis di dunia sebagai berikut.

1. Forward-heating pada suhu sekitar 60 C. Draw Solution dapat diselesaikan dengan  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ . membrane yang digunakan adalah membrane datar yang digunakan Reverse osmosis. Flux air yang digunakan dalam forward osmosis 7.2 LMH saat reverse salt fluks yang dihadapkan 18.2 g/m
2. Forward osmosis dengan kombinasi membrane distilasi. Draw solution menggunakan 2-methylimidazole based compounds dan pada forward osmosisnya menggunakan membrane untuk forward osmosis yaitu CTA flat sheet. Pada fluks air LMH pada reverse salt flux mencapai 80 g/m<sup>2</sup> h.

Tekanan osmosis FO dibandingkan teknologi lain. Perbandingan beda tekan reverse osmosis (RO) dan forward osmosis (FO)

### 3. Penerapan dari Hybrid Forward Osmosis-Reverse Osmosis.

A. Penerapan dalam desalinasi air laut. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya dalam latar belakang bahwa berkembangnya populasi manusia mempengaruhi eksistensi air tawar dan meningkatkan volume air laut yang disertai dengan meningkatnya kandungan mineral (dalam hal ini berupa garam-garam terlarut). Menurut fakta kandungan garam dalam air laut pada tahun 2013 mencapai 35%. Ini berarti kita harus memekatkan air laut sebesar 35% untuk menghilangkan garam terlarutnya hingga dapat digunakan sebagai air tawar layak pakai untuk kegiatan manusia. Untuk mengkonversi air laut menjadi air tawar dikenal dengan metode desalinasi. Pada masa dahulu untuk melakukan desalinasi dilakukan dengan proses distilasi namun berkembangnya zaman teknologi membrane mendominasi pengolahan air laut

sehingga diberlakukanlah reverse osmosis  
diberlakukan. Sistem hybrid forward osmosis-  
reverse osmosis dilakukan untuk  
mengoptimalkan proses desalinasi ini.  
Pengembangan desalinasi dengan sistem ini  
dimulai oleh Yaeli menggunakan hybrid  
forward osmosis-reverse osmosis dengan  
menggabungkan sistem forward osmosis dan  
low pressure reverse osmosis. Forward  
osmosis digunakan sebagai tahap pre-treatment  
untuk mereduksi kecenderungan fouling yang  
terjadi rentan pada reverse osmosis [5]. Selain  
keuntungan dari pre-treatment forward  
osmosis, keuntungan lain juga diperoleh.  
Sistem reverse osmosis dalam memfiltrasi air  
laut sangat baik sehingga diperoleh air bersih  
yang bebas mineral. Untuk digunakan sebagai  
air umpan industri mungkin air hasil reverse  
osmosis ini sangat baik akan tetapi jika  
digunakan sebagai air minum ini dapat  
membuat tubuh kehilangan mineral-mineral  
yang wajib dikonsumsi seperti kalsium,  
magnesium, dan mineral lainnya dalam kadar

tertentu tetapi sayangnya reverse osmosis menyaring semua mineral terkandungnya. Disini forward osmosis digunakan sebagai pretreatment untuk menahan kandungan mineral penting tubuh yang terlarut dalam air desalinasi. Jika dibandingkan energi yang diperlukan oleh hybrid FO-RO untuk menjalankan sistem dan sistem reverse osmosis dapat kita pastikan bahwa hybrid FO-RO sangat hemat energi. Pada akhirnya kita simpulkan perlu pengembangan yang lebih lagi mengenai sistem hybrid FO-RO agar lebih efisien untuk menangani desalinasi air laut. Sistem hybrid forward osmosis reverse osmosis hanya ekonomis dan tepat desalinasi air laut dengan fouling yang tinggi dan scaling potential yang tinggi pula. Sehingga fluks air hasil forward osmosis rendah. Oleh karena itu diharapkan kedepannya pengembangan hybrid forward osmosis-reverse osmosis dapat dilakukan juga untuk air yang memiliki fluks tinggi hingga pada akhirnya sistem ini memiliki jangkauan kerja yang luas.



B. Penerapan dalam pengolahan air limbah

Sebuah contoh yang baik dengan dari Singapura. Menyadari ancaman akan ketersediaan air bersih untuk 30 tahun mendatang membuat Singapura mencari berbagai cara untuk tetap memperoleh air bersih. Dan fakta menarik bahwa Singapura menggunakan air limbah mereka (kecuali air limbah industri butuh pengolahan yang lebih spesifik) untuk digunakan sehari-hari. Jadi dapat dikatakan bahwa limbah hasil kegiatan mereka sehari-hari dalam bentuk cairan dikumpulkan dan dialirkan untuk diolah lebih lanjut menjadi air bersih layak pakai. Tahap pelaksanaan pengolahan air bersih oleh Singapura yaitu air umpan masuk untuk kemudian ultrafiltration (menggunakan membrane) kemudian dilakukan reverse osmosis dan terakhir dilakukan ultraviolet disinfection sehingga dipastikan air yang dihasilkan sangat bersih namun tidak untuk diminum karena tidak adanya syarat mineral

untuk air minum. Namun hingga proses ini Singapura menunjukkan bahwa air bersih untuk beberapa tahun kedepan sudah tidak menjadi kendala lagi sehingga mereka tidak perlu pusing dengan ancaman dari Malaysia. Jika kita perhatikan seksama bahwa Singapura sudah menerapkan sistem hybrid yaitu dalam pengolahan air limbah ini. Seperti kita lihat bahwa sesudah tahap filtrasi oleh membrane dilanjutkan oleh reverse osmosis. Hal ini tepat karena air limbah lebih memiliki masalah kompleks jika dibandingkan dengan air laut yang disalinasi. Air limbah akan mengandung bukan hanya mikroba dan mineral-mineral terlarut tetapi juga senyawa-senyawa organik, senyawa-senyawa berbahaya dan beracun. Dengan pengotor yang kompleks maka tepatlah untuk dilakukan sistem pengolahan hybrid. Namun dengan melihat fakta pengotor tersebut dengan kadar yang bermacam-macam masalah yang ditimbulkan juga kompleks terutama mengenai terjadinya fouling. Fouling yang dihasilkan oleh pengotor yang kompleks

maka akan menghasilkan fouling yang tidak cukup diselesaikan dengan filtrasi dan reverse osmosis saja karena akan membutuhkan energi yang besar untuk menghilangkan dan mencegah fouling yang tentu saja akan menghasilkan biaya yang besar pula.

### 8.3 Rangkuman

1 Penerapan dalam desalinasi air laut. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya dalam latar belakang bahwa berkembangnya populasi manusia mempengaruhi eksistensi air tawar dan meningkatkan volume air laut yang disertai dengan meningkatnya kandungan mineral (dalam hal ini berupa garam-garam terlarut). Menurut fakta kandungan garam dalam air laut pada tahun 2013 mencapai 35%. Ini berarti kita harus memekatkan air laut sebesar 35% untuk menghilangkan garam terlarutnya hingga dapat digunakan sebagai air tawar layak pakai untuk kegiatan manusia. Untuk mengkonversi air laut menjadi air tawar dikenal dengan metode desalinasi. Pada masa dahulu untuk melakukan desalinasi dilakukan dengan proses distilasi namun berkembangnya zaman teknologi membrane

mendominasi pengolahan air laut sehingga diberlakukanlah reverse osmosis. Sistem hybrid forward osmosis-reverse osmosis dilakukan untuk mengoptimalkan proses desalinasi ini. Pengembangan desalinasi dengan sistem ini dimulai oleh Yaeli menggunakan hybrid forward osmosis-reverse osmosis dengan menggabungkan sistem forward osmosis dan low pressure reverse osmosis. Forward osmosis digunakan sebagai tahap pre-treatment untuk mereduksi kecenderungan fouling yang terjadi rentan pada reverse osmosis

#### 8.4 Soal

1. Apa perbedaan Reverse osmosis dan forward osmosis?
2. Variabel apa yang digunakan pada proses forward osmosis
3. Mengapa forward osmosis cenderung digunakan sebagai pre treatment? Jelaskan.

#### Referensi

- [1]. Peter G, Nicoll. (2013). Forward Osmosis-A Brief Introduction. Dalam sebuah paper oleh The

International Desalination Association (IDA)  
World Congress on Desalination and Water  
Reuse [PDF]

[2]. Tjandra Setiadi. (2007). Diktat Kuliah Pengolahan  
dan Penyediaan Air. Bandung:ITB

[3]. Xie, M., Nghiem, L. D., Price, W. E. & Elimelech,  
M. (2013). A forward osmosis-membrane  
distillation hybrid process for direct sewer  
mining: system performance and limitations.  
Dalam Sebuah paper oleh University of  
Wollongong Research Online [PDF] (diunduh  
dari Selasa 18 Oktober 2016 pukul WIB)

<sup>1</sup>  
[4]. Chekli, Laura dkk (2015). A Comprehensive  
Review of Hybrid Forward Osmosis System:  
Performance, Application, and Future  
Prospects.

<sup>1</sup>  
[5]. Khoiruddin, Ariono, D., Subagjo, & Wenten, I.G  
Surface modification of ion-exchange  
membranes: Methods, characteristics, and  
performance. Journal of Applied Polymer  
Science. DOI: /app Wenten,

[6]. I. G., Dharmawijaya, P. T., Aryanti, P. T. P.,  
Mukti, R. R., & Khoiruddin (2017). LTA

- zeolite membranes: current progress and challenges in pervaporation. RSC Advances, 7(47),
- [7]. Wenten, I. G., Khoiruddin, K., Hakim, A. N., & Himma, N. F. (2017). The Bubble Gas Transport Method. Membrane Characterization,
- [8]. Seung, Min Park dkk. (2012). Optimization of hybrid system consisting of forward osmosis and reverse osmosis: a Monte Carlo simulation approach.
- [9]. Cath, Tzahi Y dkk. (2009). A Novel Hybrid Forward Osmosis Process for Drinking Water Augmentation using Impaired Water and Saline Water Sources. Dalam sebuah paper Water research foundation [pdf]
- [10]. P.W.Bohn,etal., Science and technology for water purification in the coming decades, Nature452(2008)
- [11]. M.Elimelech, W.A.Phillip, The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment, Science 333 (2011)

- [12]. Zhao, L. Zou, et al., Recent developments in forward osmosis: opportunities and challenges, *J. Membr. Sci.* 396 (2012)
- [13]. R. L. Mc Ginnis, M. Elimelech, Global challenges in energy and water supply: the promise of engineered osmosis, *Environ. Sci. Technol.* 42 (2008)
- [14]. Sianipar, M., Kim, S. H., Iskandar, F., & Wenten, I. G. (2017). Functionalized carbon nanotube (CNT) membrane: progress and challenges. *RSC Advances*, 7(81),
- [15]. Aryanti, P. T. P., Sianipar, M., Zunita, M., & Wenten, I. G. (2017). Modified membrane with antibacterial properties. *Membrane Water Treatment*, 8(5),
- [16]. Ariono, D., Purwasasmita, M., & Wenten, I. G. (2016). Brine Effluents: Characteristics, Environmental Impacts, and Their Handling. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 48(4),
- [17] Q. Ge, M. Ling, et al., Draw solutions for forward osmosis processes: developments, challenges, and prospects for the future, *J. Membr. Sci.* 442 (2013)

- [18]. S.K.Yen, M.Su, et al., Study of draw solutes using 2-methylimidazole based compounds in forward osmosis, *J. Membr. Sci.* 364 (2010)
- [19]. C.X.Guo, D.Zhao, et al., Nap functionalized carbon quantum dots: a new draw solute in forward osmosis for seawater desalination, *Chem. Commun.* 50 (2014)



## **BAB 9**

### **MEMBRAN BIOREAKTOR**

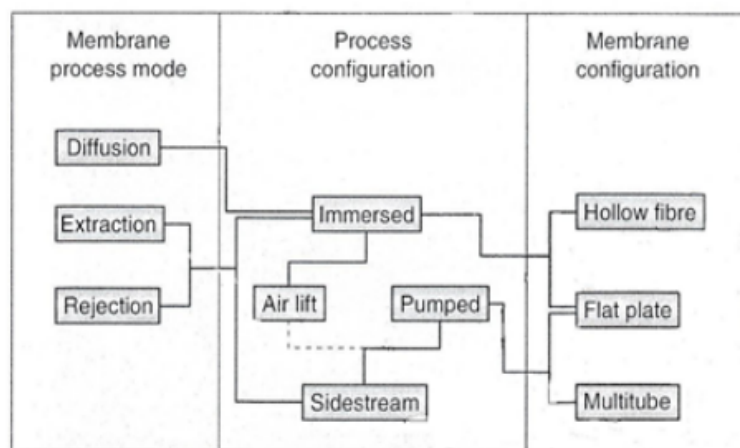
#### 9.1. Definisi Membrane Bioreactor (MBR)

Perkembangan yang relatif baru, penggunaan membran untuk perawatan biologis, menjanjikan untuk menjadi salah satu penggunaan membran yang paling penting dalam reklamasi air limbah. Bioreaktor membran (MBR) telah diterima sebagai teknologi pilihan dalam proses reklamasi air limbah. MBR menghasilkan efluen yang diklarifikasi dan secara substansial didesinfeksi secara efektif, karena ukuran pori efektif dapat berada di bawah 0,1  $\mu\text{m}$ . Selain itu, ia berkonsentrasi pada biomassa dan mengurangi ukuran tangki yang diperlukan dan juga meningkatkan efisiensi proses biotreatment. MBR cenderung juga menghasilkan air yang diolah dengan kemurnian yang lebih tinggi sehubungan dengan konstituen terlarut seperti bahan organik dan amonia, keduanya dihapus dengan biotreatment. Selain itu, dengan menghilangkan persyaratan untuk sedimentasi biomassa, laju aliran melalui MBR tidak dapat mempengaruhi kualitas air produk melalui pelapukan

padatan yang akan datang. Di sisi lain, guncangan hidrolis dan organik dapat berdampak buruk pada pengoperasian MBR.

### 9.2 Konfigurasi MBR dan teknologi komersial

Konfigurasi utama teknologi MBR terdiri dari tiga sisi, yaitu mode proses membran, konfigurasi proses, dan konfigurasi membran. Ada dua konfigurasi utama proses MBR seperti yang diilustrasikan pada Gambar 22.

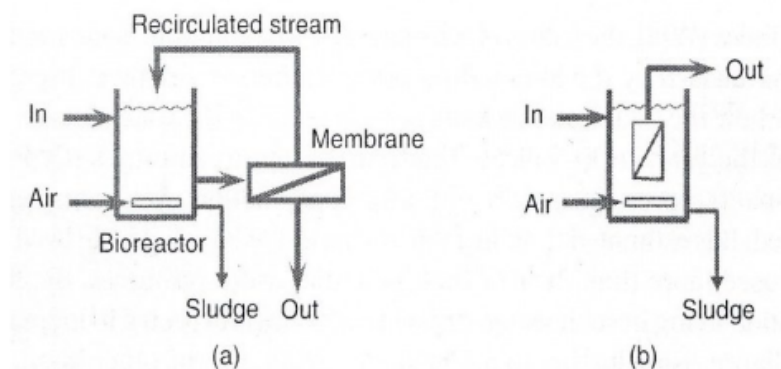


Gambar. 9.2 Konfigurasi MBR

Sistem membran ini semuanya didasarkan pada apa yang harus dikenal sebagai konfigurasi 'sidestream' (sMBR) (a), dibandingkan dengan yang sekarang lebih signifikan secara komersial 'tenggelam' konfigurasi (i-MBR) (b). i-MBR umumnya kurang energi-intensif

daripada s-MBR, karena menggunakan modul membran dalam aliran silang sidestream dipompa menimbulkan penalti energi karena tekanan tinggi dan aliran volumetrik yang dikenakan. Jalur aliran s-MBR harus selama mungkin untuk mencapai konversi yang wajar sebesar 40-50%. Dengan s-MBR, selalu ada trade-off antara memompa permintaan energi dan fluks. Selain itu, s-MBR juga memiliki kecenderungan fouling yang lebih tinggi daripada i-MBR karena operasi fluks yang lebih tinggi selalu menghasilkan permeabilitas yang lebih rendah karena fouling itu sendiri meningkat dengan meningkatnya fluks. Tetapi secara umum dimungkinkan untuk mengoperasikan s-MBR pada tingkat campuran cairan beku yang lebih tinggi (MLSS) daripada serat berongga i-MBR [37]. Ada juga dua mode operasi hidrolis: pompa dan airlift. Konfigurasi ini dan mode transfer cairan massal digunakan secara komersial dan disebut sebagai MBR penolakan biomassa konvensional. Namun, ada juga dua mode proses membran lainnya, yang bersifat ekstraktif (e-MBR) dan difusif (d-MBR), yang menggunakan membran untuk tujuan selain memisahkan biomassa dari air yang diolah.

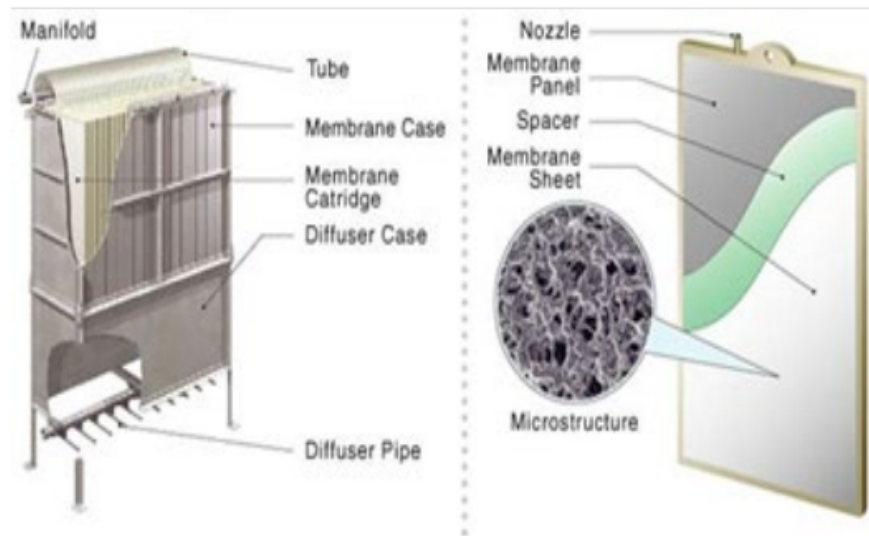
Saat ini, tersedia dan mengembangkan teknologi MBR komersial yang digunakan untuk pengolahan air limbah dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis konfigurasi membran, seperti lembaran datar (FS), serat berongga (HF), dan multitube (MT). Teknologi FS yang dibenamkan dikembangkan pada akhir 1980-an oleh Kubota Corporation, perusahaan rekayasa Jepang yang terdiversifikasi, seperti ditunjukkan pada Gambar.23 [38]. Kemudian dilanjutkan oleh Brightwater Engineering Ltd. dengan membran polyethersulphone (PES) yang dipasang pada dukungan polypropylene (PP) yang kaku. Jenis lain dari teknologi MBR telah berkembang sejak 2001 oleh Colloide Engineering System (CES) dengan sistem ular sub CES. Membran dibungkus, seperti ular, di sekitar rangka baja yang dibangun khusus yang terdiri dari sejumlah kutub vertikal kaku di setiap ujungnya untuk membuat modul FS ganda dengan pemisahan lembaran membran. Satu tabung dimasukkan ke dalam saluran permeate dari setiap elemen FS untuk ekstraksi permeat di bawah pengisapan ke dalam manifold umum.



Gambar 9.3. Konfigurasi MBR: (a) *side stream* dan (b) *immersed*

Selaput lainnya diproduksi oleh banyak industri seperti Toray Industry, seperti ditunjukkan pada Gambar 25; Zenon, saat ini adalah perusahaan teknologi proses MBR terbesar; Mitsubishi Rayon Engineering, merupakan pemasok MBR terbesar ketiga di seluruh dunia setelah Zenon dan Kubota; Memcor, sekarang bagian dari grup Siemens, adalah pemasok produk membran yang mapan sejak tahun 1982; Koch Membran-sistem-PURON dibentuk pada akhir tahun 2001 sebagai perusahaan dari Universitas Aachen dan kemudian diakuisisi oleh Koch Membrane Systems pada tahun 2004; Asahi Kasei Chemicals Corporation telah memproduksi membran dan modul HF UF / MF untuk berbagai aplikasi industri sejak tahun 1970-an;

Industri ITT; Teknologi Membrane Berghof; Norit X-Flow; Wehrle; Novasep group dan lainnya. Proporsi yang signifikan dari membran baru dan/atau produsen modul membran berasal dari Asia Tenggara, contoh Perusahaan Teknik Lingkungan Han-S di Korea; Ultraflo di Singapura dan Puri Envitech dan Motimo di Tiongkok. Akhirnya, layak disebutkan adalah MBR anaerobik yang paling awal didirikan secara komersial dengan modul PES UF. Dengan proses aerobik, permeate mempertahankan kualitas tinggi secara konsisten berkaitan dengan materi partikulat, bakteri dan virus. Proses ini mencapai beberapa keberhasilan teknis dan dilisensikan kepada Bioscan di Denmark pada pertengahan 1990-an; itu belum mencapai keberhasilan komersial dari mitra aerobik. Ini juga merupakan kasus bahwa sistem MBR anaerobik terus dieksplorasi dan dikembangkan.



Gambar 9.4 Kubota membran

### 9.3 Karakteristik Membran Bioreaktor

Parameter desain membran utama adalah parameter fisik dan kimia, seperti konfigurasi (geometri dan arah aliran), karakteristik permukaan (dilambangkan dengan ukuran dan bahan pori tetapi juga termasuk hal-hal seperti muatan permukaan, hidrofobik dan porositas, pori-pori, dan bentuk, dan kristalinitas), dan pemisahan antar-membran. Ukuran pori bahan MBR komersial cenderung berada di UF kasar untuk wilayah MF halus, karena pengalaman menunjukkan bahwa rentang ukuran pori ini menawarkan penolakan yang cukup dan kontrol pengotoran yang wajar dalam kondisi yang digunakan. [40] [41].

### 9.3.1 Parameter fisik ukuran pori

Efek ukuran pori pada membran fouling sangat terkait dengan karakteristik larutan umpan dan, khususnya, distribusi ukuran partikel. Porositas / kekasaran Kekasaran dan porositas membran diidentifikasi sebagai kemungkinan penyebab perbedaan perilaku fouling yang diamati. Penurunan diameter agregat nodular meningkatkan ukuran pori membran. Karena makromolekul cenderung melilit dan saling berhubungan satu sama lain, maka fusi agregat nodular akan meningkat. Ini tercermin dalam penurunan kekasaran pada permukaan membran luar. Schaefer dkk. diamati ketika empat membran MF dengan ukuran pori nominal antara 0,20 dan 0,22  $\mu\text{m}$  diuji secara paralel. Membran lintasan-jalur, dengan struktur padat dan pori-pori silinder kecil namun seragam, memberikan resistansi terendah terhadap fouling karena permukaannya yang tinggi adalah sifat keras kepala sedangkan tiga membran lainnya [42].

Seperti yang telah dibahas, konfigurasi proses imersed umumnya lebih disukai daripada konfigurasi sidestream yang dipompa untuk reklamasi air limbah.



Ini terutama berkaitan dengan dampak aerasi, yang menekan fouling melalui menghasilkan geser. Selaput iMBR lebih banyak dikonfigurasi baik sebagai hollow fiber (HF) atau flatsheet (FS) sedangkan sMBR adalah FS atau multitubular (MT). Sementara modul HF umumnya lebih murah untuk diproduksi, memungkinkan kepadatan membran yang tinggi dan mentolerir backflushing yang kuat, mereka juga lebih mudah dikontrol secara hidrodinamis daripada FS atau membran MT [43].

### 9.3.2 Parameter kimia

Interaksi hidrofobik terjadi antara zat terlarut, sel mikroba, dan bahan membran. Oleh karena itu, membran fouling diharapkan lebih parah dengan hidrofobik daripada membran hidrofilik. Dalam literatur, perubahan hidrofobisitas membran sering dikaitkan dengan modifikasi membran lain seperti ukuran pori dan morfologi, yang membuat korelasi antara hidrofobisitas membran dan fouling lebih sulit untuk dinilai. Dalam studi MBR baru-baru ini, misalnya, pengukuran sudut kontak menunjukkan bahwa hidrofobisitas yang jelas dari membran

polyethersulfone (PES) menurun dari 55 menjadi 47° dengan meningkatnya MWCO dari 20 hingga 70 kDa [44]. Ini juga telah disarankan oleh He et al. (2005) bahwa membran hidrofilitas yang lebih besar lebih rentan terhadap pengendapan foulants dari sifat hidrofilik, meskipun dalam penelitian ini membran yang paling hidrofilik juga yang paling berpori dan ini dapat meningkatkan fouling [44].

Karena fouling diperkirakan akan lebih parah pada hidrofobik yang lebih tinggi, upaya secara alami difokuskan pada peningkatan hidrofilitas membran oleh modifikasi permukaan kimia. Studi terbaru dari modifikasi membran MBR telah melaporkan bahwa hidrofilitas membran meningkat secara signifikan dengan penambahan TiO<sub>2</sub> dan membran baru menghasilkan kinerja filtrasi yang lebih baik dan pemulihan fluks dibandingkan dengan membran yang tidak dimodifikasi [45] [46] [47].

#### 9.4 Kontrol Fouling pada MBR

Pemahaman tentang fenomena dan mekanisme fouling mungkin mencerahkan, dan pengendalian fouling dan penyumbatan dalam praktek umumnya terbatas dalam

strategi yang telah dibahas dalam bab 3.5. Terutama dalam proses MBR, meningkatkan aerasi membran selalu meningkatkan fluks kritis hingga beberapa nilai ambang. Tetapi meningkatkan intensitas aerasi membran biasanya mahal. Penggunaan gelembung udara halus yang terdistribusi merata dari port 0,5 mm telah terbukti memberikan peningkatan yang lebih besar dan resistansi yang lebih rendah dibandingkan dengan aerator kasar yang memiliki port 2 mm pada tingkat aerasi yang sama [48]. Pengembangan komersial lain dari sistem aerasi yang efisien dan efektif untuk mengurangi permintaan aerasi spesifik telah dicapai oleh beberapa peneliti dengan sistem aerasi siklik dan aerasi jet [49]. Fane et al., (2008) melaporkan baru-baru ini pada studi eksperimental interaksi antara gelembung dan gerakan serat dalam membran HF terendam dan Bottino et al., (2009) melaporkan hubungan antara konsentrasi fluks kritis dan campuran minuman keras tersuspensi (MLSS) [50] [51]. Fluks kritis, serta ketahanan membran, tergantung tidak hanya pada porositas membran dan permeabilitas air murni, tetapi juga pada sifat kimia dari bahan membran. Interaksi yang kuat antara

membran hidrofobik PE dan pakan menyebabkan pembentukan kue dan fenomena fouling.

### 9.5 Desain dan Operasi Membran Bioreaktor

Tiga elemen utama dari MBR yang berkontribusi terhadap biaya operasi, mengabaikan penggantian membran, yaitu 1. memompa cairan; 2. pemeliharaan membran; 3. Aerasi. Desain MBR sidestream yang dipompa (s-MBR), pada prinsipnya, agak lebih lugas daripada i-MBR karena permeasi membran dilakukan oleh filtrasi crossflow tanpa udara [36] Dalam hal ini korelasi permeabilitas dan fluks dengan kecepatan aliran silang dapat menghitung permintaan energi untuk memompa  $W_h$ , berdasarkan persamaan 6.1

$$W_h = \sum \Delta P \quad 6.1$$

di mana  $\rho$  adalah densitas, g / l;  $\Theta$  adalah konversi yang dicapai oleh satu bagian cairan di sepanjang modul, l / m<sup>2</sup>;  $\xi$  adalah efisiensi energi yang memompa,%; dan  $\sum \Delta P$  mengacu pada jumlah semua kerugian tekanan individu yang untuk sistem sidestream, bar.

Faktor-faktor lain yang berdampak pada biaya operasi berhubungan dengan pembersihan membran fisik dan kimia, yang menyebabkan downtime proses, hilangnya

produk meresap dan penggantian membran. Persyaratan pembersihan fisik dan kimia tergantung terutama pada konfigurasi membran dan proses dan kualitas pakan. Sebagaimana diketahui, hubungan mendasar antara persyaratan pembersihan dan kondisi operasi, biasanya fluks dan aerasi untuk sistem membran terendam, telah dihasilkan dari studi tentang fouling. Unsur lain dari MBR yang berkontribusi terhadap biaya operasi adalah aerasi membran yang terdiri dari karakteristik aerasi (ukuran gelembung, laju aliran, dan daerah aerator), karakteristik biomassa massal (ukuran floc, viskositas, tingkat pemuatan MLSS), dan operasi membran (TMP, fluks). Membersihkan membran). Hubungan antar dikembangkan antara aerasi dan berbagai aspek sistem dan parameter dengan demikian kompleks, terutama mengingat bahwa, untuk iMBR, aerasi juga digunakan untuk menjelajahi membran.

Perhitungan Desain Rancangan lengkap untuk MBR terendam dapat ditentukan antara aerasi dan permeabilitas serta protokol pembersihan untuk komponen permeasi membran. Hubungan yang paling penting sehubungan dengan biaya operasi adalah yang

terkait dengan aerasi karena ini menyediakan komponen terbesar dari biaya operasi dan parameter biologis dan fisik yang digunakan untuk penentuan biaya operasi. Meskipun biaya membangun dan mengoperasikan MBR biasanya lebih tinggi daripada pengolahan air limbah konvensional, filter membran dapat dibersihkan dengan minyak atau terabrasi oleh pasir tersuspensi dan kurangnya fleksibilitas clarifier untuk melewati arus puncak. [36] Namun teknologi ini telah menjadi semakin populer untuk aliran limbah yang dapat direalisasikan sebelumnya dan telah mendapatkan penerimaan yang lebih luas di mana infiltrasi dan aliran masuk telah dikendalikan, namun, dan biaya siklus hidup telah terus menurun.

#### 9.6 Rangkuman

Pabrik MBR industri terbesar di Belgia (pada 2005) ditugaskan pada November 2004 dan dilengkapi dengan 16 modul PURON (diproduksi oleh Koch Membrane System-PURON). Situs di Solbegra terletak di Antwerp Harbor. Pabrik MBR memiliki kapasitas 2 MLD dan memperlakukan limbah dari operasi malting, di mana jelai dikonversi menjadi malt

untuk bir oleh proses enzimatik alami. Malting effluent sangat menantang, yang sangat tinggi dalam kandungan organik dan dengan rasio BOD / COD yang relatif rendah, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 13. Pabrik MBR dipilih sebagai hasil dari kapasitas pabrik yang diperpanjang dari 110 hingga 20 ktonne pra tahun, menjadikannya perusahaan malting independen terbesar di Belgia.

Tabel 9.7 Kualitas air (Solbegra plant<sup>[5]</sup>)

Parameter (mg/L)	Feed concentration (mg/L)	Effluent concentration (mg/L)
COD	1880-2100	100-200
BOD	700-930	2-5
TSS	330-460	0
TN	35-50	1-2
TP	13-15	<1

Proyek Eden di Cornwall, Inggris dirancang dan dibangun sebagai bagian dari program Millenimum Inggris pada tahun 2006. Proyek ini di Pusat Daur Ulang Sampah dan menerima aliran limbah cair dari

toilet dan toilet, limbah biokomposter, air hujan yang dipindahkan dari kumpulan situs laguna dan limpasan dari area senyawa daur ulang limbah. Pabrik MBR ini telah beroperasi sejak Maret 2004 dan menangani hingga 40 m<sup>3</sup> efluen per hari. Limbah cair memiliki COD yang bervariasi antara 120 dan 780 mg / L dan mengandung beberapa puing-puing padat yang disampaikan oleh gravitasi hingga 6 m<sup>3</sup> kapasitas tangki septik bawah tanah di mana beberapa pemukiman padat terjadi. MBR dikonfigurasi sebagai unit sidestream dan terdiri dari tangki bioreaktor silinder berkapasitas 4 m<sup>3</sup> yang dilengkapi dengan dua modul MT yang ditempatkan secara vertikal, yang masing-masing berdiameter 225 mm dan panjang 1,2 m, seperti ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 9.5 Instalasi MBR Eden



Pada hari ini, pabrik bioreaktor membran Singapura (MBR) akan dibangun oleh Hyflux Ltd. Pembangunan ini dijadwalkan dimulai pada 3 Maret 2010 dan 68.000 m<sup>3</sup> / hari akan dibangun di Jurong Water Reclamation. Ini akan menjadi pabrik bioreaktor membran terbesar di Singapura. Dengan kemajuan dalam teknologi membran, sekarang mungkin untuk bioreaktor membran untuk merebut kembali air yang digunakan dalam tangkapan industri seperti Jurong untuk keperluan industri. Dengan cara ini, ia juga mampu membebaskan sumber air lainnya untuk penggunaan yang bisa diminum [52].

#### 9.7 Soal

1. Apa saja yang menjadi parameter ukur pada MBR
2. Bagaimana meminimasi fouling pada operasi MBR
3. Sebutkan 2 contoh proyek besar yang menggunakan MBR

#### Referensi

[1] Aplikasi dari membran untuk keperluan pengolahan air limbah, available :

<http://cdmsmith.com/en/Insights/Viewpoints/Membrane-Technology-Advances-WastewaterTreatment-and-Water-Reuse.aspx>, diakses 10-04-2016.

[2] B. Van der Bruggen, C. Vandecasteele, T. Van Gestel, W. Doyen, R. Leysen. (2003). A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production. *Environmental progress*, 22(1), 46-56.

[3] Van der Bruggen, B., Verberk, J. Q. J. C., & Verhack, J. (2004). Comparison of pressuredriven membrane processes and traditional processes for drinking water production in Europe based on specific impact criteria. *Water Sa*, 30(3), 413-419.

[4] D.W. Hendricks, Hendricks, D. W. (2006). *Water treatment unit processes: physical and chemical*. CRC press (2006) 4-5.

[5] Glauco M.M.M. Lustosa, Natalia Jacomaci, João P.C. Costa, Gisane Gasparotto, Leinig A. Perazolli and Maria A. Zaghete, New Approaches to preparation of SnO<sub>2</sub>-Based Varistors – Chemical Synthesis, Dopants, and Microwave Sintering, interdisciplinary Laboratory of Electrochemistry and Ceramics (LIEC), Chemistry Institute–UNESP, Araraquara/SP, Brazil.

[6] H.K. Shon, S. Phuntsho, D.S. Chaudhary, S. Vigneswaran, J. Cho. (2013). Nanofiltration for water and wastewater treatment—a mini review. *Drinking Water Engineering and Science*, 6(1), 47-53.

## **BAB 10.**

### **KOMERSIALISASI MEMBRAN**

Komersialisasi membran saat ini dan analisis proyeksi pertumbuhan menunjukkan bahwa pasar membran mengalami percepatan pertumbuhan, dan pertumbuhan ini diperkirakan akan berkelanjutan selama dekade berikutnya. Pasar global meningkat dua kali lipat selama periode 5 tahun dari tahun 2000 untuk mencapai nilai pasar sebesar \$ 217 juta pada tahun 2005, ini dari nilai sekitar \$ 10 juta pada tahun 1995. Diperkirakan akan mencapai \$ 360 juta pada tahun 2010 [36]. Pasar-pasar ini mendorong kepercayaan yang tumbuh dalam kinerja teknologi membran dalam proses reklamasi air limbah. Teknologi membran saat ini menjadi berkembang pesat. Hal ini dibuktikan dengan makin meluasnya aplikasi membran khususnya di industri. Membran dipergunakan pada salah satu teknik pemisahan yang bertujuan untuk pemekatan, pemurnian, fraksionasi dan perantara reaksi [36]. Dalam aplikasinya, membran biasanya digunakan dalam bentuk modul-modul yang merupakan satuan unit terkecil dari proses membran. Konfigurasi seperti

yang telah dibicarakan pada bab sebelumnya, secara umum dapat dibedakan menjadi membran tubular dan membran datar. Dua modul membran yang paling umum dijumpai di pasaran adalah hollow fiber (kapiler) dan spiral wound. Bentuk modul lainnya adalah plate and frame, tubular, rotary module, vibrating module, dan modul vorteks Dean [36]. Modul ini masing-masing memiliki keunggulan diantaranya berdasarkan packing density, kemudahan pencucian, hilang tekan, volume hold-up dan kebutuhan sistem perlakuan awal (pre-treatment). Modul hollow fiber mempunyai packing density yang tertinggi dibanding jenis modul lainnya dan paling mudah dibersihkan. Selain itu karena luas areanya yang terbesar menyebabkan efisiensi pada proses menjadi lebih baik. Dari sisi biaya, membran tipe hollow fiber dan spiral wound memiliki harga yang kompetitif dibanding dengan modul lainnya. Sementara itu jika ditinjau dari sisi hilang tekan, modul tubular dan rotating-disc/silinder mempunyai hilang tekan paling rendah.

### 10.1 Aplikasi Industrial

Dari sisi operasionalnya, membran dapat dioperasikan secara dead-end (static filtration) ataupun cross-flow. Pada mode operasi dead-end, arah aliran umpan tegak lurus terhadap posisi membran, sehingga seluruh aliran umpan dipaksa melalui membran secara berkesinambungan/terus menerus dan tidak ada sirkulasi air di dalam modul membran. Produk yang dihasilkan berbentuk filtrat sementara itu zat pengotor akan berbentuk filter cake yang dikeluarkan sekali pada saat backwash. Untuk komersialisasi membran, model operasi dead-end ini memiliki kelemahan yaitu kecenderungan menghasilkan fouling yang sangat tinggi akibat terbentuknya lapisan cake di permukaan membran. Ketebalan cake ini akan terus bertambah terhadap waktu sehingga fluks akan turun secara bertahap seiring dengan waktu dan ketebalan fouling yang terjadi. Aliran model dead-end masih sering digunakan pada beberapa operasional di bidang medis dan pengelolaan air, khususnya pengolahan air dengan proses filtrasi. Model dead-end memberikan keuntungan yang semakin besar yang disebabkan biaya operasionalnya lebih rendah karena menggunakan lebih sedikit energi untuk pompa, namu

memberikan produk yang tinggi (high recovery). Dalam pabrik pengolahan air sistem dead-end biasanya digunakan pada membran bioreaktor dengan konfigurasi modul terendam (submerged membrane).

Aplikasi membran terus merambah ke berbagai industri antara lain industri logam, pengendalian polusi udara, pengayaan udara untuk pembakaran, industri makanan, bioteknologi (pemisahan, pemurnian, sterilisasi, perolehan produk samping), serta industri kulit dan tekstil. Penggunaan membran hollow fiber telah dilakukan tahun 2019 oleh Erna Yuliwati pada industri tekstil tradisional jumptan Palembang dengan memfiltrasi air limbah tekstil untuk digunakan kembali oleh pengrajin jumptan sehingga dapat meminimasi biaya penggunaan air [37]. Demikian juga pada industri pulp and paper, membran digunakan sebagai sistem pengemдали polusi dan limbah produk yang mengandung serat-serat dan bahan kimia yang digunakan. Industri lainnya yang menggunakan membran sebagai teknologi filtrasi adalah industri berbasis proses kimia (pemisahan materi organik, pemisahan gas, produk dan daur ulang bahan kimia), industri farmasi dan kesehatan (organ buatan, control

release, fraksinasi darah, sterilisasi dan pemurnian air), dan proses pengelolaan limbah cair dan gas. Potensi aplikasi membran di Indonesia termasuk *pengembangannya sudah teruji dan hingga saat ini masih terus dikembangkan pada industri crude palm oil (CPO) [38].*

#### 10.2 Potensi pasar industri membran

Beberapa tahun ini pengembangan membran baru dan aplikasinya cukup signifikan. Material baru baik organik maupun anorganik, struktur molekul dengan sifat pengikatan spesifik telah digunakan sebagai material penyusun membran. Pada proses pemisahan gas, khususnya oksigen/nitrogen dan metan/karbon dioksida telah digunakan polimer glassy dan material anorganik, seperti zeolit, titanium dioksida (termasuk golongan keramik), nanocarbon,, dimana membran yang dihasilkan akan memiliki selektivitas yang baik dan fluks yang tinggi. Pada proses pemisahan enansiomer, carrier facilitated membrane telah dibuat yang memiliki stabilitas yang lebih baik dan juga menghasilkan fluks yang lebih tinggi.



Modifikasi permukaan membran juga sudah dilakukan untuk memenuhi permintaan pasar. Hal ini antara lain meningkatkan afinitas membran untuk menghilangkan endotoksin dari darah. Perkembangan yang potensial lainnya dari teknologi membran adalah RO yang memiliki kinerja tinggi. Perusahaan Nitto Denko (Jepang) telah mengembangkan membran RO untuk desalinasi air laut dan menghasilkan membran RO yang mampu mengurangi kadar garam lebih dari 99,5% dan fluks sejumlah 3 kali lipat dari sebelumnya. Perusahaan tersebut membuat membran yang memiliki luas struktur permukaan 3 kali lebih besar.

Proses pembuatan membran juga telah mengalami kemajuan pesat dari tahun ke tahun. Saat ini sudah dibuat membran hollow fiber komposit dengan menambahkan aditif keramik pada polimer untuk mengubah struktur membran menjadi berpori lebih kecil, memiliki porositas tinggi. Membran hollow fiber dapat dibuat dalam satu tahap dengan menggunakan triple spinneret, dimana teknik ini akan membuat membran memiliki 2 struktur yang berbeda, yang terdiri dari dua polimer berbeda di dalam dan luar fiber. Keuntungan utama membran ini adalah fluks

lebih tinggi karena penetrasi pori yang biasa terjadi dalam pelapisan secara dip-coating dapat dihindarkan.

Pada umumnya membran anorganik dihasilkan dengan cara slip coating dan sintering, membran ini dianggap sebagai struktur membran masa kini dan telah banyak digunakan untuk proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Perkembangan terkini yang menarik adalah pembuatan membran zeolit, titanium dioksida yang memiliki sifat kristal yang unik seperti molecular sieving, penukar ion, adsorpsi selektif, dan katalisis. Membran jenis ini memiliki aplikasi yang luas seperti penggunaan untuk pemisahan gas dan uap, reaktor membran dan sensor kimia. Namun aplikasinya di industri masih cukup mahal sehingga terbatas karena bahan yang digunakan adalah logam. Beberapa penelitian terus berlanjut dengan menggunakan membran keramik nanoporous dengan struktur pori yang baik yang dibuat dengan templated-assisted, self-assembly method. Lebih lanjut sudah ada penelitian yang meningkat pada penghantar proton yang digunakan pada industri yang menggunakan temperatur tinggi seperti pada industri reaktor dan sel bahan bakar.

Tabel 10.1 Aplikasi industri yang dapat menggunakan teknologi membran

Industri	Teknologi membran yang digunakan	
Air minum	NF, UF, RO	
Air demin	RO, ED, EDI	
Pengolahan limbah cair		
	Pengolahan langsung (secara fisik)	MF, NF, RO, ED
	Pengolahan tidak langsung (bioreaktor)	MF, UF
Industri pangan		
	Susu	UF, RO, ED
	Daging	UF, RO
	Buah-buahan	RO
	Sayur-sayuran	RO
	Gula	MF, UF, NF, RO, ED
	Minuman Teh	MF, UF, NF
	Minuman (sari buah)	MF, UF, RO
Bioteknologi		
	Purifikasi enzim	UF
	Pemekatan kaldu	MF
	Reaktor membran	UF
	Kelautan	MF, UF
Medis		

	Control release	UF
	Hemodialisis	UF, RO
Industri Kimia		
	Pemisahan gas (hidrokarbon, CO <sub>2</sub> )	GS
	Pemisahan uap-cair	GS
	Proses klor-alkali	Elektrolisis membran
	Farmasi (obat-obatan)	UF, NF
Energi		
	Sel bahan bakar	Elektrolisis membran
	Sel elektrokimia	Elektrolisis membran
	Photo katalitik	Elektrolisis membran
Industri Pulp and Paper		
	Pengolahan limbah cair	MF, UF
	Pemisahan serat dan bahan kimia	MF, UF
Industri CPO		
	Pengolahan limbah cair	MF, UF
Industri tekstil		
	Pengolahan limbah tekstil (dye)	MF, UF

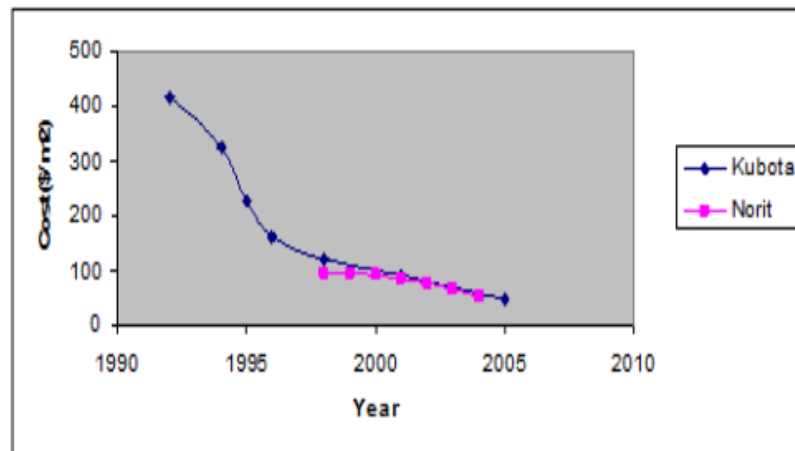
Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa proses membran dengan gaya dorong tekanan (MF, UF, NF, RO) mendominasi aplikasi industri membran dibandingkan dengan proses membran berbasis gaya dorong lainnya. Di Amerika Serikat dan Uni Eropa penggunaan teknologi membran sudah sangat terkenal dan biasa digunakan di industri, misalkan industri susu (dairy), keju dan juga di industri minuman. Aplikasi membran yang sangat banyak digunakan adalah untuk proses filtrasi air baik mkeperluan air minum maupun air untuk keperluan hidup bahkan air demineralisasi. Proses ini sudah dibuktikan bahwa teknologi membran mampu menghasilkan efluen yang memiliki kualitas yang tinggi.

Aplikasi lainnya yaitu sistem elektrodeionisasi (EDI), dimana merupakan proses deionisasi yang kontinyu tanpa bahan kimia yang memiliki prinsip dasar sama seperti mied-bed ion-exchange. Unit EDI yang komersial terdiri atas EDI untuk kebutuhan industri yang dipalिकासikan untuk menghasilkan air dengan kemurnian tinggi yang dibutuhkan industri farmasi, semikonduktor,

pembangkit energi dan optik, serta pemrosesan pati dan bioteknologi.

### 10.3 Analisis biaya investasi

Pilihan peralatan, proses, dan keahlian dalam teknologi membran yang semakin handal dan lebih besar tersedia secara komersial untuk berbagai aplikasi, mengurangi biaya unit hingga 30 kali lipat sejak tahun 1990. Sebagai studi kasus, biaya Kubota dan Norit F-flow membranes, sebagai ditunjukkan pada Gambar 5.1 tampaknya telah menurun secara eksponensial selama 10-15 tahun terakhir [36]. Pengurangan biaya di masa depan diperkirakan akan timbul dari perbaikan teknis yang berkelanjutan dan skala ekonomi yang berasal dari permintaan yang meningkat untuk produksi membran.



Gambar 10.1 Rincian biaya membran mikrofiltrasi (Kubota dan Norit X-Flow)

#### 10.4 Rangkuman

Pada umumnya membran anorganik dihasilkan dengan cara slip coating dan sintering, membran ini dianggap sebagai struktur membran masa kini dan telah banyak digunakan untuk proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Perkembangan terkini yang menarik adalah pembuatan membran zeolit, titanium dioksida yang memiliki sifat kristal yang unik seperti molecular sieving, penukar ion, adsorpsi selektif, dan katalisis. Membran jenis ini memiliki aplikasi yang luas seperti penggunaan untuk pemisahan gas dan uap, reaktor membran dan sensor kimia. Namun aplikasinya di

industri masih cukup mahal sehingga terbatas karena bahan yang digunakan adalah logam. Beberapa penelitian terus berlanjut dengan menggunakan membran keramik nanoporous dengan struktur pori yang baik yang dibuat dengan templated-assisted, self-assembling method. Lebih lanjut sudah ada penelitian yang meningkat pada penghantar proton yang digunakan pada industri yang menggunakan temperatur tinggi seperti pada industri reaktor dan sel bahan bakar.

#### 10.5 Soal

1. Bagaimana pendapat anda tentang analisis biaya membrane yang cenderung dianggap mahal?
2. Apakah yang menjadi variable utama dalam perhitungan biaya operasional teknologim membran

#### Referensi

- [1] J.G. Crespo, K.W. Böddeker, Membrane Preocesses in Separation and Purification, Springer Science & Business Media, 11 (2013) 242-244. 8



- [2] K.-V. Peinemann, S.P. Nunes, "Membrane Technology, Volume 4: Membranes for Water Treatment, John Wiley & Sons, (2020) 1-2, 15-16.
- [3] Michael E. Williams, Ph.D., P.E, A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology, Corporation and Williams Engineering Services Company, 2020.
- [4] [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com). Membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.  
<http://www.lenntech.com/microfiltration-andultrafiltration.htm>, diakses 10-04-2018.
- [5] [www.total-water.com](http://www.total-water.com). Membran mikrofiltrasi.  
<http://www.total-water.com/technologies/waterfiltration/microfiltration/>, diakses 10-04-2019.
- [6] [www.espwaterproducts.com](https://www.espwaterproducts.com). Membran Reverse Osmosis.  
<https://www.espwaterproducts.com/aboutreverse-osmosis/>, diakses 10-04-2021.

## **BAB 11**

### **PENUTUP**

Perancangan konsep teknologi pemisahan penekanannya adalah pada perilaku proses sebagai sebuah sistem. Sebuah keputusan terhadap proses pemisahan didasari atas dasar jenis fluida yang akan dipisahkan, perancangan alat pemisa dan kajian ekonomi teknologi yang digunakan yang tergambar pada seluruh mata rantai dari perancangan detil dan pengadaan peralatan. Bahkan jauh lebih tinggi biaya yang diperlukan kemudian dalam operasi untuk memperbaiki kesalahpahaman dalam desain dasar. Solusi terbaik adalah diidentifikasi sebagai salah satu yang optimal dalam konteks kendala dengan menggunakan evaluasi yang konsisten dan peringkat alternatif. Proses pemisahan dapat dibagi dua yaitu:

- (1) Proses-mengintensifkan peralatan;
- (2) Proses mengintensifkan metode pemisahan.

Teknologi pemisahan ini akan mengarah pada penurunan yang signifikan dalam ukuran peralatan dan biaya. Disiplin baru dalam teknik kimia dengan penekanan pada efisiensi penggunaan energi juga

dapat dialiasikan pada teknologi pemisahan ini sehingga dapat dilakukan suatu proses yang merujuk penghematan energi yang signifikan dengan menggunakan teknologi membran yang dapat menggantikan berbagai proses konvesional dengan kemampuannya yang berdasarkan pada kualitas membran yang digunakan.

## Nomenklatur

A - Membran luas permukaan, m<sup>2</sup>

C<sub>p</sub> - Konsentrasi permeat, g / m<sup>3</sup>

c<sub>j</sub> - Konsentrasi umpan, g / m<sup>3</sup>

F - Aliran air murni, m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>.h

J<sub>v</sub> - Permeat fluks, m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>.s

P - Penurunan tekanan melintasi modul, bar

P<sub>f</sub> - Tekanan masuk dari bar aliran umpan

P<sub>m</sub> - Perbedaan tekanan transmembran, bar

P<sub>p</sub> - Tekanan aliran permeate, bar

P<sub>r</sub> - Tekanan aliran retentate, bar

P<sub>tm</sub> - Trans membrane pressure gradient, bar

ΔP - Jumlah dari semua kerugian tekanan individu yang untuk sistem aliran sisi, bar

R - Penolakan,%

W<sub>h</sub> - Pemompaan energi,%

## Simbol Yunani

ρ - density

ξ - efisiensi

Θ - konversi dicapai oleh satu bagian cairan Subskrip

f - Umpan  
p - Permeate  
r - Retentate  
w – Air

# 7\_Andi\_off\_set\_2023\_Buku\_Ajar\_Bab1-11\_Lengkap.pdf

## ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

core.ac.uk

Internet Source

8%

2

eprints.undip.ac.id

Internet Source

4%

3

farmasi.unida.gontor.ac.id

Internet Source

3%

Exclude quotes On

Exclude matches < 3%

Exclude bibliography On