

1_Membran_untuk_Reklamasi _Air_Limbah.pdf

by Erna Yuliwati

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

Submission ID: 2115786264

File name: 1_Membran_untuk_Reklamasi_Air_Limbah.pdf (2.79M)

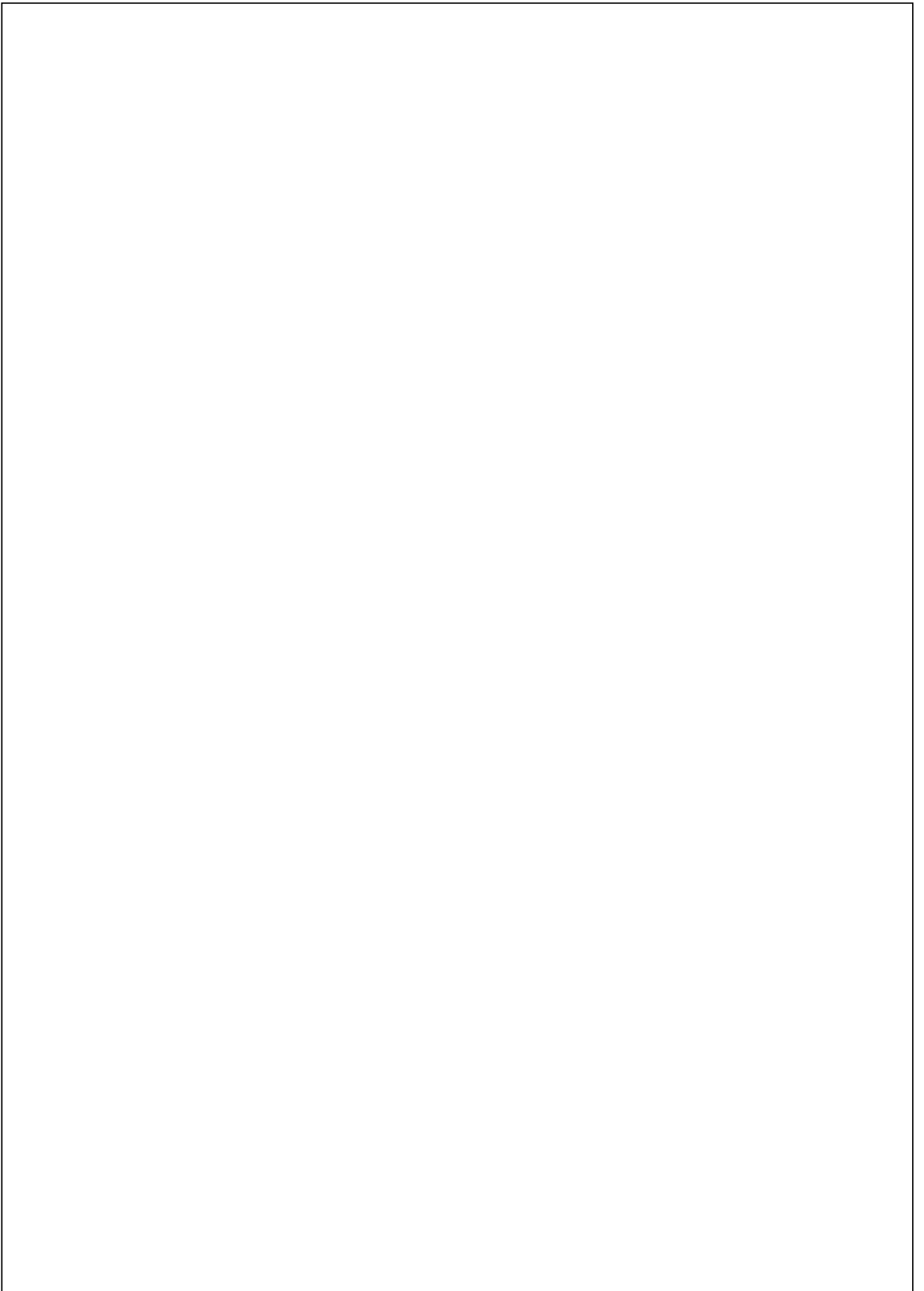
Word count: 17518

Character count: 108299

2
MEMBRAN
UNTUK
REKLAMASI AIR LIMBAH

Erna Yuliwati

Penerbit ANDI



Prakata

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat dan karunia-Nya atas selesainya pembuatan buku *Membran untuk Reklamasi Air Limbah*. Selawat 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, serta 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 serta menyelesaikan buku ini. Demikian juga untuk kawan-kawan dosen dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelesaian buku ini. Semoga amalnya diterima Allah sebagai amal jariah dan

buku ini dapat bermanfaat. Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan buku ini sehingga kritik dan saran untuk penyempurnaannya sangat diharapkan.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Palembang 15 Mei 2019

Penulis

Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D, IPM.

Daftar Isi

Prakata	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	ix
2	
BAB 1	
Pendahuluan	1
BAB 2	
Reklamasi Air Limbah	5
BAB 3	
Dasar Teknologi Membran dalam Reklamasi Air Limbah	37
BAB 4	
Masa Pakai Membran	63
BAB 5	
Komersialisasi Membran	65
BAB 6	
<i>Membrane Bioreactor (MBR)</i>	67

2

BAB 7

Reverse Osmosis (RO)

79

BAB 8

Kesimpulan

85

Daftar Pustaka

87

Glosarium

93

Nomenklatur

95

Tentang Penulis

97

Indeks

101

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Sejarah Aplikasi Teknologi Membran	3
Gambar 2.1	Tanki Sedimentasi di Thailand	6
Gambar 2.2	Karakteristik fisika air limbah.	10
Gambar 2.3	Karakteristik kualitas kimia air.	18
Gambar 2.4	Karakteristik kualitas biologi air.	22
Gambar 2.5	Unit proses reklamasi air limbah.	23
Gambar 2.6	Proses Aktivasi <i>Sludge</i> .	29
Gambar 2.7	Diagram alir padatan pada proses membran	30
Gambar 3.1	Hierarki proses pemisahan membran.	38
Gambar 3.2	(a-b) NF dan RO, partikel kecil ditolak oleh lapisan air yang teradsorpsi pada permukaan membran yang dikenal sebagai membran padat	41
Gambar 3.3	Membran <i>Reverse Osmosis</i> .	43
Gambar 3.4	Klasifikasi Proses Membran.	43
Gambar 3.5	Jenis konstruksi membran, yaitu (a) membran simetris mikropor, (b) membran simetris nonporus (padat), (c) membran asimetris, dan (d) film tipis komposit (TFC)/membran asimetris	47
Gambar 3.6	Membran tubular.	48
Gambar 3.7	Sketsa sistem membran bertekanan, yaitu (a) sistem membran <i>cross-flow</i> bertekanan, (b) <i>backwashing</i> sistem <i>cross-flow</i> bertekanan,	

	(c) aliran buntu bertekanan, dan (d) <i>backwashing</i> sistem aliran buntu bertekanan	50
Gambar 3.8	Sketsa performa sistem filtrasi membran	52
Gambar 3.9	Aliran membran (a) filtrasi <i>cross-flow</i> dan (b) filtrasi buntu	54
Gambar 3.10	Membran <i>fouling</i> versus waktu filtrasi	58
Gambar 3.11	Jenis <i>fouling</i> , yaitu (a) <i>pore narrowing</i> , (b) <i>pore plugging</i> , dan (c) <i>gel/cake formation caused by concentration polarization</i> .	60
Gambar 3.12	Pengaruh kecepatan <i>cross-flow</i> pada waktu panjang fluks	61
Gambar 5.1	Rincian biaya membran mikrofiltrasi (Kubota dan Norit X-Flow).	66
Gambar 6.1	Konfigurasi MBR.	68
Gambar 6.2	Konfigurasi MBR, yaitu (a) <i>side stream</i> dan (b) <i>immersed</i> .	70
Gambar 6.3	Kubota membran	71
Gambar 6.4	Instalasi MBR Eden	77
Gambar 7.1	Sketsa <i>Reverse Osmosis</i> .	80
Gambar 7.2	(a-b) Variasi sistem <i>reverse osmosis</i> dan sistem merlin RO air minum	81

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Manfaat dari Reklamasi Air Limbah dan Faktor-Faktor Pendorong Masa Depan	6
Tabel 2.2	Tingkatan reklamasi air limbah	9
Tabel 2.3	Evolusi reklamasi air limbah dan penggunaannya di dunia	11
Tabel 2.4	Persyaratan kualitas air limbah	14
Tabel 2.5	Pemurnian pada proses reklamasi air limbah	24
Tabel 2.6	Keuntungan dan Kerugian proses klorinasi	34
Tabel 2.7	Keuntungan dan kerugian sinar ultraviolet	35
Tabel 3.1	<i>General classification of membrane processes</i>	39
Tabel 3.2	Aplikasi Nanofiltrasi	42
Tabel 3.3	Material untuk membran polimer komersial	44
Tabel 3.4	Bahan penting dan karakteristik penyusun membran	45
Tabel 3.5	3enis Fouling	58
Tabel 4.1	Konsumsi energi dan nilai produksi berbagai sistem membran	64
Tabel 6.1	Kualitas air (Solbegra plant)	76
Tabel 7.1	Parameter operasional untuk sistem reverse osmosis	82

X Membran untuk Reklamasi Air Limbah



BAB 1

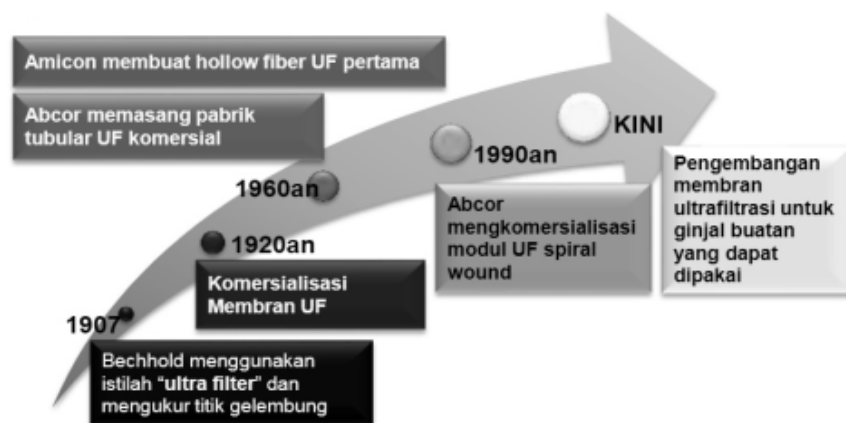
Pendahuluan

Kelayakan serta 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 makin kompleks di lingkungan, ekonomi, dan sosial. Untuk mengatasi dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi dari pengembangan sumber daya air serta 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 'kemanusiaan memiliki kemampuan untuk membuat pembangunan berkelanjutan untuk memastikan bahwa ia memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri'. 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, serta 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. Reklamasi air adalah proses ketika 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.

2 Membran untuk Reklamasi Air Limbah

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 makin 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 1.1, berkontribusi pada pengakuan yang makin meningkat sebagai teknologi andal untuk biaya produksi efluen berkualitas tinggi yang efektif biaya.



Gambar 1.1 Sejarah Aplikasi Teknologi Membran.

Jumlah penduduk yang tinggal di daerah yang tertekan air diperkirakan akan meningkat lebih dari 20% pada tahun 2025. 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.



BAB 2

Reklamasi Air Limbah

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, serta 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 sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan.



Gambar 2.1 Tanki Sedimentasi di Thailand.

2.1 Dasar-Dasar Reklamasi Air Limbah

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 2.1.

Tabel 2.1 Manfaat dari Reklamasi Air Limbah dan Faktor-Faktor Pendorong Masa Depan

Dasar pemikiran untuk reklamasi air limbah
a. Air limbah adalah sumber daya yang terbatas. Masyarakat makin tidak lagi memiliki kemewahan menggunakan air hanya sekali.
b. Mengakui bahwa daur ulang air sudah terjadi dan melakukannya lebih dan lebih baik.

- c. Kualitas air limbah reklamasi sesuai untuk banyak aplikasi yang tidak dapat diminum, seperti irigasi, pendingin industri, dan air pembersih sehingga memberikan sumber air tambahan yang dapat menghasilkan penggunaan air yang lebih efektif dan efisien.
- d. Untuk memenuhi tujuan keberlanjutan sumber daya air, perlu dipastikan bahwa air digunakan secara efisien.
- e. Reklamasi air dan penggunaan kembali memungkinkan penggunaan energi dan sumber daya yang lebih efisien dengan menyesuaikan persyaratan perawatan untuk melayani pengguna akhir air.
- f. Penggunaan kembali air memungkinkan perlindungan lingkungan dengan mengurangi volume limbah yang diolah yang dibuang ke perairan penerima.

Potensi manfaat reklamasi air limbah

- a. Konservasi pasokan air bersih.
- b. Pengelolaan nutrisi yang dapat menyebabkan degradasi lingkungan.
- c. Peningkatan perlindungan terhadap lingkungan perairan yang sensitif dengan mengurangi buangan limbah.
- e. Nutrisi dalam air reklamasi dapat mengimbangi kebutuhan pupuk tambahan sehingga menghemat sumber daya. Air reklamasi yang berasal dari limbah olahan mengandung nutrisi sehingga 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

- a. Kedekatan: Air reklamasi tersedia di sekitar lingkungan perkotaan yang sumber daya air sangat dibutuhkan dan harganya sangat mahal.
- b. Ketergantungan: Air yang direklamasi menyediakan sumber air yang dapat diandalkan, bahkan di tahun-tahun kemarau karena produksi air limbah perkotaan tetap hampir konstan.

c. 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.
d. 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.
e. Meningkatnya tekanan pada sumber daya air yang ada karena pertumbuhan populasi dan meningkatnya permintaan pertanian.
f. Kepentingan umum: Meningkatkan kesadaran akan dampak lingkungan yang terkait dengan penggunaan air secara berlebihan dan antusiasme masyarakat terhadap konsep reklamasi air.
g. 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.
h. 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.
i. 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.

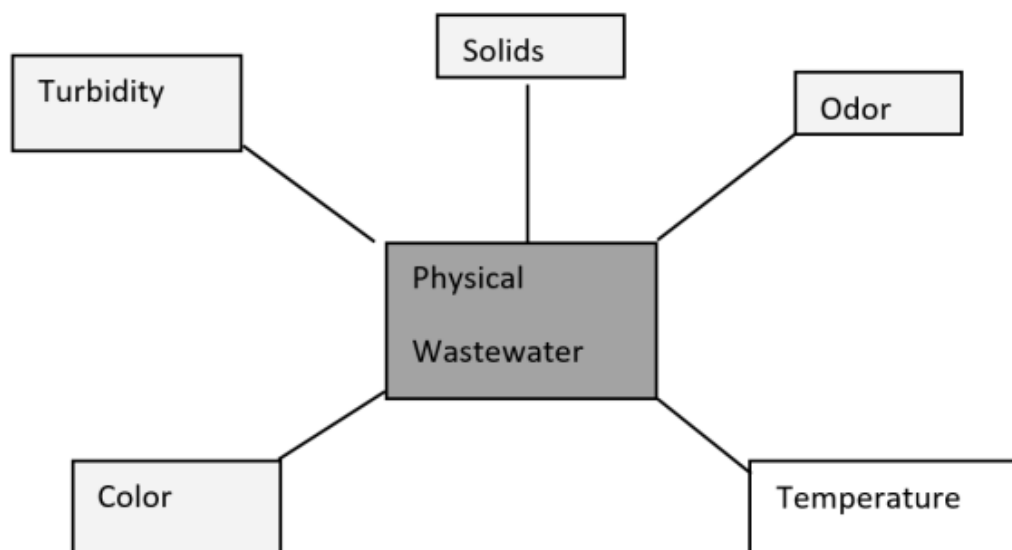
Metode reklamasi dengan penghilangan kontaminan dibawa oleh reaksi kimia atau biologis yang dikenal sebagai proses unit. Saat ini, unit operasi dan proses dikelompokkan bersama untuk menyediakan berbagai tingkat perawatan yang dikenal sebagai perawatan awal, primer, lanjutan primer, sekunder (tanpa atau dengan pemindahan hara), dan pengobatan lanjutan (atau tersier) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tingkatan reklamasi air limbah

Deskripsi tingkat perawatan	
Tingkat awal	Penghapusan awal konstituen air limbah, seperti kain, tongkat, <i>floatable</i> , <i>grit</i> , 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 atau operasi fisik, biasanya sedimentasi yang digunakan untuk menghapus mengambang dan menyelesaikan bahan yang ditemukan dalam air limbah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 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.

2.1.1 Evolusi Reklamasi Air Limbah

Indikasi penggunaan air limbah untuk irigasi pertanian membentang kembali sekitar 3000 tahun ke Peradaban Minoan di Kreta, Yunani. Di zaman modern, awal dari reklamasi air dapat dilacak sampai pertengahan abad ke-19 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 2.3.

Tabel 2.3 Evolusi reklamasi air limbah dan penggunaannya di dunia

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 lanskap 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 di 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 yang mengairi tanaman sayuran menggunakan air reklamasi dari Pabrik Pengolahan Air Limbah Bolivar (120.000 m ³ / 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.

2.1.2 Status Saat Ini

Hingga akhir 1980-an, pengobatan sekunder konvensional adalah metode perawatan yang paling umum untuk menghilangkan BOD dan TSS. 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, antara lain:

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; serta
8. perkuatan dan peningkatan instalasi pengolahan air limbah.

2.1.3 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.

2.1.4 Peraturan Air Limbah

Kondisi limbah yang dibuang ke badan air, tentu saja memengaruhi 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 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan kualitas air limbah

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

2.1.5 Masalah Kesehatan dan Lingkungan dalam Pengelolaan Air Limbah

Penelitian tentang karakteristik air limbah telah menjadi lebih luas serta sebagai teknik untuk menganalisis konstituen spesifik dan potensi efek kesehatan dan lingkungan mereka menjadi lebih komprehensif sehingga 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 serta kekhawatiran masyarakat tentang efek ini menjadi makin 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 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, sedangkan yang lain menyatakan keprihatinan bahwa teknik saat ini tidak memadai untuk mendeteksi semua kontaminan mikroba dan kimia yang penting bagi kesehatan.

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 tersier 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 respons berlebihan atau mereka dapat memblokir efek hormon pada tubuh. 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.

2.2 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.

1. 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.

a. Padatan dalam air limbah

Padatan dalam air limbah dapat tersuspensi atau dilarutkan dalam air serta 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.

b. 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, dan oksida logam dari tanah) yang disumbangkan oleh erosi atau oleh mikroorganisme dan bahan nabati.

c. Warna

Air murni tidak memiliki warna, tetapi zat asing sering dapat mewarnai air. Ini termasuk bahan organik dari tanah, vegetasi, mineral, serta organisme air atau limbah kota dan industri. Warna dapat menjadi masalah perawatan yang memberikan permintaan klorin dan mengurangi efektivitas disinfektan klorin. Warna air diklasifikasikan sebagai warna asli (dari padatan terlarut yang tersisa setelah materi yang

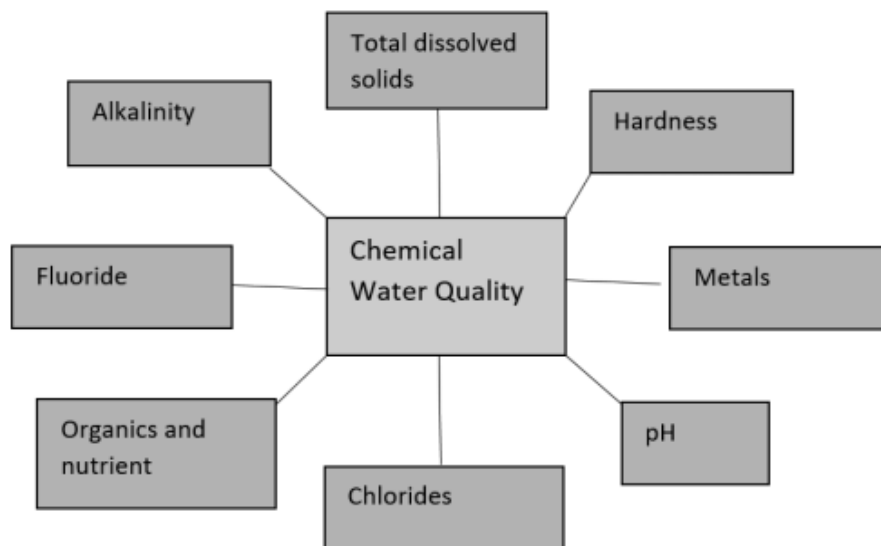
ditanggihkan dihapus) atau warna yang tampak (dari materi yang ditanggihkan). Warna sebenarnya adalah yang paling sulit untuk dihilangkan.

d. 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, garam dari tanah, konstituen air limbah, dan produk akhir reaksi biologi.

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

2. 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, serta klorida. Kemampuan air sebagai pelarut secara langsung berkaitan dengan parameter kimianya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Karakteristik kualitas kimia air.

a. 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 sserts 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 serta dari bahan kimia organik dan gas. Mineral, gas, dan konstituen organik terlarut ini dapat menyebabkan efek fisiologis serta masalah warna, rasa, dan bau.

b. 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.

c. *Hardness*

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

d. *Fluoride*

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. Fluoride adalah tambahan umum untuk air minum di banyak komunitas.

e. Logam

Logam dalam air yang berbahaya dalam jumlah yang relatif kecil diklasifikasikan sebagai beracun, sedangkan 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.

f. 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).

1) 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.

2) 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, serta dari bakteri tertentu dan ganggang biru-hijau yang langsung memperoleh nitrogen atmosfer.

g. pH

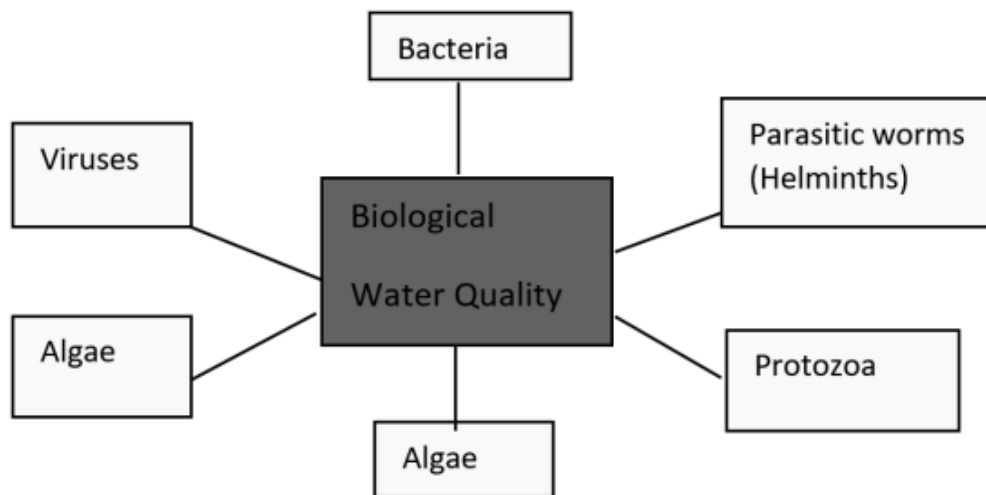
pH (konsentrasi ion hidrogen) menunjukkan intensitas keasaman atau alkalinitas dalam air serta memengaruhi reaksi biologi dan kimia. Keseimbangan kimia air (hubungan kesetimbangan) sangat dipengaruhi oleh pH.

h. 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.

3. 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 2.4.



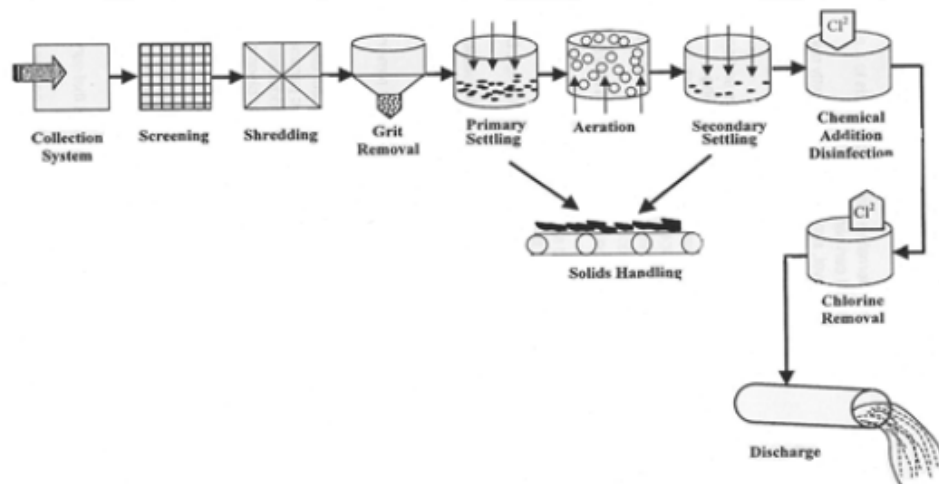
Gambar 2.4 Karakteristik kualitas biologi air.

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.

2.3 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 makin 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 2.5 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 2.5. Setelah berada di fasilitas pengolahan, di instalasi pengolahan primer, proses fisik (*screening* dan sedimentasi) menghapus sebagian dari polutan yang

mengendap atau mengambang. Polutan yang terlalu besar untuk melewati perangkat *screening* sederhana juga dihapus, diikuti oleh desinfeksi. Perawatan primer biasanya menghilangkan sekitar 35% dari BOD dan 60% dari padatan tersuspensi.

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 2.5 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 ₅ .
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 ₅ , 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 ₅ 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.

2.3.1 ⁷ 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 dapat naik ke permukaan dan dilepas. Tujuan utama dari tahap sedimentasi utama adalah untuk menghasilkan kedua cairan yang umumnya homogen sehingga mampu diperlakukan secara biologis dan lumpur yang dapat secara terpisah dirawat atau diproses. Tiga jenis sistem pembuangan limbah air limbah pada umumnya digunakan untuk 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 dapat sering dihaluskan, tidak ditangani, dan 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.

1. 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.

2. *Shredding*

Shredding mendekati masalah yang dihasilkan oleh padatan besar berbeda dari pada *screening*. *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.

3. 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.

4. 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, serta meningkatkan pemisahan padatan dan mengendap dengan mengaduk zat padat untuk melepaskan gas yang terperangkap. Preaerasi juga mengurangi BOD_5 selama 45 hingga 60 menit. Tangki aerasi atau blower saluran mengirim udara melalui

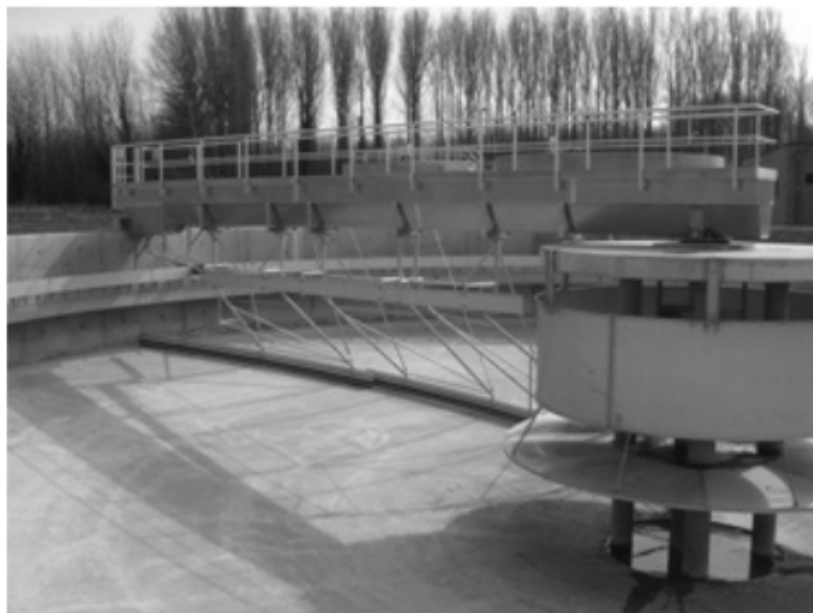
diffusers pada bagian bawah tangki. Gelembung udara membawa gas yang terperangkap dan hidrogen sulfida saat mereka melakukan perjalanan ke permukaan sampah.

5. Penambahan Bahan Kimia

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

2.3.2 Perawatan Sekunder

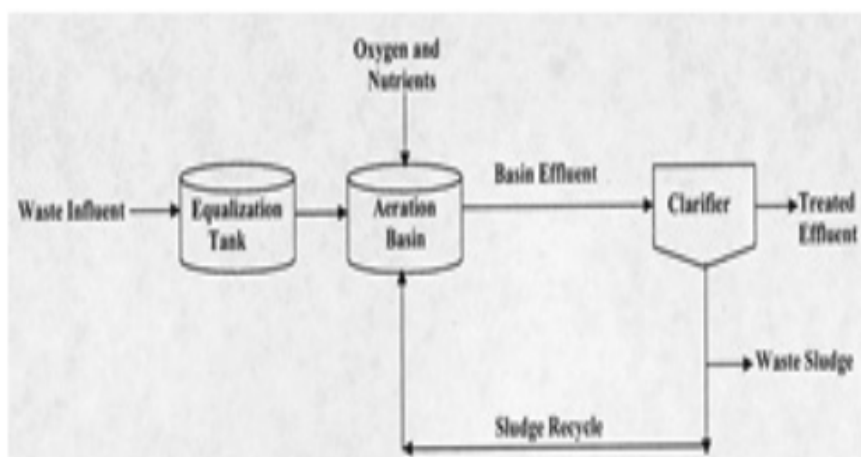
Fungsi melakukan perawatan sekunder sangat penting untuk keseluruhan proses perawatan. Perawatan sekunder segera mengikuti pengobatan biologis dan diperlukan sebelum proses pengobatan lanjutan dapat terjadi. Sedimentasi juga harus terjadi sebelum disinfeksi sebelum pembuangan efluen ke badan air penerima, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Proses Aktivasi *Sludge*.

Tangki sedimentasi sekunder (atau *secondary clarifier*) menyediakan lingkungan ketika pemisahan melalui pengendapan gravitasi dapat terjadi. Sistem perawatan sekunder diklasifikasikan sebagai *fixed-film* atau sistem pertumbuhan yang ditanggihkan. *Fixed-film* atau sistem pertumbuhan terlampir termasuk filter *trickling* dan rotasi kontak biologis ketika 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 serta dapat memberikan tingkat penghapusan yang lebih tinggi untuk bahan organik dan padatan tersuspensi daripada sistem pertumbuhan tersuspensi.

Proses lumpur aktif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, 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 2.7 Diagram alir padatan pada proses membran

Faktor-faktor yang memengaruhi 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).

7 3.3 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, dan lain-lain). 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 yang dirancang untuk 'memoles' efluen akhir dengan membuang BOD dan TSS, padatan tersuspensi tambahan, dan 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.

1. 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 mekar 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), tempat 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). 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.

2. Pelepasan fosfor

Pemindahan fosfor biasanya melibatkan bahan kimia (misalnya tawas, besi klorida, atau kapur) ditambahkan ke air limbah di beberapa titik dalam proses konvensional serta 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.

3. 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 klorin 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.

4. Klorinasi

Desinfeksi klorin memiliki kelebihan dalam biaya, ketergantungan, dan prediktabilitas kinerja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6. 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 hidrogen.

Tabel 2.6 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.

5. 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. Untuk mematuhi peraturan-peraturan ini dan untuk melindungi kehidupan akuatik, kadang-kadang pengosongan 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 bereaksi cepat dengan klorin dan mengubahnya menjadi bentuk yang kurang berbahaya.

6. 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 2.7.

Tabel 2.7 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.

6

Use in hospitals, biological testing facilities, and many other similar locations for sterilization means that effectiveness is well tested.

6

Extremely hazardous to the eyes, requires proper eye protection.

7. Ozonisasi

Ozonisasi memberikan beberapa keunggulan dibandingkan klorinasi. Ozon merupakan gas pengoksidasi yang kuat karena 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.

8. 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.



BAB 3

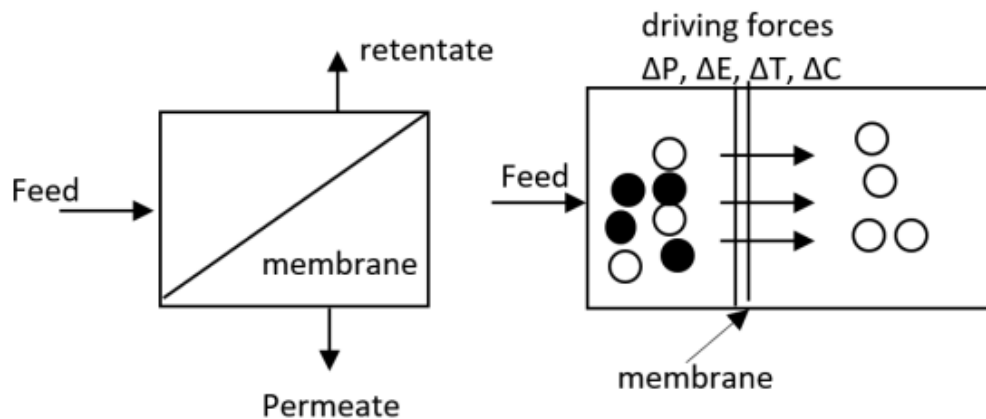
Dasar Teknologi Membran dalam Reklamasi Air Limbah

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. Teknologi membran memiliki potensi hasil yang luar biasa dari kemampuan universal dan biaya kompetitif. Membran juga telah mendapatkan tempat yang penting dalam proses reklamasi air limbah dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Meskipun teknologi membran menjadi tersedia secara komersial lebih dari 30 tahun yang lalu, ia mengalami perkembangan dan peningkatan yang cepat. Membran sering diabaikan di masa lalu yang mendukung tanaman biotreatment konvensional. 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 makin meningkat sebagai

teknologi andal untuk biaya produksi efluen berkualitas tinggi yang efektif biaya.

3.1 Definisi Membran dan Terminologi

Proses definisi umum membran bisa menjadi penghalang selektif yang memisahkan dua fase dan membatasi pengangkutan berbagai spesies kimia dengan cara yang agak spesifik. Hierarki proses pemisahan membran diilustrasikan pada Gambar 3.1. Dari Loeb dan Sourirajan (1962), terobosan komersial dari polimer sintetik dan membran asimetris di pertengahan abad terakhir adalah pengembangan paling nyata dari *ultra thin reverse osmosis* dan *membrant permeate* tinggi. Aliran yang melewati membran disebut permeasi, sedangkan material yang ditolak disebut sebagai retentate. Fluks, tingkat ketika menembus mengalir melalui membran dan dinyatakan sebagai $L / m^2.d$ atau $kg / m^2.s$, adalah ukuran utama kinerja membran.



Gambar 3.1 Hierarki proses pemisahan membran

3.2 Klasifikasi Proses Membran

Proses membran dapat diklasifikasikan sebagai sifat kekuatan pendorong untuk pemisahan; mekanisme pemisahan; ukuran pori membran; ukuran nominal pemisahan yang dicapai; dan jenis material dari mana membran dibuat. Berdasarkan klasifikasi ini, empat jenis membran yang digerakkan oleh tekanan saat ini digunakan dalam pengolahan air limbah, seperti mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), dan *reverse osmosis* (RO) yang memainkan peran yang makin meningkat sebagai unit operasi untuk sistem pemisahan. Klasifikasi umum dari proses membran termasuk rentang operasi khas ditunjukkan pada Tabel 3.1. Fokus dari diskusi berikut ini adalah pada proses membran tekanan-driven.

Tabel 3.1 *General classification of membrane processes*

Membrane processes	Membrane driving force	Typical separation mechanism	Typical pore size, nm	Typical operating range, μm	Permeate description	Typical constituents removed	Materials
Microfiltration	Hydrostatic pressure difference or vacuum in open vessels.	Sieve	Macropores (>50)	0.008–2.0	Water + dissolved solutes	TSS, turbidity, protozoan oocysts, some bacteria and viruses.	Polyacrylonitrile, ceramic (various materials), polypropylene, polysulfone. Polytetrafluoroethylene (PVDF), nylon, teflon.
Ultrafiltration	Hydrostatic pressure difference or vacuum in open vessels.	Sieve	Mesopores (2-50)	0.005-0.2	Water + small molecules	Macro-molecules, colloids, most bacteria, some viruses, protein.	Aromatic polyamide, ceramic (various materials), cellulose acetate, polypropylene, polysulfone, polyvinylidene fluoride (PVDF), Teflon.

Nanofiltration	Hydrostatic pressure difference.	Sieve+ solution/ diffusion+ exclusion	Micropores (<2)	0.001-0.01	Water + very small molecules, ionic solutes	Small molecules, some hazardous, viruses.	Cellulosic, aromatic polyamide, polysulfone, polyvinylidene fluoride(PVDF), thin film composite.
Reverse osmosis	Hydrostatic pressure difference.	solution/ diffusion+ exclusion.	Dense (<2)	0.0001-0.001	Water + very small molecules, ionic solutes	Very small molecules, color, hazardous, sulfate, nitrit, sodium, other ions.	Cellulosic, aromatic polyamide, thin film composite.
Dialysis	Concentration difference.	Diffusion	Mesopores (2-50)	-	Water + small molecules	Macro molecules, colloid, most bacteria, some viruses, protrein.	Ion exchange resin cast as a sheet.
Electrodialysis	Electromotive force.	Ion exchange	-	-	Water + ionic solutes	Ionized salt ions.	Ion exchange resin cast as a sheet.

9. Kekuatan Mengemudi

Transpor melalui membran terjadi ketika gaya mengemudi diterapkan pada komponen dalam umpan. Dalam kebanyakan proses membran, proses mengemudi adalah perbedaan tekanan atau perbedaan konsentrasi. Gaya penggerak lain dalam pemisahan membran adalah perbedaan suhu dan potensial listrik. Gaya pendorong terakhir hanya memengaruhi pengangkutan partikel atau molekul bermuatan. Proses membran yang digerakkan oleh tekanan dapat digunakan untuk memusatkan atau memurnikan larutan encer. Proses yang memanfaatkan perbedaan konsentrasi sebagai kekuatan pendorong dapat memungkinkan pengangkutan zat melalui proses difusi dari potensi kimia tinggi hingga rendah. Dalam banyak kasus, tingkat permeasi melalui membran sebanding dengan kekuatan pendorong, yaitu

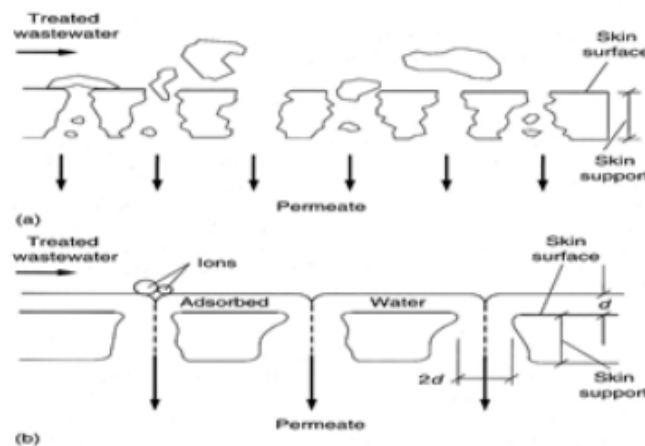
hubungan kekuatan fluks dapat dinyatakan dengan persamaan linear fenomenologis yang diberikan oleh:

$$Jh = -A \cdot X \frac{dX}{dx} \quad (3.1)$$

dengan Jh adalah fluks, A adalah koefisien fenomenologis, dan (dX/dx) adalah gaya penggerak yang dinyatakan sebagai gradien X (suhu, tekanan, konsentrasi) sepanjang koordinat tegak lurus terhadap penghalang transpor.

Dalam beberapa kasus, aliran massa terjadi bersamaan dengan perpindahan panas, sebuah proses yang disebut *thermo-osmosis* atau *thermal-diffusion*. Transisi fase tidak terjadi dalam proses ini. Karakteristik yang membedakan dari empat proses membran pertama yang dipertimbangkan dalam Tabel 3.1 (MF, UF, NF, dan RO) adalah penerapan tekanan hidrolik untuk menghasilkan pemisahan yang diinginkan.

10. Mekanisme Pemisahan partikel dilakukan dengan pengayakan dan teradsorpsi pada permukaan membran. MF dan UF dicapai terutama oleh straining (pengayakan), seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.2 (a-b) NF dan RO, partikel kecil ditolak oleh lapisan air yang teradsorpsi pada permukaan membran yang dikenal sebagai membran padat.

Spesies ionik diangkut melintasi membran melalui difusi melalui pori-pori makromolekul yang terdiri dari membran. Biasanya NF dapat digunakan untuk menolak konstituen sekecil 1 nm, sedangkan RO dapat menolak partikel sekecil 0,1 nm. Saring juga penting dalam membran NF, terutama pada bukaan ukuran pori yang lebih besar. Aplikasi nanofiltrasi yang dikembangkan dalam teknologi membran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.2 Aplikasi Nanofiltrasi

Aplikasi	Permeat	Konsentrat (retentat)	Manfaat NF
Whey / Permeat Whey	Air limbah asin	Konsentrat whey bebas garam	Memungkinkan recovery laktosa dan konsentrat whey protein dengan kadar garam yang lebih rendah
Tekstil	Pewarna	Air, garam, BOD, COD dan warna	NF digunakan untuk penyisihan garam untuk mendapat produk yang bernilai lebih tinggi
Larutan pembersih kaustik	Larutan pembersih kaustik	BOD, COD, padatan tersuspensi, pembersih kaustik	Memungkinkan daur ulang larutan kaustik sehingga mengurangi biaya bahan kimia
Daur ulang larutan asam	Larutan asam	BOD, COD, Kalsium, padatan tersuspensi, air asam	Memungkinkan daur ulang larutan asam sehingga mengurangi biaya bahan kimia
Air	Softened water	Air sadah	Produksi air minum. Softened water mengurangi scaling pada peralatan dan permukaan penukar panas
Antibiotik	Limbah asin	Konsentrat antibiotik bebas garam	NF memproduksi produk farmasi bernilai tinggi

11. Ukuran Pemisahan

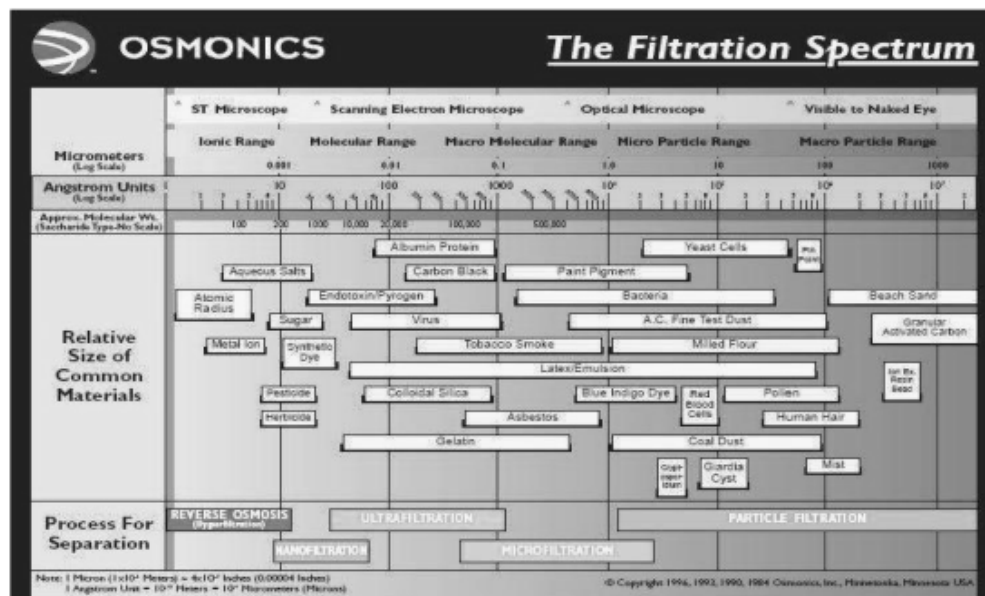
Ukuran pori dalam membran diidentifikasi sebagai makropori (> 50 nm), mesopori (2 hingga 50 nm), dan mikropori (<2 nm). Ukuran pori dalam membran RO sangat kecil sehingga membran didefinisikan sebagai padat.

Tipe Pemisahan	Contoh
Pengolahan air	Desalinasi air laut Pre - treatment dari boiler water, Water softening dan daur ulang air proses
Pemekatan	Pemekatan jus buah, air dari pemrosesan ikan, Recovery susu dan pemekatan sirup Maple
Fraksionasi	Klarifikasi jus buah, recovery rasa, bau, dsb. Penghilangan alkohol dari wine
Recovery produk dan bahan kimia	Recovery gula dan asam dari air bilasan dari fruit cocktail dicer. Regenerasi dari larutan pembersih dan sanitizer



Gambar 3.3 Membran *Reverse Osmosis*.

Klasifikasi proses membran berdasarkan ukuran pemisahan dan spektra filtrasi ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Klasifikasi Proses Membran.

Ada banyak tumpang tindih dalam ukuran partikel yang dibuang, terutama antara NF dan RO. Nanofiltrasi paling sering digunakan dalam operasi pelunakan air di tempat pengendapan kimia.

12. Membran Bahan

Membran yang digunakan untuk reklamasi air limbah biasanya adalah polimer, meskipun beberapa membran keramik telah digunakan. Pilihan bahan membran dan konfigurasi sistem didasarkan pada meminimalkan penyumbatan membran dan kerusakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3. Umumnya, berbagai teknik dapat digunakan untuk mempersiapkan membran dari bahan polimer, seperti *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching*, *phase inversion*, dan *coating*.

Tabel 3.3 Material untuk membran polimer komersial

Material	Processes
Cellulose nitrate (CN)	MF
Cellulose triacetate (CTA)	RO, NF
Cellulose acetate (CA)	MF, UF, RO
Polysulphone (PSF)	MF, UF, NF
Polyethersulphone (PES)	MF, UF
Polyimide (PI)	MF, UF, RO
Polyamide	MF, UF, RO, NF
Polybenzimidazole (PBI)	RO
Polyvinylalcohol (PVA)	MF, UF
Polyacrylonitrile (PAN)	UF
Polypropylene (PP)	MF
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	MF
Polyvinylidene fluoride (PVDF)	MF, UF, NF
Polyetheretherketone (PEEK)	MF, UF, NF
Polycarbonate (PC)	MF

Secara umum, kinerja membran sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia material. Bahan membran yang ideal adalah yang dapat menghasilkan fluks tinggi tanpa menyumbat atau *fouling* serta secara fisik tahan lama, stabil secara kimia, tidak mudah terurai, tahan kimia, dan tidak mahal. Karakteristik penting dari bahan membran, penentuan metode, dan efek kinerja membran dijelaskan pada Tabel 3.4.

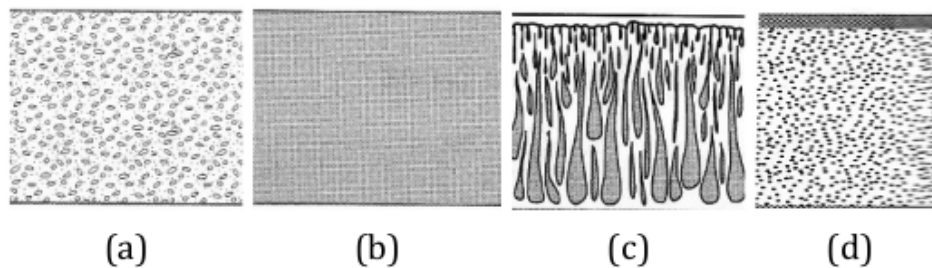
Tabel 3.4 Bahan penting dan karakteristik penyusun membran

Property	Method of Determination	Impact on Membrane Performance
Retention rating	Bubble point (MF), challenges test (MF/UF)	5 Controls the size of material retained by the membrane, making it one of the most significant parameters in membrane filtration. Also affects head loss.
Hydrophobicity	Contact angle	Reflects the interfacial tension between water and the membrane material. Hydrophobic materials dislike water. Constituent in water that is sparingly soluble, nonpolar, or hydrophobic will accumulate at the liquid-solid interface to minimize the interfacial tension between water and membrane.
8 Surface or pore charge	Streaming potential	Reflects the electrostatic charge at the membrane surface. Repulsive forces will develop between negatively charge species in solution and negatively charged membrane surfaces. These repulsive forces can reduce the amount of <i>fouling</i> that occurs by minimizing contact between the membrane and <i>fouling</i> species. In UF, electrostatic repulsion can reduce the passage of like-charged solutes.
Surface roughness	Atomic force microscopy (AFM)	Affects membrane <i>fouling</i> ; some studies have shown rough materials will foul more than smooth materials.

Porosity (surface and bulk)	Thickness/weight measurements	Affects the head loss through the membrane; higher porosity results in lower head loss.
Thickness	Thickness gauge, electron microscopy	Affects the head loss through the membrane; thinner membranes have lower head loss.
Surface chemistry	ATR/FTIR, SIMS, XPS	Affects <i>fouling</i> and cleaning by influencing chemical interactions between the membrane surfaces and constituents in the feed water.
Chemical and thermal stability	Exposure to chemicals and temperature extremes	Affects the longevity of the membrane; greater chemical and temperature tolerance allows more aggressive cleaning regimes with less degradation of the material.
Biological stability	Exposure to organisms	Affects the longevity of the membrane; low biological stability can result in the colonization and physical degradation of the membrane material by microorganisms.
Chlorine/oxidant tolerance	Exposure to chlorine/oxidants	Affect the ability to disinfect the membrane equipment. Routine disinfection prevents microbial growth on the permeate side of the membrane surfaces and prevents biological degradation of membrane materials (increasing the longevity of the membrane).
Mechanical durability	Mechanical tests	Affects the ability of the material to withstand surges due to operation of valves and pumps.
Internal physical structure/porosity	Electron microscopy (SEM/FESEM)	Affects the hydrodynamics of flow and particle capture.
Cost	Material cost	Affects the cost of the membrane system.

Klasifikasi polimer yang terkait dengan aplikasi membran akan dipertimbangkan karena proses yang berbeda. Membran yang digunakan untuk pengobatan reklamasi air limbah biasanya terdiri dari kulit tipis yang memiliki ketebalan sekitar 0,20 hingga 0,25 μm yang didukung oleh struktur yang lebih berpori dengan

ketebalan sekitar 100 μm . Kebanyakan membran komersial diproduksi sebagai lembaran datar, serat berongga halus, atau dalam bentuk tubular. Secara umum, tiga jenis membran diproduksi, seperti simetris, asimetris, dan komposit film tipis (TFC) yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Jenis konstruksi membran, yaitu (a) membran simetris mikropor, (b) membran simetris nonporus (padat), (c) membran asimetris, dan (d) film tipis komposit (TFC)/membran asimetris.

Selaput simetris dapat bervariasi dari mikroporus ke tidak keropos (disebut padat). Membran asimetris dilemparkan dalam satu proses dan terdiri dari lapisan yang sangat tipis (kurang dari 1 μm) dan lapisan berpori yang lebih tebal (hingga 100 μm) yang menambahkan dukungan dan mampu fluks air yang tinggi. Film tipis komposit (TFC) membran yang dibuat oleh ikatan selulosa asetat tipis, poliamida, atau lapisan aktif lainnya (biasanya 0,15-0,25 μm tebal) pada substrat berpori lebih tebal yang menyediakan stabilitas.

3.3 Konfigurasi Membran

Di bidang membran, modul istilah digunakan untuk menggambarkan unit lengkap yang terdiri dari membran; struktur pendukung tekanan untuk membran; inlet umpan; outlet merembes, port retentat; serta struktur dukungan keseluruhan. Jenis utama modul membran yang

digunakan untuk reklamasi air limbah adalah tubular, serat berongga, dan luka spiral. Pelat dan bingkai dan filter *cartridge* lipit juga tersedia, tetapi juga digunakan lebih umum dalam aplikasi industri. Salah satu contoh konfigurasi tubular membran diilustrasikan pada Gambar 3.6.



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

Gambar 3.6 Membran tubular.

1. Modul tubular

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 dan dicapai dengan mensirkulasikan bahan kimia serta memompa '*foamball*' atau '*spongeball*' melalui tabung untuk menyeka membran secara mekanis.

2. Serat berongga

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).

3. Luka spiral

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.

4. Piring dan bingkai

Pelat dan modul membran bingkai terdiri dari serangkaian lembaran membran datar dan pelat pendukung. Air limbah yang akan diolah melewati antara membran dari dua rakitan membran yang berdekatan. Piring mendukung membran dan menyediakan saluran untuk menyerap mengalir keluar unit.

5. *Cartridge* lipit

Filter *cartridge* lipit paling sering digunakan dalam aplikasi MF dan biasanya dirancang sebagai unit sekali pakai. Filter *cartridge* lipit digunakan hampir secara eksklusif untuk memusatkan virus dari air limbah yang diolah untuk analisis.

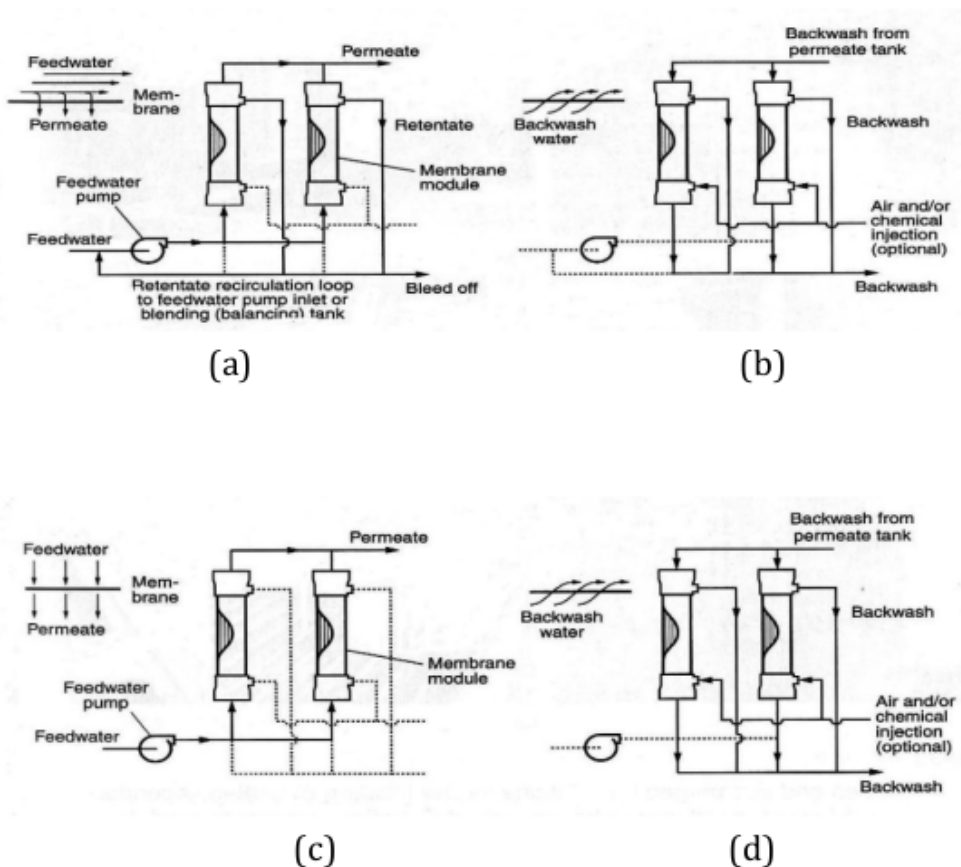
Konfigurasi modul dan pengembangan tekanan Modul membran tersedia dalam dua konfigurasi dasar, yaitu sistem bejana tekan dan sistem terendam.

1. 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 3.7.

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 3.7 Sketsa sistem membran bertekanan, yaitu (a) sistem membran *cross-flow* bertekanan, (b) *backwashing* sistem *cross-flow* bertekanan, (c) aliran buntu bertekanan, dan (d) *backwashing* sistem aliran buntu bertekanan.

2. Konfigurasi terendam

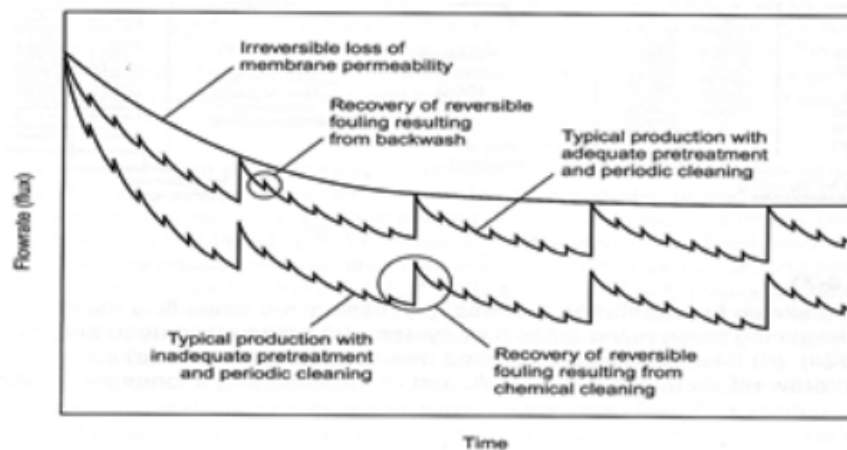
Dalam sistem terendam, elemen membran direndam dalam tangki air umpan dan merembes ditarik melalui membran dengan menerapkan vakum, biasanya dari hisap pompa sentrifugal. Tekanan transmемbran yang dikembangkan oleh pompa permeate menyebabkan air bersih diekstraksi melalui membran. Kepala hisap positif (NPSH) keterbatasan bersih dari pompa permeate membatasi membran terendam ke tekanan transmемbran maksimum sekitar 50 kPa (0,5 bar) dan biasanya beroperasi pada tekanan transmемbran dari 0,2-0,4 bar. 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.

3.4 Sistem Penyaringan Membran

Empat 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 serta *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 3.8.



Gambar 3.8 Sketsa performa sistem filtrasi membran.

Secara umum telah disepakati bahwa perbedaan antara proses membran dalam hal ukuran pori rata-rata, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 memengaruhi 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.

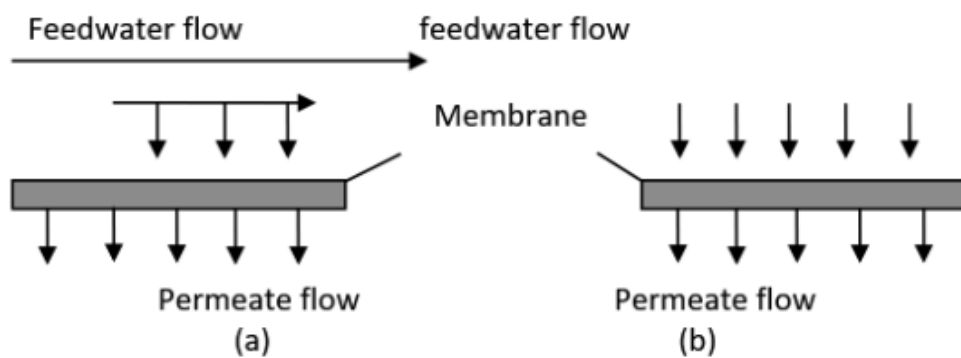
Untuk memisahkan zat terlarut berat molekul rendah dan/atau zat terlarut bermuatan dari air limbah, NF dan RO dipertimbangkan. Membran NF dan RO tidak bekerja sesuai prinsip pori-pori; proses pemisahan pada dasarnya terjadi oleh mekanisme interaksi sterik-penghalang elektrostatis (NF) atau difusi melalui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

3.4.1 Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi

Mikrofiltrasi dan membran ultrafiltrasi jelas mikro ketika penolakan ditentukan oleh ukuran dan bentuk zat terlarut. Membran asimetris yang digunakan dalam MF dan UF umumnya terbuat dari polimer, seperti selulosa asetat (CA), polysulfone (PSf), polyethersulfone (PES), dan polyvinylidene fluoride (PVDF). 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 μm dan digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti klarifikasi, bioreaktor membran, sterilisasi makanan, dan pengolahan air. Sementara itu, membran UF memiliki pori-pori yang lebih kecil (10-100 μm) 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 3.9. 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*) yang 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 3.9 Aliran membran (a) filtrasi *cross-flow* dan (b) filtrasi buntu

1. Aliran permeat total, (Q)

$$Q = F_w A \quad (3.2)$$

dengan Q adalah laju alir permeate, m³/h; F_w adalah trans-membran air fluks, m³/m²h; dan A adalah luas membran, m².

2. Penolakan, R

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

$$R, \% = (CP/Cf) \times 100 \quad (3.3)$$

dengan C_f adalah konsentrasi dalam aliran umpan, g/m^3 dan CP adalah konsentrasi dalam permeat, g/m^3 .

Dalam aplikasi perawatan tingkat lanjut, MF telah digunakan karena secara 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, dan lain-lain.

3.4.2 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.

3.4.3 Reverse Osmosis

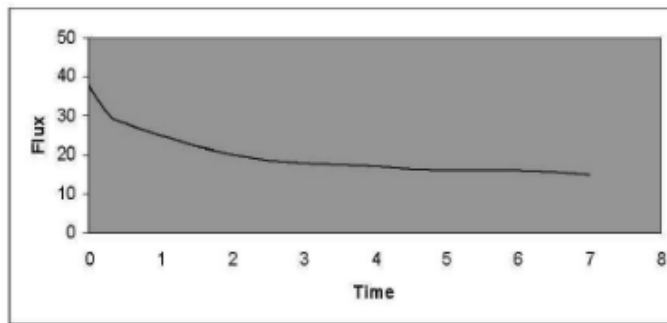
Untuk teknologi membran secara umum, pengembangan membran RO CA asimetris asimetris pertama oleh Loeb dan Sourirajan (1963) adalah salah satu terobosan paling kritis yang membuat membran RO cocok untuk proses praktis untuk *desalting* air. Saat ini, membran CA tetap sangat menarik dalam teknologi membran 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. Seperti yang dilaporkan oleh Tzahi et al. (2004), pemilihan teknologi membran atau limbah tekstil bergantung pada keseimbangan antara fluks dan selektivitas. 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) serta 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 memengaruhi transportasi massal atau kinerja ini. RO dan NF untuk reklamasi air limbah memiliki konfigurasi *spiral wound* (SW) atau *hollow fine fiber* (HFF). 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). 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.

3.5 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 3.10, 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.



Gambar 3.10 Membran *fouling* versus waktu filtrasi

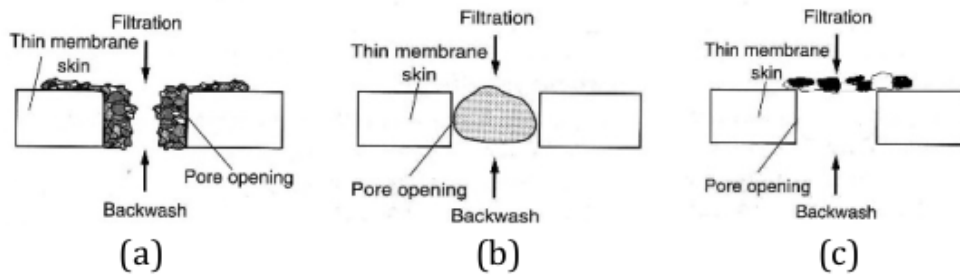
Membran *fouling* merupakan pertimbangan penting dalam desain dan pengoperasian sistem membran karena memengaruhi kebutuhan pra-perawatan, persyaratan pembersihan, serta kondisi operasi, biaya, dan kinerja. Istilah ini digunakan untuk menggambarkan deposisi potensial dan akumulasi konstituen dalam aliran umpan pada membran. Konstituen dalam air limbah yang dapat menyebabkan *fouling* membran diidentifikasi pada Tabel 3.5. *Fouling* dari membran dapat terjadi dalam tiga bentuk umum, yaitu penumpukan konstituen di *feedwater* pada permukaan membran, pembentukan presipitat kimia karena kimia dari air umpan, dan kerusakan pada membran karena adanya zat kimia yang dapat bereaksi dengan membran.

Tabel 3.5 Jenis *Fouling*

Type of membrane <i>fouling</i>	Responsible constituents	Remarks
<i>Fouling</i> (cake formation).	Metal oxides, Organic and inorganic, Bacteria, Microorganisms, Concentration polarization.	Damage to membranes can be limited by controlling these substances (by the use MF before RO).

Scaling (precipitation).	Calcium sulfate, Calcium carbonate, Calcium fluoride, Barium sulfate, Metal oxide formation, Silica.	Scaling can be reduced by limiting salt content, by adding acid to limit the formation of calcium carbonate, and by other chemical treatments (e.g., the addition of antiscalants).
Damage to membrane.	Acids, Bases, pH extremes, Free chlorine, Bacteria, Free oxygen.	Damage to membranes can be limited by controlling these substances. Extent of damage depends on the nature of the membrane.

Tiga mekanisme yang diterima menghasilkan resistensi terhadap aliran karena akumulasi bahan dalam lumen penyempitan pori, penyumbatan pori, dan pembentukan gel / *cake* yang disebabkan oleh polarisasi konsentrasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.11. Mekanisme penyumbatan pori dan penyempitan pori akan terjadi ketika partikel yang ukurannya mirip dengan ukuran pori-pori tersangkut di pori-pori membran. Penyempitan pori terdiri dari material padat yang melekat pada permukaan bagian dalam pori-pori. Telah dihipotesiskan bahwa sekali pori berkurang, polarisasi konsentrasi diamplifikasi lebih lanjut, dan menyebabkan peningkatan *fouling*. Gel/pembentukan kue yang disebabkan oleh polarisasi konsentrasi, terjadi ketika sebagian besar zat padat dalam umpan lebih besar dari ukuran pori atau berat molekul memotong membran.



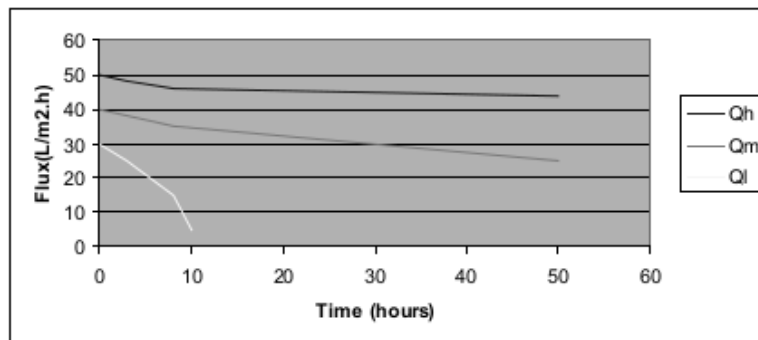
Gambar 3.11 Jenis *fouling*, yaitu (a) *pore narrowing*, (b) *pore plugging*, dan (c) *gel/cake formation caused by concentration polarization*.

3.5.1 Jenis *Fouling*

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

3.5.2 Pengaruh Kecepatan Aliran-Silang

Kecepatan aliran silang yang tinggi cenderung untuk mencegah *fouling* dan juga membantu dalam proses pembersihan. Gambar 3.12 menunjukkan peluruhan fluks pada plot untuk tingkat resirkulasi rendah, menengah, dan tinggi (Q_l , Q_m , dan Q_h).



Gambar 3.12 Pengaruh kecepatan *cross-flow* pada waktu panjang fluks.

3.5.3 Pengaruh Perlakuan Permukaan Membran

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

3.5.4 Kontrol Fouling Membran

Biasanya, pendekatan digunakan untuk mengontrol *fouling* membran, yaitu *pretreatment* air umpan; sifat membran; modul dan kondisi proses; serta pembilasan hidrolik dan pembersihan kimia dari membran. *Pretreatment* digunakan untuk mengurangi TSS dan kandungan bakteri dari *feedwater* untuk membatasi *fouling*. Sering kali *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 hidrolik aliran-silang.

A black and white photograph showing a large pipe discharging water into a body of water, creating ripples and splashes. The scene is industrial, likely a wastewater treatment plant.

BAB 4

Masa Pakai Membran³

Kehidupan membran adalah penting karena biaya berlebihan yang terkait dengan perbaikan, penggantian, serta *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 meng³langkan 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 memengaruhi ekonomi perawatan membran secara signifikan. Konsumsi energi dan nilai pemulihan produk untuk berbagai sistem membran ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 ³ Konsumsi energi dan nilai produksi berbagai sistem membran

Proses membran	Tekanan operasi		Konsumsi energi, kWh per		Nilai produksi, %
	lb/in ²	kPa	1000 gal	m ³	
³ 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



BAB 5

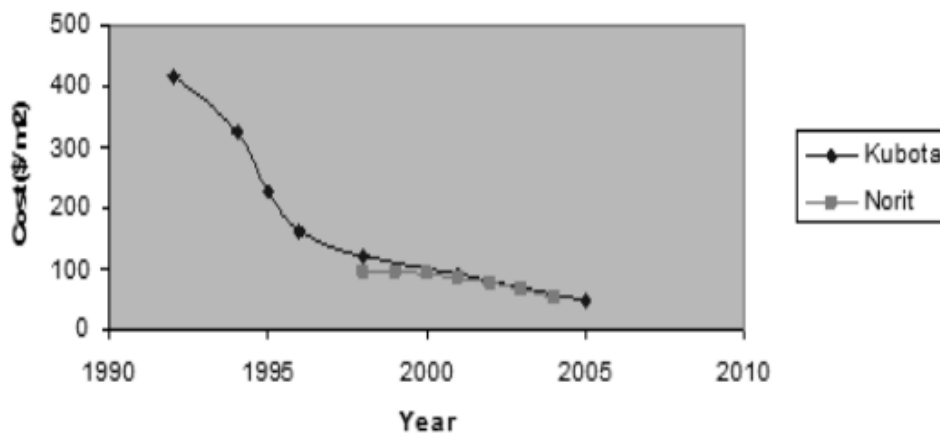
Komersialisasi Membran

Selain itu, laporan tentang 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. Pasar-pasar ini mendorong kepercayaan yang tumbuh dalam kinerja teknologi membran dalam proses reklamasi air limbah.

5.1 Analisis Biaya Investasi

Pilihan peralatan, proses, dan keahlian dalam teknologi membran yang makin andal 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.

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 5.1 Rincian biaya membran mikrofiltrasi (Kubota dan Norit X-Flow).



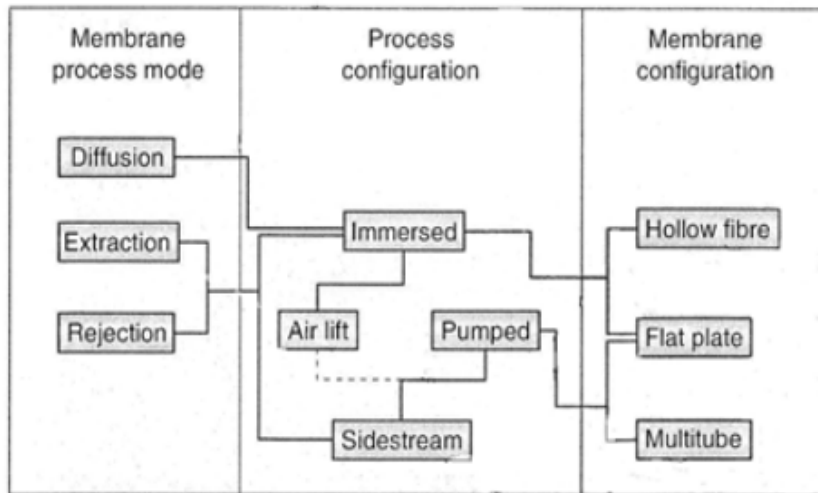
BAB 6

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 serta 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 memengaruhi kualitas air produk melalui pelapukan padatan yang akan datang. Di sisi lain, guncangan hidrolis dan organik dapat berdampak buruk pada pengoperasian MBR.

6.1 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 6.1.



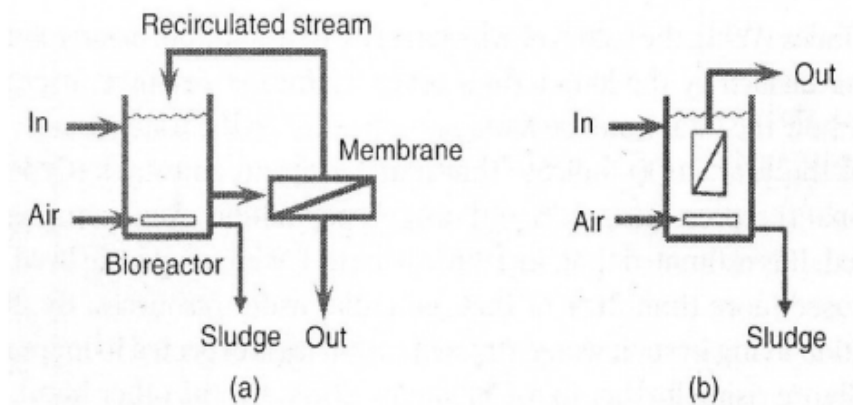
Gambar 6.1 Konfigurasi MBR.

Sistem membran ini semuanya didasarkan pada apa yang harus dikenal sebagai konfigurasi sidestream (s-MBR) (a), dibandingkan dengan yang sekarang lebih signifikan secara komersial tenggelam di 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. Namun, secara umum dimungkinkan untuk mengoperasikan s-MBR pada tingkat campuran cairan beku yang lebih tinggi (MLSS) daripada serat berongga i-MBR. Ada juga dua mode operasi hidrolis, yaitu 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.

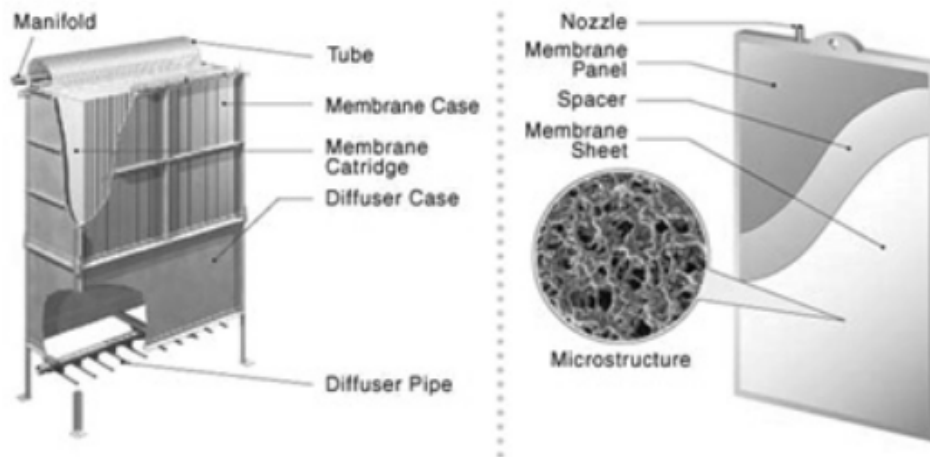
Saat ini, tersedia dan mengembangkan teknologi MBR komersial yang digunakan untuk pengolahan air limbah dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis konfigurasi membran, seperti lembaran datar (FS), serat berongga (HF), dan multitube (MT). Teknologi FS yang dibenamkan dikembangkan pada akhir 1980-an oleh Kubota Corporation, perusahaan rekayasa Jepang yang terdiversifikasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.2 dan kemudian dilanjutkan oleh Brightwater Engineering Ltd. dengan membran polyethersulfone (PES) yang dipasang pada dukungan polypropylene (PP) yang kaku. Jenis lain dari teknologi MBR telah berkembang sejak 2001 oleh Colloide Engineering Systems (CES) dengan CES *Sub Snake system*. 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 6.2 Konfigurasi MBR, yaitu (a) *side stream* dan (b) *immersed*.

Selaput lainnya diproduksi oleh banyak industri seperti Toray Industry, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.3. 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; serta 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 dan itu belum mencapai keberhasilan komersial dari mitra aerobik. Ini juga merupakan kasus bahwa sistem MBR anaerobik terus dieksplorasi dan dikembangkan.



Gambar 6.3 Kubota membran

6.2 Karakteristik MBR

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, porositas, pori-pori, bentuk, dan kristalinitas), serta pemisahan antarmembran. 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.

6.2.1 Parameter Fisik Ukuran Pori

Efek ukuran pori pada membran *fouling* sangat terkait dengan karakteristik larutan umpan dan khususnya distribusi ukuran partikel. Kekasaran dan porositas membran diidentifikasi sebagai kemungkinan penyebab perbedaan perilaku *fouling* yang diamati. Penurunan diameter agregat nodular meningkatkan ukuran pori membran. Makromolekul cenderung melilit dan saling berhubungan satu sama lain sehingga fusi agregat nodular akan meningkat. Ini tercermin dalam penurunan kekasaran pada permukaan membran luar. Schaefer dkk. mengamati ketika empat membran MF dengan ukuran pori nominal antara 0,20 dan 0,22 μm diuji secara paralel. Membran lintasan-jalur dengan struktur padat dan pori-pori silinder kecil, tetapi seragam memberikan resistansi terendah terhadap *fouling* karena permukaannya yang tinggi adalah sifat keras dibanding tiga membran lainnya.

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 i-MBR lebih banyak dikonfigurasi baik sebagai *hollow fiber* (HF) atau *flatsheet* (FS), sedangkan s-MBR adalah FS atau multitubular (MT). Sementara modul HF umumnya lebih murah untuk diproduksi, memungkinkan kepadatan membran yang tinggi dan menoleransi *backflushing* yang kuat, mereka juga lebih mudah dikontrol secara hidrodinamis daripada FS atau membran MT.

6.2.2 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. 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*.

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 TiO₂ dan membran baru menghasilkan kinerja filtrasi yang lebih baik dan pemulihan fluks dibandingkan dengan membran yang tidak dimodifikasi.

6.3 Kontrol *Fouling* pada MBR

Pemahaman tentang fenomena dan mekanisme *fouling* mungkin mencerahkan, dan pengendalian *fouling* dan penyumbatan dalam praktik umumnya terbatas dalam strategi yang telah dibahas dalam Bab 3, subbab 3.5. Terutama dalam proses MBR, meningkatkan aerasi membran selalu meningkatkan fluks kritis hingga beberapa nilai ambang. Namun, 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. 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. 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). 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*.

6.4 Desain dan Operasi MBR

Tiga elemen utama dari MBR yang berkontribusi terhadap biaya operasi, mengabaikan penggantian membran, yaitu memompa cairan; pemeliharaan membran; dan 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. Dalam hal ini, korelasi permeabilitas dan fluks dengan kecepatan aliran silang dapat menghitung permintaan energi untuk memompa W_h , berdasarkan persamaan (6.1).

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

dengan ρ adalah densitas, g/l; θ adalah konversi yang dicapai oleh satu bagian cairan di sepanjang modul, l/m²; ξ 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 serta 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), serta operasi membran (TMP, fluks, dan membersihkan membran). Hubungan antarmembran dikembangkan antara aerasi dan berbagai aspek sistem serta parameter dengan demikian kompleks, terutama mengingat bahwa untuk i-MBR, 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 dibutakan dengan minyak atau terabrasi oleh pasir tersuspensi dan kurangnya fleksibilitas *clarifier* untuk melewati arus puncak. Namun, teknologi ini telah menjadi makin populer untuk aliran limbah yang dapat direalisasikan sebelumnya dan telah mendapatkan penerimaan yang lebih luas ketika infiltrasi dan aliran masuk telah dikendalikan, tetapi biaya siklus hidup telah terus menurun.

6.5 Studi Kasus

6.5.1 Tanaman Solbegra

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 dengan 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 6.1. 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 6.1 Kualitas air (Solbegra plant)

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

1
6.5.2 **Proyek Eden, St Austeel, Cornwall, UK** 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, 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 m³ 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 m³ kapasitas tangki septik bawah tanah tempat beberapa pemukiman padat terjadi. MBR dikonfigurasi sebagai unit *sidestream* dan terdiri dari tangki bioreaktor silinder berkapasitas 4 m³ 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 6.4.



Gambar 6.4 Instalasi MBR Eden

Direncanakan pabrik bioreaktor membran Singapura (MBR) akan dibangun oleh Hyflux Ltd. Pembangunan ini dijadwalkan dimulai pada 3 Maret 2010 dan 68.000 m³ / 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.

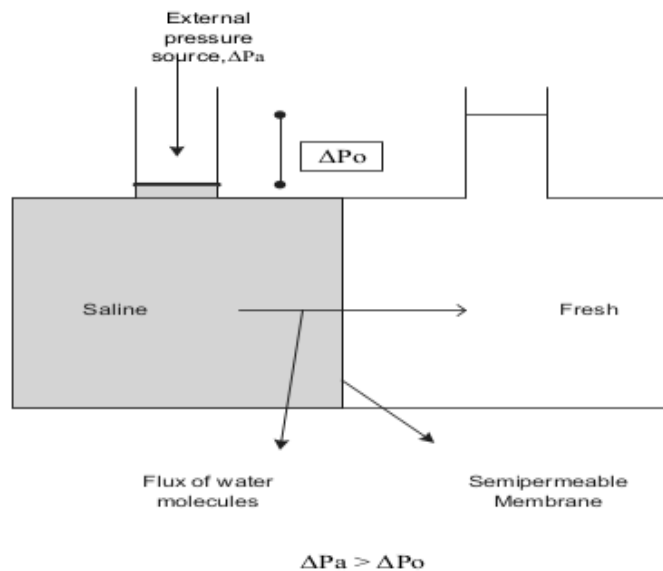


BAB 7

Reverse Osmosis (RO)

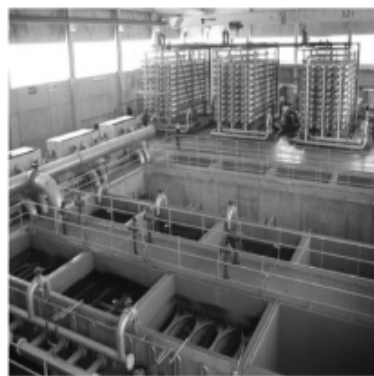
Penerapan teknologi *reverse osmosis* untuk reklamasi air limbah kembali ke tahap awal komersialisasi proses RO. Disadari segera bahwa penerapan teknologi membran untuk pengolahan limbah cair merupakan tantangan unik karena potensi *fouling* yang sangat tinggi dari aliran yang diolah. Oleh karena itu, 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 7.1. 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, 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.



(a)



(b)

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 μm .

7.1 Jenis Membran yang Digunakan dalam Sistem 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	L/m ² .h	12-20
Tekanan Operasi	kPa	1200-1800
1000-2500 mg/L TDS	kPa	5500-8500
TDS Air laut		
Konsumsi energi	kWh/m ³	1.5-2.5
1000-2500 mg/L TDS	kWh/m ³	5-10

7.2 Penerapan *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, serta air umpan boiler tekanan tinggi. Kinerja proses RO terkait dengan karakteristik air yang akan dirawat, jenis membran yang digunakan, dan strategi operasional.

7.3 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 karakterisasi air umpan; proses

pretreatment; laju fluks; pemulihan; membran *fouling*; pembersihan membran; umur membran; biaya operasi dan pemeliharaan; daur ulang arus; serta pembuangan retentate dan *backwash*. Faktor-faktor ini harus dipertimbangkan dalam merancang sistem RO untuk mencapai tingkat penyisihan konstituen yang lebih tinggi.

7.4 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; serta perlakuan perpecahan dan pencampuran tekanan operasi dan rasio fluks. Dua variabel kunci yang memengaruhi 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. Hal ini 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.

7.5 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 Subbab 3.2 dan 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:

3. Penyederhanaan sistem pengolahan air dengan menggabungkan *pretreatment* membran dan RO *desalting* dalam satu langkah proses.
4. Pengurangan biaya investasi karena pengurangan peralatan yang dibutuhkan.
5. Pengurangan biaya operasi karena potensi pengurangan konsumsi daya.
6. Pengurangan persyaratan ukuran lokasi pabrik. Perbaikan ini memengaruhi ekonomi proses reklamasi air limbah yang lebih baik secara signifikan.



BAB 8

Kesimpulan

Keadaan seni proses reklamasi air terus berubah ketika teknologi baru muncul karena 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 makin efektif biaya dengan karakteristik kinerja yang lebih baik dan aplikasi mereka terus tumbuh.

Daftar Pustaka

Sikdar, S.K. (2005). *Science of Sustainability*. Clean Tech. Environ. Pol., 7, 1, 1-2.

Hermanowicz, S.W. (2005). *Sustainability in Water Resources Management: Changes in Meaning and Perceptions*. University of California Water Resources Center Archives, http://respositories.cdlib.org/wrca/wp/swr_v3.

IWMI. (2000). *World Water Supply and Demand: 1990 to 2025*. Sri Lanka: International Water Management Institute, Colombo.

Asano, T. and A.D. Levine. (1998). *Wastewater Reclamation, Recycling, and Reuse, Water Quality Management Library*. Volume 10. USA: Technomic Publishing Company, Inc.

Asano, T.; F. L. Burton; H. L. Leverenz; R. Tsuchihashi; and G. Tchobanoglous. (2007). *Water Reuse: Issues, Technology, and Applications*. New York, USA: McGraw-Hill.

[http://www/sewage-treatment/Wikipedia.com](http://www.sewage-treatment/Wikipedia.com), recited (2010, February 21)

Angelakis, A.N.; N.V. Paranychianakis; and K.P. Tsagarakis. (2003). *Water Recycling in Mediterranean Region*. Water Sci. Technol. 3,4.

American Water Work Association (AWWA). (1990). *Handbooks of Water Treatment Plant Design*. New York, USA: McGraw-Hill.

Baird, R.B. and R.K. Smith. (2002). *Third Century of Biochemical Oxygen Demand, Water Environment Federation*. Alexandria, VA.

- Droste, R.L. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Roefer, P.S.; R.E. Snyder; D.J. Rexing;, and J.L. Frank. (2000). Endocrine-Disrupting Chemicals in Source Water. *Journal American Water Work Association*. 92, 8.
- Driscoll, T.P. (2000). *Industrial Wastewater Management Treatment and Disposal*. Virginia, USA: WEF Press.
- Drinan, J.E. (2001). *Water and Wastewater Treatment*. Florida, US: CRC Press.
- MWH. (2005). *Water Treatment Principles and Design*. Second Edition. New Jersey: USA. John Willey and Sons, Inc.
- en.wikipedia.org/wiki/Sedimentation_(water_treatment), retrieved 22-05-2010.
- Kurbiel, J. (1996). *Implementation of the Cracow municipal wastewater reclamation system for industrial water reuse*. *Desalination* 106. 183-193.
- Cath, T.Y. (2005). *Membrane contactor processes for wastewater reclamation in space II. Combined direct osmosis, osmotic distillation, and membrane distillation for treatment of metabolic wastewater*. *J. Membr. Sci.* 257, 111-119.
- AWWA. (1999). *Waterborne Pathogens*. AWWA M48, American Water Works Association, Denver, CO.
- Porter, M.C. (1990). *Handbook of Industrial Membrane Technology*. New Jersey, USA: Noyes Publications.
- Tchobanoglous, G. (2007). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Water Reuse: Issue, Technologies and Applications*. New York, USA: McGraw Hill.
- Osmonics Inc. (2002). *The Filtration Spectrum*. Minnetonka, Minnesota, USA: Osmonic Inc.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. London: Kluwer Academic.

- 1 Busch, J.; A. Cruse; and W. Marquadt. (2007). *Modelling submerged hollow fiber filtration for wastewater treatment*. J. Membr. Sci. 288, 94-111.
- Hiasa, M. et al. (2007). *Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank*. Water Sci. Technol., 21, 43-54.
- Currier, J. et al. (2008). *Novel Wastewater reclamation technology meets environmental and business challenges*. J. Intel Tech. 12, 49-58.
- 1 Savaria, F.; C. Zwiener; and F.H. Frimmel. (2006). *Interactions between membrane surface, dissolved organic substances and ions submerged membrane filtration*. Desalination 192, 280-287.
- 1 Taylor J.S. and E.P. Jacobs. (2003). *Reverse Osmosis and Nanofiltration, Water Treatment Membrane Processes*. American Water Works Association. New York, USA: McGraw Hill.
- 1 Sourirajan, S. and T. Matsuura. (1985). *Reverse Osmosis/Ultrafiltration Process*. Ottawa, Canada: National Research Council Canada Publication.
- 1 Tzahi Y.C.; D. Adams; and A.E. Childress. (2004). *Membrane process for wastewater reclamation: Combined direct osmosis, osmotic distillation, and membrane distillation for treatment metabolic wastewater*. J. Membr. Sci. 257 111-119.
- <http://www.filtsep.com>, What is nanofiltration, Retrieved 2010-03-05.
- 1 S. Judd and C. Judd. (2006). *The Membrane Book: Principle and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier.
- 1 Yuliwati, E. and A.F. Ismail. (2010). *PVDF-TiO₂ submerged hollow fiber membrane in refinery produced wastewater treatment. Proceeding IWAY2010 1st International Conference*. Kuala Lumpur, p.126.

- 1 Bourgeois, K.; G. Tchobanoglous; and J. Darby. (1999). *Performance evaluation of the Koch Ultrafiltration (UF) membrane system for wastewater reclamation*, Center for Environmental and Water Resources Engineering. Report No.99-2. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis CA.
- 1 Crozes, G.F.; J.G. Jacangelo; C. Anselme; and J.M. Laine. (1997). *Impact of ultrafiltration operating conditions on membrane irreversible fouling*. J. Membr. Sci. 124 63.
- 1 Ahn, K.H.; J.H.Y. Song Cha; K.G. Song; and H. Yoo. (1998). Application of tubular ceramic membrane for building wastewater reuse. *Proceeding IAWQ 19th International Conference*. Vancouver, p.137.
- 1 Rahman, M.M. and A. Malack. (2006). *Performance of a crossflow membrane bioreactor (CF-MBR) when treating refinery wastewater*. Desalination 191(2006) 16-26.
- Judd, S. (2006). *The MBR book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Elsevier. First Edition. Oxford.
- Judd, S. et al. (2005). *Fouling control in submerged membrane bioreactors*. Water Sci. Technol., 51, 6-7, 27-34.
- 1 <http://www.Kubota.com>, Retrieved 2010-02-15.
- 1 <http://www.Toray industry.com>, Retrieved 2010-03-03.
- Chang, I.S. and A.G. Fane. (2001). *The effect of fibre diameter on filtration and flux distribution-relevance to submerged hollow fibre modules*. J. Membr. Sci. 184, 221-231.
- 1 Le-Clech, P.; B. Jefferson; I.S. Chang; and S. Judd. (2003). *Impact of aeration, solids concentration and membrane characteristics on the hydraulic performance of a membrane bioreactor*. J. Membr. Sci. 218. 117-129.
- 1 A.I. Schaefer, A.I.; A.G. Fane; and T.D. Waite. (2000), *Fouling effects on rejection in the membrane filtration of natural waters*. Desalination, 131, 215-231.

- 1 Alberti, B.; A. Bienati; A. Bottino; G. Cappanelli; A. Comite; F. Ferrari; and R. Firpo. (2007). *Hydrocarbon removal from industrial wastewater by hollow-fibre membrane bioreactors*. Desalination 204, 24-32.
- 1 Zhang, S.Ji; X. Gao; and Z. Liu. (2008). *Adsorptive fouling of extracellular polymeric substances with polymeric ultrafiltration membranes*. J. Membr. Sci. 309, 28-35.
- 1 Chiang, C.Y.; M. J. Reddy; and P. P. Chu. (2004). *Nano-tube TiO₂ composite PVDF/LiPF₆ solid membranes*. Solid State Ionics 175 631-635.
- 1 Wang, Y.J. and D. J. Kim. (2007). *Crystallinity, morphology, mechanical properties and conductivity study of in situ formed PVDF/LiClO₄/TiO₂ nanocomposite polymer electrolytes*. Electrochimika Acta 2, 3181-3189.
- 1 Scholz, W. and W. Fuchs. (2000). *Treatment of oil-contaminated wastewater in a membrane bioreactor*. Water Res., 34(14): 3621-3629.
- http://www.bing.com, Singapore's largest MBR plant, Retrieved 2010-05-05.
- 1 Boen, D.F. and G.L. Johnson. (2001). *Reverse osmosis of treated and untreated secondary sewage effluent, Water Pollution Research series 17040. U.S. EPA (1994)*. Water Quality Handbook. 2nd ed.. EPA 823-B-94-005a, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Alberti, F.; B. Bienati; A. Bottino; G. Cappanelli; A. Comite; F. Ferrari; and R. Firpo. (2007). *Hydrocarbon removal from industrial wastewater by hollow-fibre membrane bioreactors*. Desalination 204, 24-32.
- 1 Cui, Z.F.; S. Chang; and A.G. Fane. (2003). *The use of gas bubbling to enhance membrane process-a review*. J. Membr. Sci. 221, 1-35.

- 1 N.A. Ochoa; M. Masuelli; and J. Marchese. (2003). *Effect of hydrophilicity on fouling of a emulsified oil wastewater with PVDF/PMMA membranes*. J.Membr. Sci. 226, 203-211.
- 1 Khopkar, S.M. (2004). *Environmental Pollution Monitoring and Control*. New Delhi: New Age International, p.299.
- S. Judd and C. Judd. (2006). *The Membrane Book: Principle and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier.
- 1 Zularisam, A. W.; A.F. Ismail; M.R. Salim; Mimi Sakinah; and H. Ozaki. (2007). *The effects of natural organic matter (NOM) fractions on fouling characteristics and flux recovery of ultrafiltration membranes*. Desalination 212, 191-208.

Glosarium

P_p	Tekanan aliran permeat, bar
P_r	Tekanan aliran retentat, bar
P_{tm}	Gradien tekanan membran, bar
ΔP	Total kehilangan tekanan pada aliran membran, bar
R	Rejeksi, %
W_h	Energi pompa, %

Greek symbols

ρ	densitas
ξ	efisiensi
θ	konversi dari aliran fasa satu

Subscript

f	Umpan
p	Permeat
r	Retentat
w	Air

Nomenklatur

A	Membran luas permukaan, m ²
C _p	Konsentrasi permeat, g/m ³
c _j	Konsentrasi umpan, g/m ³
F	Aliran air murni, m ³ /m ² .h
J _v	Permeat fluks, m ³ /m ² .s
P	Penurunan tekanan melintasi modul, bar
P _f	Tekanan masuk dari bar aliran umpan
P _m	Perbedaan tekanan transmembran, bar
P _p	Tekanan aliran permeate, bar
P _r	Tekanan aliran retentate, bar
P _{tm}	Trans membrane pressure gradient, bar
ΔP	Jumlah dari semua kerugian tekanan individu yang untuk sistem aliran sisi, bar
R	Penolakan, %
W _h	Pemompaan energi, %

Simbol Yunani

ρ	density
ξ	efisiensi
Θ	konversi dicapai oleh satu bagian cairan Subskrip
f	Umpan
p	Permeate
r	Retentate
w	Air

Tentang Penulis



2

Erna Yuliwati B. Chem.E., M.Sc. Chem.E. Universitas Sriwijaya Indonesia; Non-degree Chemistry at Technologie Fakultät, Fachhochschule Darmstadt, Jerman; Ph.D. Chemical engineering at Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia; IPM (Insinyur Profesional Madya- PII); Pusat Penelitian Teknologi Membran Tingkat Lanjut (AMTEC) UTM pada tahun 2009-sekarang; dan

saat ini bekerja sebagai dosen dengan fungsional lektor kepala di Universitas Muhammadiyah Palembang Indonesia. Penulis adalah Kepala Pusat Penelitian dan Pusat Studi Lingkungan di Universitas Muhammadiyah Palembang sebagai peneliti di Pusat Penelitian dan Pengembangan Provinsi Sumatera Selatan. Merupakan konsultan untuk Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat serta Tim Ahli Penilai Amdal Provinsi Sumatera Selatan dan Tim Kendali Sungai dan Peduli Banjir Provinsi Sumatera Selatan. Penulis juga bekerja sebagai konsultan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Jambi Indonesia dan pemilik Yayasan Pengembang Inovasi Warga Mandiri Sejahtera yang berperan dalam pengembangan masyarakat dan peningkatan ekonomi kerakyatan. Penulis juga merupakan anggota Forum Asia Eropa atau *Asia and Europe Peoples*

*Federation (AEPF) dan terlibat aktif dalam konferensi internasional AEPF di Finlandia dan China, juga mendapatkan hibah Penelitian Nasional dan Internasional ASEAN bersama rekannya dari India, Malaysia, Thailand (2019-2021) untuk mendukung pengembangan inovasi teknologi yang dapat meningkatkan pertimbangan untuk keberlanjutan penggunaan energi dan sumber daya dan pencemaran lingkungan. Penulis memiliki lebih dari 50 publikasi di jurnal nasional dan internasional dan sebagai pembicara di beberapa seminar nasional dan internasional. Kemenangannya pada beberapa pameran teknologi tingkat internasional dicapai pada tahun 2010, 2012, dan 2015. Penulis juga memiliki paten terdaftar dengan judul *Komposisi Membran untuk Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit* pada tahun 2018 yang merupakan luaran dalam hibah penelitian terapan unggulan perguruan tinggi tahun 2018-2020.*

1
Erna Yuliwati B. Chem.E., M.Sc. Chem.E. University of Sriwijaya Indonesia; Non-degree Chemical Technology Fakultas, Fachhochschule Darmstadt, Germany; Ph.D. of Chemical Engineering at Universiti Teknologi Malaysia (UTM). She was joint the Advanced Membrane Technology Research Centre (AMTEC) UTM in 2009 until now and nowadays working as a associate professor for Universitas Muhammadiyah Palembang Indonesia. She is a head of research center in Universitas Muhammadiyah Palembang, as researcher in Research and Development Centre South Sumatera Province and also a consultant for The Office of Public Works and Housing and the Environmental affected Team of South Sumatera Province and Team of The River Control and Flood Care in South Sumatera Province. She has worked as a consultant member on process development to Indonesia Popular Governance Institute Bandung Indonesia and owner of Yayasan Pengembangan Inovasi Warga Mandiri Sejahtera, which plays in a community development and populist economic improvement. She

has participant on Asia and Europe Peoples Forum (AEPF) in Finland and China and also won fews national and international research grant to support the development of technological innovations that can improve the considerations for sustainability of energy and resource use and environmental pollution. She also has more than 50 publications in national and international journal and as keynote speaker in few international conferences in India and Malaysia. She has won in few international exhibitions and had Gold and Silver medal in 2010, 2012, and 2015 and has registered national patent in membran composition for palmoil wastewater treatment in 2018 as an output in applied research in higher education.

Indeks

R

Reklamasi air limbah 6-36, 13-36

reverse osmosis 19, 20, 38, 39, 79, 80, 81, 82

T

Teknologi Membran 3

1_Membran_untuk_Reklamasi_Air_Limbah.pdf

ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.eolss.net Internet Source	5%
2	books.google.com Internet Source	2%
3	cdn.repository.uisi.ac.id Internet Source	1%
4	Drinan, . "Wastewater treatment : Basic overview", Water and Wastewater Treatment A Guide for the Nonengineering Professional Second Edition, 2012. Publication	1%
5	bayanbox.ir Internet Source	1%
6	epdf.pub Internet Source	1%
7	www.septictankmurah.com Internet Source	1%
8	Crittenden. "Membrane Filtration", MWH s Water Treatment Principles and Design, 03/21/2012 Publication	1%



Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off