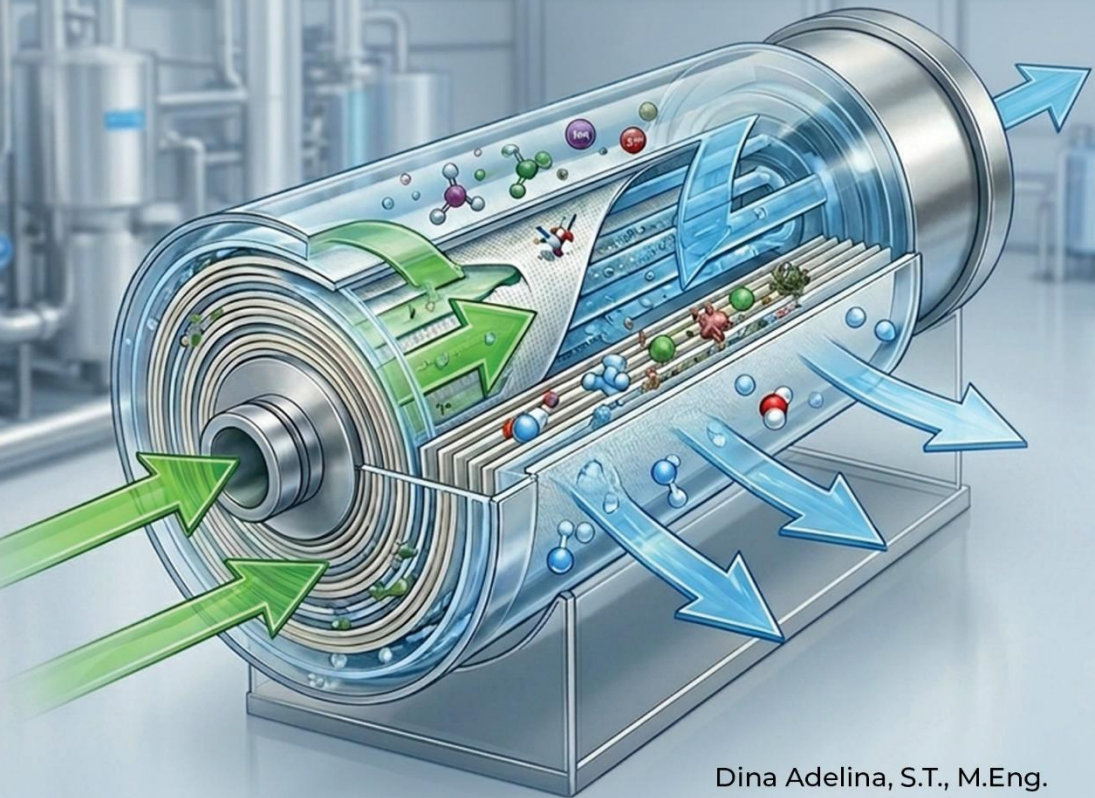


TEKNOLOGI MEMBRAN



Dina Adelina, S.T., M.Eng.
Ir. Irman Ansari Adlin, M.M.
Dr. Jufrinaldi, S.T., M.T.
Agustina Dyah S, S.Si., M.Sc.
Rusnia Junita H, S.T., M.T.

TEKNOLOGI Membran

Dina Adelina, S.T., M.Eng.
Ir. Irman Ansari Adlin, M.M.
Dr. Jufrinaldi, S.T., M.T.
Agustina Dyah S, S.Si., M.Sc.
Rusnia Junita H, S.T., M.T.

PENERBIT KBM INDONESIA

adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air Indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku.

TEKNOLOGI MEMBRAN

Copyright @ 2026 Dina Adelina, S.T., M.Eng., dkk.

All right reserved

Penulis

Dina Adelina, S.T., M.Eng., Ir. Irman Ansari Adlin, M.M., Dr. Jufrinaldi, S.T.,
M.T. Agustina Dyah S, S.Si., M.Sc., Rusnia Junita H, S.T., M.T.

Desain Sampul

Eca Art

Tata Letak

Ika Puji A.

Editor

Dr. Muhamad Husein Maruahey, Drs., M.Sc.

Background isi buku di ambil dari <https://www.freepik.com/>

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

<https://penerbitkbm.com>

www.penerbitbukumurah.com

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit.kbmindonesia

@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-278-359-7

Cetakan ke-1, Mei 2026

14,8 x 21 cm, viii + 131 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-
Kemenkumham dan isi buku dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- i. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- ii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- iii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- iv. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

“

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmatNya dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ajar yang berjudul Teknologi Membran. Buku ini disusun dengan tujuan untuk meningkatkan literasi mahasiswa tentang Teknologi Membran.

Tujuan pembelajaran digunakan untuk mengetahui arah atau tujuan mempelajari materi tertentu. Uraian materi digunakan untuk pemberian informasi atau pengetahuan kepada mahasiswa.

Penulis sadar bahwa dalam buku ini masih terdapat kekurangan, baik isi maupun tulisan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan edisi berikutnya.

Tangerang Selatan, 15 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI



KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PRINSIP DASAR TEKNOLOGI MEMBRAN.....	9
A. Capaian Pembelajaran	9
B. Materi.....	9
BAB II KEBERADAAN INDUSTRI MEMBRAN	23
A. Capaian Pembelajaran	23
B. Materi.....	23
BAB III SEKTOR PEMASARAN INDUSTRI MEMBRAN	37
A. Capaian Pembelajaran	37
B. Materi.....	37
BAB IV PERPINDAHAN MASSA DALAM MEMBRAN DAN MEKANISMENYA.....	47
A. Capaian Pembelajaran	47
B. Materi.....	47
BAB V DASAR-DASAR TEORI KARAKTERISASI MEMBRAN.....	63
A. Capaian Pembelajaran	63
B. Materi.....	63

BAB VI RANCANGAN SISTEM MODUL MEMBRAN	71
A. Capaian Pembelajaran	71
B. Materi.....	71
BAB VII SISTEM OPERASI PADA MEMBRAN.....	85
A. Capaian Pembelajaran	85
B. Materi.....	85
BAB VIII PERAWATAN DAN PEMELIHARAAN	
TEKNOLOGI MEMBRAN.....	95
A. Capaian Pembelajaran	95
B. Materi.....	95
BAB IX APLIKASI MEMBRAN DALAM PENGOLAHAN	
LIMBAH INDUSTRI.....	107
A. Capaian Pembelajaran	107
B. Materi.....	107
BAB X APLIKASI MEMBRAN DALAM PEMURNIAN	
AIR.....	121
A. Capaian Pembelajaran	121
B. Materi.....	121
DAFTAR PUSTAKA.....	127

DAFTAR TABEL

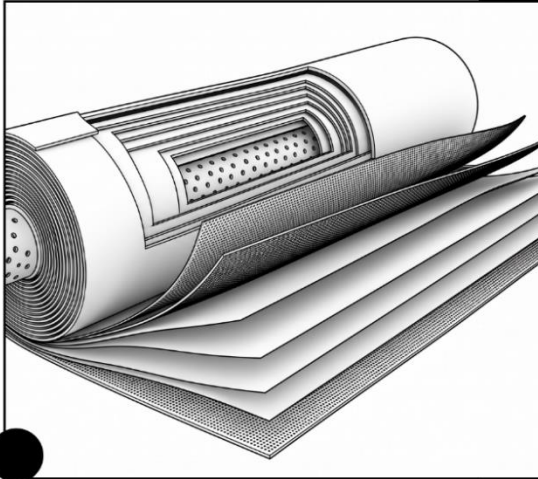
“

Tabel 1.1 Perbandingan Mekanisme Transpostasi Membran	18
Tabel 6.1 Karakteristik Design Modul	82
Tabel 7.1 Tekanan Osmosis Senyawa	87

DAFTAR GAMBAR



Gambar 4.1 Struktur Membran Sel	50
Gambar 5.1 Membran Mikrofiltrasi	66
Gambar 5.2 Hasil Pemindaian SEM Membran Film Polipropilena	69
Gambar 6.1 Modul Spiral Wound.....	75
Gambar 6.2 Desain Modul Spiral-Wound.....	77
Gambar 6.3 Plate and Frame Modules.....	79
Gambar 6.4 Plate and Frame Modules.....	82
Gambar 7.1 Metode Pembersihan Forward Flush.....	100
Gambar 7.2 Metode Pembersihan Backward Flush.....	103
Gambar 10.1 Ilustrasi Pemisahan dengan Membran	122



BAB I

PRINSIP DASAR TEKNOLOGI MEMBRAN

A. Capaian Pembelajaran

Capaian pembelajaran pada bab I yaitu mahasiswa mampu memahami dan menganalisis prinsip dasar teknologi membran.

B. Materi

Di tengah pesatnya perkembangan industri dan kebutuhan akan pengelolaan sumber daya alam yang semakin efisien, teknologi membran telah muncul sebagai salah satu solusi yang sangat penting. Teknologi ini mengandalkan kemampuan membran untuk memisahkan komponen-komponen dalam suatu campuran, baik itu cair, gas, atau campuran kimia, berdasarkan perbedaan ukuran, muatan, atau sifat fisik lainnya. Kemampuan selektif dari membran ini menjadikannya alat yang efektif dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengolahan air, industri kimia, pangan, hingga energi.

Teknologi membran bukanlah hal baru. Sejak pertama kali ditemukan, teknologi ini telah mengalami evolusi yang signifikan, dari penggunaannya yang terbatas pada beberapa proses dasar, hingga kini menjadi inti dari banyak inovasi dalam berbagai sektor industri. Dengan kemampuannya untuk menyaring, memurnikan, dan memisahkan bahan dalam proses-proses industri yang sangat beragam, teknologi membran memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap keberlanjutan dan efisiensi proses-proses tersebut.

Pentingnya teknologi membran tidak hanya terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan produktivitas industri, tetapi juga dalam memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Sebagai contoh, dalam pengolahan air, teknologi membran memungkinkan kita untuk mengubah air laut menjadi air tawar, serta mengolah air limbah untuk dapat digunakan kembali, mengurangi beban terhadap sumber daya air yang terbatas.

Meskipun demikian, meskipun teknologi membran menawarkan banyak manfaat, tantangan yang dihadapi dalam penggunaannya—seperti **fouling** (penyumbatan membran) dan biaya operasional yang tinggi—masih menjadi fokus penelitian dan inovasi yang terus berkembang.

1. Pengantar Teknologi Membran

a. Teknologi Membran

Teknologi membran adalah salah satu teknologi pemisahan yang menggunakan **membran** sebagai media untuk memisahkan komponen-komponen dalam suatu campuran berdasarkan perbedaan sifat fisik, kimia, atau biologis. Pada dasarnya, teknologi membran berfungsi untuk memisahkan dua fase (biasanya padat-cair, cair-cair,

atau gas-cair) dengan menggunakan suatu bahan yang memiliki pori atau struktur selektif.

Membran berfungsi sebagai penghalang selektif yang hanya memungkinkan molekul atau partikel tertentu melewatinya, sambil menahan molekul lain berdasarkan ukuran, muatan, atau sifat lainnya. Dalam praktiknya, teknologi membran **digunakan** untuk berbagai aplikasi industri, termasuk **pengolahan air, pemurnian gas, pemisahan bahan kimia, dan industri pangan.**

Secara garis besar, teknologi membran mencakup beberapa jenis proses, seperti **filtrasi, osmosis terbalik (RO), nanofiltrasi (NF), dan mikrofiltrasi (MF).** Membran yang digunakan dalam teknologi ini memiliki ukuran pori yang bervariasi, tergantung pada aplikasi dan tujuan pemisahan yang diinginkan. Sebagai contoh, membran **RO** memiliki pori yang sangat kecil, sehingga dapat menghilangkan garam dan partikel terkecil, sementara membran **MF** digunakan untuk memisahkan partikel yang lebih besar, seperti mikroorganisme dan koloid.

Teknologi membran ini memiliki banyak keuntungan, termasuk **proses yang efisien, biaya operasional yang relatif rendah, dan kemampuan untuk mengolah berbagai jenis cairan** tanpa memerlukan bahan kimia tambahan. Namun, seperti teknologi lainnya, teknologi membran juga menghadapi beberapa tantangan, seperti **fouling** (penumpukan kotoran di permukaan membran) yang dapat mengurangi efektivitasnya.

b. Sejarah dan Perkembangan Teknologi Membran

Teknologi membran telah berkembang pesat sejak pertama kali diperkenalkan. Pada awalnya, penggunaan

membran terbatas pada proses-proses sederhana, namun kini teknologi ini telah diterapkan dalam berbagai sektor industri yang lebih kompleks.

Penggunaan teknologi membran dapat ditelusuri kembali pada abad ke-18, ketika ilmuwan pertama kali mengamati proses **osmosis** pada tanaman. Osmosis adalah proses perpindahan molekul air melalui membran semi-permeabel yang memisahkan dua larutan dengan konsentrasi berbeda. Konsep dasar ini menjadi dasar bagi pengembangan teknologi membran yang lebih maju.

Pada tahun 1950-an, teknologi membran mulai digunakan secara lebih luas dengan pengembangan membran **reverse osmosis (RO)**. RO digunakan pertama kali untuk desalinasi air laut, dengan memanfaatkan tekanan tinggi untuk memaksa air melewati membran semi-permeabel dan menghilangkan garam serta kontaminan lainnya.

Pada tahun 1960-an, **ultrafiltrasi (UF)** dan **mikrofiltrasi (MF)** mulai dikembangkan sebagai metode pemisahan yang lebih efisien untuk memisahkan partikel besar, koloid, dan mikroorganisme dari air atau larutan lainnya. Teknologi ini digunakan dalam pengolahan air dan limbah serta dalam industri farmasi untuk pemurnian produk-produk biologi.

Seiring berjalannya waktu, teknologi membran semakin berkembang dengan munculnya **nanofiltrasi (NF)**, yang memanfaatkan membran dengan ukuran pori yang lebih kecil daripada ultrafiltrasi, namun lebih besar dari RO. Teknologi ini banyak digunakan dalam pemisahan garam divalen, seperti kalsium dan magnesium, dalam air.

Pada 1980-an hingga 1990-an, teknologi membran semakin diperkenalkan untuk aplikasi industri lainnya,

seperti pemisahan gas, pengolahan limbah industri, dan pemurnian biokimia dalam industri makanan dan minuman.

Sejak awal abad ke-21, ada banyak inovasi dalam pengembangan material membran yang lebih efisien dan tahan lama. Penggunaan bahan baru seperti **grafen** dan **membran berbasis polimer** telah memungkinkan peningkatan performa dalam hal permeabilitas, selektivitas, dan daya tahan membran.

Selain itu, kemajuan dalam **material nanoteknologi** dan **membran berbasis keramik** juga membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas, termasuk pengolahan energi dan pengolahan gas. Perkembangan teknologi membran ini didorong oleh peningkatan kebutuhan akan solusi yang ramah lingkungan dan efisien dalam mengelola sumber daya alam yang terbatas.

c. Pentingnya Teknologi Membran dalam Berbagai Industri

Teknologi membran telah menjadi salah satu solusi utama dalam berbagai industri modern karena kemampuan pemisahannya yang efisien dan ramah lingkungan. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi teknologi membran yang penting dalam berbagai sektor industri:

1) Pengolahan Air dan Limbah

Salah satu aplikasi paling umum dari teknologi membran adalah pengolahan air dan penyaringan limbah. Membran reverse osmosis (RO) digunakan untuk desalinasi air laut menjadi air tawar yang dapat digunakan untuk keperluan domestik atau industri. Selain itu, membran ultrafiltrasi (UF) dan mikrofiltrasi

(MF) digunakan dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan kotoran dan mikroorganisme patogen. Proses ini sangat penting untuk memastikan ketersediaan air bersih di daerah-daerah yang menghadapi kekurangan air tawar, serta untuk memenuhi standar lingkungan dalam pengelolaan limbah industri.

2) Industri Kimia dan Farmasi

Di sektor industri kimia, teknologi membran digunakan untuk **pemisahan dan pemurnian** produk kimia. Teknologi membran seperti **nanofiltrasi (NF)** dan **ultrafiltrasi (UF)** digunakan untuk memisahkan molekul-molekul yang memiliki ukuran atau muatan yang berbeda, seperti ion logam berat atau senyawa organik. Selain itu, dalam **industri farmasi**, membran digunakan dalam proses **dialisis** untuk memurnikan produk-produk biologi, seperti protein dan vaksin.

3) Industri Pangan dan Minuman

Di industri pangan dan minuman, teknologi membran digunakan untuk **memurnikan** dan **menyaring** produk-produk seperti susu, jus, dan bahan makanan lainnya. Membran **mikrofiltrasi** dan **ultrafiltrasi** digunakan untuk menghilangkan mikroorganisme, koloid, dan bahan asing dari produk. Selain itu, membran **reverse osmosis (RO)** digunakan dalam pembuatan **konsentrat jus** dan produk lainnya.

4) Bioteknologi dan Pengolahan Biologis

Dalam **bioteknologi**, membran digunakan untuk **pemurnian bioproduk** seperti protein dan enzim. Membran juga digunakan dalam **proses dialisis** untuk pengolahan darah dalam terapi medis, seperti pada pasien dengan gagal ginjal.

Keuntungan utama dari teknologi membran adalah **efisiensinya**, di mana proses pemisahan dapat dilakukan dengan sedikit atau tanpa penggunaan bahan kimia tambahan. Selain itu, proses membran dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah dan dengan **biaya operasional yang lebih rendah** dibandingkan dengan teknologi pemisahan tradisional.

Namun, teknologi membran juga memiliki tantangan, seperti **fouling (penumpukan kotoran pada membran)** yang dapat mengurangi efektivitasnya, serta **biaya awal yang tinggi** untuk pengadaan membran dan peralatan.

2. Prinsip Kerja Membran

Prinsip kerja membran didasarkan pada kemampuan membran untuk memisahkan komponen-komponen dalam suatu campuran melalui mekanisme selektif, baik itu berdasarkan ukuran, muatan, atau sifat kimianya. Pemahaman mendalam tentang prinsip kerja ini sangat penting untuk mengoptimalkan aplikasi teknologi membran dalam berbagai sektor industri, seperti pengolahan air, pemisahan gas, dan pemurnian bahan kimia.

a. Mekanisme Transportasi Membran

Membran bekerja berdasarkan prinsip selektivitas, yaitu hanya memungkinkan zat-zat tertentu melewati permukaan membran. Transportasi bahan melalui membran ini terjadi melalui beberapa mekanisme yang berbeda, yang bergantung pada sifat fisik dan kimia dari komponen yang terlibat, serta kondisi lingkungan sekitar membran. Secara umum, terdapat tiga mekanisme utama dalam transportasi membran, yaitu difusi, konveksi, dan elektrodialisis.

Mekanisme ini sangat penting untuk dipahami, karena mereka menentukan bagaimana efektifnya sebuah membran dalam berbagai aplikasi, seperti pemisahan gas, pengolahan air, dan pemurnian bahan kimia. Pembahasan ini akan mengupas tiga mekanisme transportasi utama yang terjadi pada membran: **difusi**, **konveksi**, dan **elektrodialisis**, serta aplikasinya dalam berbagai industri.

1) Diffusi

Difusi adalah mekanisme transportasi yang terjadi ketika molekul atau ion bergerak dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah. Pada proses ini, tidak dibutuhkan energi eksternal, karena pergerakan molekul terjadi secara spontan, mengikuti hukum kedua termodinamika, yang menyatakan bahwa molekul cenderung bergerak menuju kesetimbangan.

Transportasi difusi pada membran bisa berlangsung dalam dua bentuk:

- **Difusi molekuler:** Perpindahan molekul-molekul kecil melalui pori-pori membran berdasarkan perbedaan konsentrasi.
- **Difusi jaringan atau koloid:** Perpindahan partikel besar atau koloid yang terlarut dalam media.

Difusi sering digunakan dalam proses-proses seperti **pemisahan gas** dan **desalinasi air** menggunakan teknologi membran seperti **reverse osmosis (RO)**. Misalnya, dalam sistem RO, molekul air bergerak melewati membran, sementara molekul garam atau ion lainnya terhalang oleh membran, berkat perbedaan konsentrasi antara kedua sisi membran.

2) Konveksi

Konveksi adalah proses transportasi massa yang terjadi karena adanya gradien tekanan atau gaya eksternal, seperti perbedaan tekanan atau kecepatan aliran fluida. Dalam sistem membran, konveksi sering terjadi bersamaan dengan difusi, terutama dalam aplikasi yang melibatkan aliran fluida di sepanjang membran.

Proses konveksi dalam membran sangat bergantung pada fluks permeabilitas (seberapa cepat zat melewati membran) yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan di kedua sisi membran.

Konveksi penting dalam proses-proses seperti ultrafiltrasi (UF) dan mikrofiltrasi (MF). Pada proses ini, fluida yang mengalir di atas permukaan membran menyebabkan molekul-molekul besar, seperti koloid atau partikel padat, terperangkap atau dipisahkan.

3) Elektrodialisis

Elektrodialisis adalah proses pemisahan yang melibatkan penggunaan medan listrik untuk menggerakkan ion melalui membran yang selektif, memisahkan anion dan kation berdasarkan muatannya. Proses ini digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pemisahan atau penghilangan ion-ion dari larutan, seperti dalam pemurnian air atau pengolahan air limbah.

Elektrodialisis biasanya dilakukan dengan menggunakan **membran anion** dan **membran kation** yang hanya memungkinkan pergerakan ion dengan muatan tertentu (anion atau kation).

Proses elektrodialisis bekerja dengan prinsip:

- Ion bermuatan positif (kation) bergerak menuju katoda (elektroda negatif),
- Ion bermuatan negatif (anion) bergerak menuju anoda (elektroda positif),
- Membran yang digunakan dalam elektrodialisis hanya memungkinkan ion-ion tertentu untuk melewatinya, sehingga menghasilkan pemisahan antara anion dan kation.

Elektrodialisis digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk **desalinasi air**, **pemurnian air limbah**, dan **pengolahan bahan kimia**. Teknologi ini sangat berguna dalam industri yang membutuhkan pemisahan ion-ion dengan efisiensi tinggi.

Ketiga mekanisme transportasi membran memiliki karakteristik yang berbeda dalam cara mereka memisahkan komponen-komponen dalam campuran. Berikut adalah perbandingan singkat:

Tabel 1.1 Perbandingan Mekanisme Transpostasi Membran

Mekanisme	Penggerak Transportasi	Aplikasi Utama
	Gradien konsentrasi	Pemisahan gas, desalinasi air
Konveksi	Gradien tekanan atau aliran	Ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, pengolahan air
Elektrodialisis	Medan listrik	Desalinasi, pemurnian ion, pengolahan bahan kimia

b. Faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi dan Permeabilitas Membran

Proses adsorpsi dan permeabilitas membran dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat memodulasi efisiensi dan kinerja sistem membran. Faktor-faktor ini termasuk **gradien konsentrasi**, **gradien tekanan**, dan **perbedaan suhu**. Memahami pengaruh masing-masing faktor ini penting untuk merancang sistem membran yang lebih efisien dalam aplikasi seperti pengolahan air, pemisahan gas, dan pemurnian bahan kimia. Pada sub bab ini, kita akan membahas bagaimana ketiga faktor ini mempengaruhi transportasi dan pemisahan dalam sistem membran.

1) Gradien Konsentrasi

Gradien konsentrasi adalah perbedaan konsentrasi antara dua sisi membran yang menyebabkan pergerakan molekul atau ion dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah. Proses ini terjadi karena difusi, di mana molekul bergerak secara spontan untuk mencapai kesetimbangan.

Pengaruh Gradien Konsentrasi pada Proses Adsorpsi dan Permeabilitas Membran:

- Semakin besar **gradien konsentrasi**, semakin cepat molekul atau ion akan bergerak melewati membran untuk mencapai kesetimbangan.
- Pada membran **reverse osmosis (RO)**, **gradien konsentrasi** air yang lebih besar antara dua sisi membran mempercepat proses permeasi air, karena air akan bergerak dari konsentrasi yang lebih rendah ke konsentrasi yang lebih tinggi untuk mengimbangi perbedaan tersebut.

- **Adsorpsi** pada permukaan membran juga akan meningkat seiring dengan peningkatan **gradien konsentrasi**, karena lebih banyak molekul atau ion yang tersedia untuk berikatan dengan permukaan adsorben

2) Gradien Tekanan

Gradien tekanan adalah perbedaan tekanan di kedua sisi membran yang mendorong aliran fluida melewati membran. Gradien tekanan ini sangat penting dalam proses **membran osmosis terbalik** dan **ultrafiltrasi**, di mana tekanan diterapkan untuk mendorong molekul atau ion melewati membran.

3) Perbedaan Suhu

Perbedaan suhu antara dua sisi membran juga memainkan peran penting dalam proses permeasi dan adsorpsi. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan energi kinetik molekul, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kecepatan difusi dan permeasi. Namun, suhu yang terlalu tinggi juga dapat merusak membran atau mempercepat proses **fouling**.

c. Jenis-Jenis Membran

Membran digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk memisahkan komponen-komponen dalam campuran berdasarkan ukuran, muatan, atau sifat fisik lainnya. Berbagai jenis membran dikembangkan dengan tujuan untuk memisahkan partikel dengan ukuran yang berbeda, dari partikel besar hingga molekul kecil dan ion. Pemilihan jenis membran yang tepat sangat penting untuk mencapai efisiensi dalam proses pemisahan dan pemurnian.

Pada sub bab ini, kita akan membahas lima jenis membran yang paling umum digunakan dalam berbagai industri.

1) Membran Mikrofiltrasi (MF)

- **Membran Mikrofiltrasi (MF)** adalah jenis membran dengan ukuran pori yang relatif besar, antara **0,1 hingga 10 mikrometer**. Membran ini digunakan untuk memisahkan partikel besar, seperti mikroorganisme, koloid, dan partikel besar lainnya dalam cairan. Proses **mikrofiltrasi** tidak memerlukan tekanan tinggi, dan digunakan terutama untuk **pemisahan partikel besar dan penyaringan mikroorganisme**.

2) Membran Ultrafiltrasi (UF)

- **Membran Ultrafiltrasi (UF)** memiliki ukuran pori yang lebih kecil daripada MF, biasanya **0,01 hingga 0,1 mikrometer**. Membran ini digunakan untuk memisahkan partikel yang lebih kecil, seperti **mikroorganisme, protein, dan kolagen**. Proses ultrafiltrasi memanfaatkan perbedaan tekanan untuk mengalirkan fluida melalui membran.

3) Membran Nanofiltrasi (NF)

- **Membran Nanofiltrasi (NF)** memiliki ukuran pori yang lebih kecil daripada ultrafiltrasi, yaitu sekitar **1 nanometer**. Membran ini dapat memisahkan molekul-molekul kecil dan ion divalen, seperti **kalsium dan magnesium**. Membran NF memiliki kemampuan untuk menyaring molekul berdasarkan ukuran dan muatannya, yang menjadikannya sangat efektif untuk aplikasi tertentu.

4) Membran Reverse Osmosis (RO)

- **Membran Reverse Osmosis (RO)** memiliki ukuran pori yang sangat kecil, biasanya di bawah 0,0001 mikrometer. Membran RO digunakan untuk memisahkan ion-ion dan molekul terlarut, seperti garam, gula, atau logam berat, dengan mengandalkan perbedaan tekanan tinggi. Proses osmosis terbalik ini bekerja dengan cara memaksa air melalui membran semi-permeabel, sementara ion dan partikel lainnya tertahan.

5) Membran Pervaporasi dan Dialisis

- **Membran Pervaporasi** adalah jenis membran yang digunakan untuk memisahkan campuran cairan dengan memanfaatkan perbedaan tekanan uap. Pada proses pervaporasi, cairan melewati membran dan menguap pada sisi satu dan kondensasi pada sisi lainnya. Proses ini sering digunakan untuk pemisahan campuran air dan alkohol.
- **Dialisis** adalah proses pemisahan berdasarkan perbedaan konsentrasi antara dua larutan yang dipisahkan oleh membran semipermeabel. Dialisis banyak digunakan dalam pengobatan, seperti dalam **terapi hemodialisis**, untuk memisahkan limbah metabolik dari darah pasien.

DAFTAR PUSTAKA



- Adam, M. R., Shafie, M. H., Hubadillah, S. K., Aziz, M. H. A., Jamalludin, M. R., & Nasir, A. M. (2023). The Pilot-Scale Membrane Distillation Systems for Wastewater Treatment: A Mini-Review. *Journal of Applied Membrane Science & Technology*, 27(1), 63–77. <https://doi.org/10.11113/amst.v27n1.264>
- Aldana, J. C., Agudelo, C., Álvarez, P. M., & Acero, J. L. (2024). Removal of Micropollutants in Water Reclamation by Membrane Filtration: Impact of Pretreatments and Adsorption. *Membranes*, 14(7), 146. <https://doi.org/z10.3390/membranes14070146>
- Aryanti, P. T. P., Nugroho, F. A., Widiassa, I. N., Sutrisna, P. D., & Wenten, I. G. (2022). <scp>Preparation of Highly Selective PSf</scp>/<scp>ZnO</scp>/<scp>PEG400 Tight Ultrafiltration Membrane for Dyes Removal</Scp>. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(33). <https://doi.org/10.1002/app.52779>
- Bhardwaj, K., Kumar, A., & Boora, N. (2024). *Desalination and Advanced Water Treatment*. 19–36. <https://doi.org/10.58532/v3bars5p1ch2>
- Boughdiri, A., Kostantini, K., Zouaghi, M., & Ferjani, E. El. (2023). *Treatment of Effluent Textile Using Nanofiltration: Study*

- of Fouling and Antifouling*. <https://doi.org/10.11648/j.wjac.20230802.14>
- Elhady, S., Bassyouni, M., Mansour, R. A., Elzahar, M. H., Abdel-Hamid, S. M. S., Elhenawy, Y., & Saleh, M. Y. (2020). Oily Wastewater Treatment Using Polyamide Thin Film Composite Membrane Technology. *Membranes*, 10(5), 84. <https://doi.org/10.3390/membranes10050084>
- Environment Protection Engineering Membrane Techniques In Wastewater Treatment*. (t.t.).
- Firdaus, A. A. F., Slamet, A., Yuniarto, A., & Said, N. I. (2024). Removal of Total Phosphate and Sulfate From Industrial Wastewater by Recirculating Flow in Nanofiltration. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1307(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1307/1/012020>
- Ghadhban, M. Y., Majdi, H. Sh., Rashid, K. T., Alsahy, Q. F., Lakshmi, D. S., Salih, I. K., & Figoli, A. (2020). Removal of Dye From a Leather Tanning Factory by Flat-Sheet Blend Ultrafiltration (UF) Membrane. *Membranes*, 10(3), 47. <https://doi.org/10.3390/membranes10030047>
- Gowayed, S. M., Abdel-Salam, A. H., Nassef, E., & Morsy, A. (2025). Innovative Hybrid Membrane: Pioneering Metal Oxide Framework for Improved Elimination of Heavy Metals From Industrial Wastewater. *Polymer Engineering & Science*, 65(4), 2093–2105. <https://doi.org/10.1002/pen.27139>
- Guo, Y., Feng, H., Zhang, L., Wu, Y., Lan, C., Tang, J., Wang, J., & Tang, L. (2024). Insights Into the Mechanism of Selective Removal of Heavy Metal Ions by the Pulsed/Direct Current Electrochemical Method.

- Environmental Science & Technology*, 58(12), 5589–5597. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c10553>
- Kayhan, Y., Çifçi, D. İ., Güneş, E., & Güneş, Y. (2025). Dye Manufacturing Wastewater Treatment by Adsorption and Fenton Processes: Performance Evaluation and Cost Analysis. *Clean - Soil Air Water*, 53(8). <https://doi.org/10.1002/clen.70034>
- Khraisheh, M., Elhenawy, S., Almomani, F., Al-Ghouti, M. A., Hassan, M. K., & Hameed, B. H. (2021). Recent Progress on Nanomaterial-Based Membranes for Water Treatment. *Membranes*, 11(12), 995. <https://doi.org/10.3390/membranes11120995>
- Kumari, S., Širić, I., & Fayssal, S. A. (2023). Biochar as a Versatile Resource for Achieving Sustainability in Agri-Food Chains. *Agroenvironmental Sustainability*, 1(1), 76–85. <https://doi.org/10.59983/s20230101010>
- Liang, Y., & Knauer, K. M. (2023). Trends and Future Outlooks in Circularity of Desalination Membrane Materials. *Frontiers in Membrane Science and Technology*, 2. <https://doi.org/10.3389/frmst.2023.1169158>
- Mao, X., Cai, J., Wu, R., & Liu, B. (2024). Mechanistic Insights Into Micelle-Enhanced Nanofiltration for Heavy Metal Removal: Transformation of Ion Transport and Fouling Phenomena. *Environmental Science & Technology*, 58(31), 13940–13949. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c03741>
- Mohammed, A. A., Al-Jubouri, S. M., Zouli, N., Majdi, H. S., Salih, I. K., Al-Shaeli, M., . A. M. I. A.-R., Alsahy, Q. F., & Figoli, A. (2021). Performance Evaluation of Polyethersulfone Membranes for Competitive Removal of Cd²⁺, Co²⁺, and Pb²⁺ Ions From Simulated Groundwater. *Geofluids*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/6654477>

- Munoz-Cupa, C., Bassi, A., & Liu, L. (2022). Investigation of Micellar-enhanced Ultrafiltration (<scp>MEUF</Scp>) Using Rhamnolipid for Heavy Metal Removal From Desalter Effluent. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 100(9), 2322–2330. <https://doi.org/10.1002/cjce.24422>
- Nafti-Mateur, M., Pochat-Bohatier, C., Horchani-Naifer, K., Jaouadi, M., & Ennigrou, D. J. (2025). Removal of Lead Ions From Aqueous Solutions <i>via</i> Polyelectrolyte Enhanced Ultrafiltration and Nanofiltration: Efficacy Evaluation of Chitosan, Polyethylenimine, and Polyacrylic Acid. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 100(10), 2065–2077. <https://doi.org/10.1002/jctb.70016>
- Negrete-Cardoso, M., Rosano-Ortega, G., Álvarez-Aros, É. L., Cortés, M. E. T., Lebrún, C. A. V., & Sánchez-Ruíz, F. J. (2022). Circular Economy Strategy and Waste Management: A Bibliometric Analysis in Its Contribution to Sustainable Development, Toward a Post-Covid-19 Era. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(41), 61729–61746. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18703-3>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Stylianou, M., Naddeo, V., Ksibi, M., Zarra, T., & Zorpas, A. A. (2024). Sustainable Production and Consumption. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 9(4), 2003–2008. <https://doi.org/10.1007/s41207-024-00594-0>
- Somrani, A., Abohelal, K., & Pontié, M. (2025). A Mini Review of Reused End-of-Life Reverse Osmosis (EoL RO) Membranes. *Membranes*, 15(7), 217. <https://doi.org/10.3390/membranes15070217>

- Wang, S., Zhang, D., Wang, W., Zhong, J., Feng, K., Wu, Z., Du, B., He, J., Li, Z., He, L., Sun, W., Yang, D., & Ozin, G. A. (2022). Grave-to-Cradle Upcycling of Ni From Electroplating Wastewater to Photothermal CO₂ Catalysis. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33029-x>
- Wu, X.-Q., Zhang, W., Yin, P., Xu, Q., Yang, Z., Xu, Y., Liu, X., Wang, F., Wang, Y., & Cai, H. (2023). Facile Fabrication of Highly Efficient Bifunctional Polydopamine-polyethyleneimine Copolymerization-modified Magnetic Material and Its Effective Applications for Both Adsorption of Gold Ions and Catalytic Reduction of 4-nitrophenol. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(10). <https://doi.org/10.1002/app.55043>
- Xie, W., Li, T., Tiraferri, A., Drioli, E., Figoli, A., Crittenden, J. C., & Liu, B. (2020). Toward the Next Generation of Sustainable Membranes From Green Chemistry Principles. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(1), 50–75. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c07119>
- Zhang, W., Wang, H., Liu, Y., Guo, J., & Yu, Y. (2022). Influence of Pollutant Concentration on the Separation Efficiency of Chelating Membranes for Removing Simultaneously Metal Ions and Proteins From Simulated Industrial Wastewater. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(9), 2477–2486. <https://doi.org/10.1002/jctb.7108>