



Prinsip dan Aplikasi Membran Distilasi

Muthia Elma

Materials and Membranes Research Group (M²ReG)

2024



Prinsip dan Aplikasi Membran Distilasi

Muthia Elma



Prinsip dan Aplikasi Membran Distilasi

Penulis:

Muthia Elma

Kontributor:

Arun Dwi Nugroho, Muhammad Helmi, Chachay Talia Lalin,
Jessie Catherina S., Sanah, Rusdah Musdahlipah, Zikri Daffa
Aulia Madani, Alvira Andraini, Malla Firma Erlysia, Rhafiq
Abdul Ghani, Aulia Rahma, Zahratunnisa, Evia Salma Zaurida

Desain Sampul:

Gusti Ratu Sri Dewi

Editor:

Zahratunnisa

Evia Salma Zaurida

Noviani

PENERBITAN:

ULM Press, 2024

d/a Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan ULM

Lantai 2 Gedung Perpustakaan Pusat ULM

Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin 70123

Telp/Fax. 0511 - 3305195

ANGGOTA APPTI (004.035.1.03.2018)

Hak cipta dilindungi oleh Undang Undang Dilarang

memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa

izin tertulis dari Penerbit, kecuali

untuk kutipan singkat demi penelitian ilmiah dan resensi

I - XIII + 142 hal, 15,5 × 23 cm

Cetakan Pertama Desember 2024

ISBN : 978-623-8239-73-3

PRAKATA

Dengan berkembangnya teknologi dan pengetahuan di era globalisasi, kebutuhan akan inovasi dan efisiensi dalam berbagai industri semakin mendesak. Salah satu teknologi yang muncul sebagai solusi penting dalam menghadapi tantangan ini adalah membran distilasi. Buku ini, "Prinsip dan Aplikasi Membran Distilasi", hadir untuk memberikan pemahaman mendalam tentang teknologi tersebut, baik dari sisi prinsip dasar maupun aplikasinya di industri.

Membran distilasi adalah teknologi yang menarik karena menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi energi, selektivitas tinggi, dan fleksibilitas operasional. Setiap bab dirancang untuk memberikan gambaran jelas dan terstruktur, sehingga pembaca dapat mengikuti perkembangan teknologi ini dengan mudah.

Tidak hanya teori, buku ini juga menyajikan berbagai aplikasi praktis membran distilasi. Dengan demikian, buku ini tidak hanya relevan bagi para peneliti dan profesional yang sudah berkecimpung dalam bidang teknologi membran, tetapi juga bagi mahasiswa dan akademisi yang ingin memperdalam pengetahuan mereka.

Penulisan buku ini didasarkan pada hasil-hasil penelitian yang telah diterbitkan di jurnal nasional dan internasional, yang mencerminkan keahlian penulis dalam bidang ini. Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang berharga dan membantu pembaca untuk mengaplikasikan teknologi membran distilasi dalam berbagai konteks praktis.

Kami berterima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penulisan dan penyuntingan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas dan mendalam bagi semua pembaca.

KATA PENGANTAR EDITOR

Buku dengan judul "**Prinsip dan Aplikasi Membran Distilasi**" ini ditulis dan disusun oleh penulis dengan tujuan untuk menambah ilmu dan pengetahuan terutama dalam bidang membran distilasi. Dalam konteks bidang teknologi membran, buku ini diharapkan akan semakin menambah kemutakhiran pengetahuan pembaca. Seiring berkembangnya dunia global, maka kemajuan teknologi juga semakin pesat. Oleh karena itu, pengetahuan akan informasi teknologi sangat diperlukan untuk dapat beradaptasi dengan kemajuan dunia.

Membran distilasi merupakan teknologi yang semakin penting dalam berbagai industri, termasuk pengolahan air, pemisahan kimia, dan produksi makanan dan minuman. Keunggulan utamanya yang meliputi efisiensi energi, selektivitas tinggi, dan fleksibilitas operasional menjadikannya solusi yang menarik untuk berbagai tantangan pemisahan.

Dalam buku ini, pembaca akan menemukan penjelasan rinci tentang prinsip dasar membran distilasi, mulai dari mekanisme transportasi massa hingga desain dan karakterisasi membran. Selain itu, buku ini juga membahas aplikasi praktis dari teknologi ini dalam berbagai konteks

industri, serta tantangan dan peluang yang dihadapi dalam penerapannya.

Teknologi membran yang diangkat dari buku ini merupakan bidang keahlian dari penulis, sehingga pembaca akan merasakan detail ilmu yang dituangkan. Tulisan-tulisan yang ada di buku ini banyak diambil dari hasil-hasil penelitian yang telah diterbitkan pada jurnal nasional maupun internasional.

Kami berharap buku ini tidak hanya bermanfaat bagi para peneliti dan profesional yang terlibat langsung dalam teknologi membran, tetapi juga bagi mahasiswa dan akademisi yang ingin memperdalam pengetahuan mereka di bidang ini. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang prinsip dan aplikasi membran distilasi, kami percaya bahwa pembaca akan dapat berkontribusi lebih signifikan dalam pengembangan dan penerapan teknologi ini. Data-data yang disajikan pada buku ini disusun dan disitasi oleh tim dari berbagai sumber referensi yang berkualitas. Selain itu buku ini telah melalui proses editing sesuai yang dipersyaratkan UU No 3 Tahun 2017.

Editor,

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
KATA PENGANTAR EDITOR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Membran Distilasi	4
BAB II SEJARAH DAN NOMENKLATUR MEMBRAN DISTILASI.....	7
2.1 Sejarah Membran.....	7
2.2 Konsep dan Nomenklatur Membran Distilasi	11
BAB III MEKANISME PROSES MEMBRAN DISTILASI	25
3.1 Mekanisme Pemisahan pada Membran Distilasi	25
BAB IV ASPEK ENGINEERING MEMBRAN DISTILASI....	43
4.1 Karakteristik Membran Distilasi	43
4.2 Jenis Membran dan Konfigurasi Modul Membran Distilasi	48
BAB V TEORI FUNDAMENTAL MEMBRAN DISTILASI ..	63

5.1 Model Perpindahan massa melalui MD	63
5.2 Model Perpindahan panas pada MD	72
BAB VI APLIKASI MEMBRAN DISTILASI	79
6.1 Desalinasi Air Payau dan Air Laut	79
6.2 Pengolahan <i>Brine Water</i>	84
6.3 Pengolahan Air Limbah	90
6.4 Perbandingan Aplikasi MD dengan Proses Membran Lain.....	96
BAB VII PROSPEK KEDEPAN APLIKASI MEMBRAN DISTILASI.....	108
HALAMAN INDEX	117
TENTANG PENULIS	123
DAFTAR PUSTAKA.....	124
GLOSARIUM.....	138

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Kelebihan dan Kekurangan Setiap Jenis Konfigurasi Membran Distilasi	57
Tabel 6.1 Perbandingan Manfaat Penggunaan Membran Distilasi dengan Metode Tradisional.....	92
Tabel 6.2 Keunggulan dan Kekurangan MD pada Desalinasi Air Laut	99
Tabel 6.3 Keunggulan dan Kekurangan MD pada Pengolahan Air Limbah.....	100
Tabel 6.4 Keunggulan dan Kekurangan MD pada Pemisahan Larutan.....	101
Tabel 6.5 Keuntungan dan Kekurangan Proses <i>Reverse Osmosis</i> (RO).....	103
Tabel 6.6 Keuntungan dan Kekurangan Proses Pervaporasi.....	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema Proses Pemisahan dengan Membran (PT. DELTA PURO INDONESIA, 2024).....	3
Gambar 2.1 Diagram Alir Sejarah Teknologi Membran	11
Gambar 2.2 Diagram Proses Pada Membran Distilasi (Febriani, 2015).....	14
Gambar 3.1 Ilustrasi proses desalinasi dari membran distilasi	27
Gambar 3.2 Modul Spiral dengan Diagram Skema untuk Saluran.....	40
Gambar 3.3 Prinsip proses Memstill (Alkhudhiri and Hilal, 2018b).....	41
Gambar 3.4 Prinsip distilasi membran Memsys V-ME	42
(Alkhudhiri and Hilal, 2018b)	42
Gambar 4.1 Konfigurasi <i>Direct Contact Membrane Distillation</i> (DCMD).....	50
Gambar 4.4 Konfigurasi <i>Liquid Gap Membrane Distillation</i> (LGMD)	54
Gambar 4.5 Konfigurasi <i>Thermostatic Sweeping Gas Membrane Distillation</i> (TSGMD)	55
Gambar 4.6 Konfigurasi <i>Vacuum Membrane Distillation</i> (VMD)	56

Gambar 5.1 Perpindahan Panas dan Perpindahan Massa pada Membran DCMD73

Gambar 6.1 Klasifikasi Proses Desalinasi Air Laut (Said, 2010)82

Gambar 7.1 Integrasi MD dengan Panel Surya 116

HALAMAN INDEX

A

air, v, 1, 4, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 23, 26, 27, 28, 29,
31, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 45, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56,
61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82,
83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97,
98,99, 100, 101, 107, 108, 109, 111, 114, 121, 123, 125,
126, 127

B

bioreaktor, 1, 2

D

desalinasi, x, 6, 9, 14, 19, 20, 28, 40, 41, 49, 67, 78, 79, 80,
81, 83, 95, 96, 99, 105, 106, 113, 126 difusi, 8, 16, 20, 26,
27, 29, 30, 31, 32, 37, 39, 61, 63, 64, 68,
69, 98, 102 distilasi, iv, v, vi, x, 1, 2, 4, 5, 6, 12, 13, 14,
23, 24, 26, 27, 28,

29, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53,
55, 58, 59, 61, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 78, 83, 84, 85, 86, 87,
88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 101, 103, 105, 113

E

energi, iv, v, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 34, 35, 40, 41, 45, 71, 75, 78,
79, 83, 96, 100, 101, 103, 105, 107, 113

F

fasa, 13, 18, 45 feed bulk, 29, 33 fluida, 28, 35, 36, 72, 75
fluks, 12, 14, 32, 33, 34, 35, 39, 51, 58, 59, 67, 68, 69, 71,
74,
80, 99, 107 fouling, 6, 84, 86,
100, 106, 125, 128 fraksi, 64, 67,
68, 74

H

hidrofobik, 4, 5, 12, 13, 26, 27, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41,
42, 44, 45, 46, 47, 50, 54, 61, 104, 110, 113

K

kapiler, 24, 35, 36, 38, 75 koefisien, 17, 29, 31, 33, 64,
67, 69, 72, 75 komposit, 46, 73 kondensasi, 5, 10, 14,
25, 34, 36, 41, 45, 49, 50, 52, 57, 58,
60, 78 konduksi, 26, 29, 34, 35, 50, 56, 57,
71, 74, 75, 80

L

laten, 14, 24, 33, 34, 35, 45, 70, 71, 75 limbah, 1, 6, 11, 17,
19, 23, 76, 80, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,
93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 108, 109, 112

M

massa, v, viii, 13, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 45, 53, 55,
56, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 74, 80, 84, 85, 98, 113
membran, iv, v, vi, x, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49,
50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69,
70, 71, 72, 73, 74, 75, 78, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87,
88, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103,

104, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 120 mikrofiltrasi, 2,
105 mikropori, 3, 4, 12, 27, 41 modul, 7, 32, 40, 44, 48,
49, 50, 52, 53, 54, 72, 74, 75, 105,
106

N

nanofiltrasi, 2, 105

O

osmosis balik, 2, 20, 99

osmotik, 79, 84, 111

P

panas, viii, 5, 6, 14, 24, 25, 26, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 39, 40,
41, 42, 45, 48, 50, 53, 56, 57, 58, 59, 69, 70, 71, 72, 74, 75,
78, 80, 96, 103, 104, 111,

113 patogen, 1, 11 pelat,

44, 59

permeabel, 6, 19, 23, 49, 82, 83, 102 permeabilitas, 2, 4, 9,
17, 19, 20, 21, 22, 25, 30, 31, 47, 63, 65,

66 permeat, 5, 12, 14, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34,
35, 38,

40, 48, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 59, 61, 64, 67, 68, 70, 71, 72,
74, 80, 102, 111, 113

Pervaporasi, viii, 101, 102,
103 polimer, 3, 9, 18, 22, 45, 46,
47, 98 pulp, 90, 94, 111

R

reverse osmosis, 6

Reverse osmosis, viii, 9, 78, 79, 96, 98, 99, 104

S

suhu, 4, 5, 12, 13, 14, 26, 28, 30, 32, 34, 35, 38, 44, 45, 48,
49, 53, 57, 58, 60, 61, 70, 71, 73, 75, 80, 85, 96, 99, 100,
102, 103, 113

T

tekanan, 2, 5, 9, 12, 13, 14, 18, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 35, 36,
38, 42, 44, 45, 48, 49, 54, 58, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69,
70, 75, 78, 79, 82, 85, 86, 99, 102, 105 termal, 4, 5, 13,
14, 24, 26, 27, 32, 34, 43, 45, 47, 50, 57, 58,
59, 71, 72, 73, 74, 78, 96, 113
tubular, 44, 121

U

udara, 5, 23, 31, 32, 38, 49, 50, 52, 57, 62, 63, 64, 65, 66, 75,
80, 88
ultrafiltrasi, 2,
105

V

volatil, 5, 6, 13, 14, 26, 101, 102

Z

zat, 1, 2, 4, 6, 16, 17, 19, 20, 22, 25, 26, 29, 36, 38, 48, 49, 51,
52, 53, 58, 77, 90, 95, 96, 97, 98, 100, 102, 104, 107, 109, 111,
112

TENTANG PENULIS

Muthia Elma memulai karirnya sebagai dosen di Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat (ULM) sejak tahun 2002. Pendidikan Sarjananya diperoleh dari jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, kemudian melanjutkan program Master di Ecole Des Mines De Nantes, Prancis. Selanjutnya gelar Doktor diperoleh dari School of Chemical Engineering the University of Queensland, Australia. Selain menjadi dosen, Muthia memiliki pengalaman bekerja di beberapa universitas, seperti: Universitas Riau dan di FIMLAB (Inorganic Laboratory and Film Laboratory), Chemical Engineering School, University of Queensland, Australia. Serta pengalaman bekerja di beberapa perusahaan seperti: Gaz de France Prancis, PDAM Banjar Kalimantan Selatan, dll.

Selama mengajar di ULM, Muthia pernah menjabat sebagai Kepala Laboratorium Operasi Teknik, Laboratorium Teknologi Proses, Fakultas Teknik – FT – ULM dan sebagai Wakil Direktur Bidang Umum dan Keuangan Program Pascasarjana ULM. Sekarang sebagai sekretrasi Dewan Pengawas BLU Universitas Lambung Mangkurat. Muthia telah berhasil melakukan beberapa penelitian dan pengabdian kepada masyarakat baik dari dalam (DRPM, BRG) dan luar negeri (ANU, Australia Awards). Muthia juga telah menulis beberapa buku bahan ajar dan buku-buku tentang teknologi membran.

DAFTAR PUSTAKA

- ABID, M. B., WAHAB, R. A., SALAM, M. A., MOUJDIN, I. A. & GZARA, L. 2023. Desalination technologies, membrane distillation, and electrospinning, an overview. *Heliyon*, 9, e12810.
- ALHATHAL ALANEZI, A., BASSYOUNI, M., ABDEL-HAMID, S. M., AHMED, H. S., ABDEL-AZIZ, M. H., ZOROMBA, M. S. & ELHENAWY, Y. 2021. Theoretical investigation of vapor transport mechanism using tubular membrane distillation module. *Membranes*, 11, 560.
- ALKHUDHIRI, A., DARWISH, N. & HILAL, N. 2012. Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, 2e18.
- ALKHUDHIRI, A. & HILAL, N. 2018a. *Emerging Technologies for Sustainable Desalination Handbook*, Oxford, Mathew Deans.
- ALKHUDHIRI, A. & HILAL, N. 2018b. *Membrane distillation—Principles, applications, configurations, design, and implementation. Emerging technologies for sustainable desalination handbook*. Elsevier.
- ALSAADI, A., FRANCIS, L., AMY, G. & GHAF FOUR, N. 2014. Experimental and theoretical analyses of temperature polarization effect in vacuum membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 471(138-148).
- ALSAADI, A. S., GHAF FOUR, N., LI, J.-D., GRAY, S., FRANCIS, L., MAAB, H. & AMY, G. L. 2013. Modeling of air-gap membrane distillation process: A theoretical and experimental study. *Journal of membrane science*, 445, 5365.

- ATIKAH MOHD NASIR, P., ADAM, M. R., AQMAR, S. N. E., KAMAL, M., MOHD, J. J., OTHMAN, H. D., ISMAIL, A. F., AZIZ, F., YUSOF, N., BILAD, M. R., MOHAMUD, R., RAHMAN, M. A. & SALLEH, W. N. W. 2022. A Review of The Potential of Conventional and Advanced Membrane Technology in The Removal of Pathogens From Wastewater. Separation and Purification Technology 286
- ATTIA, H., OSMAN, M., JOHNSON, D., WRIGHT, C. & HILAL, N. 2017. Modelling of air gap membrane distillation and its application in heavy metals removal. Desalination, 424, 2736.
- BANDINI, S., SAAVEDRA, A. & SARTI, G. 1997. Vacuum Membrane Distillation Aische Journal, 43(2).
- BERNARDO, P. & CLARIZIA, G. 2013. 30 Years of Membrane Technology for Gas Separation. Chemical Engineering Transaction.
- CALIBO, R. L., MATSUMURA, M., TAKAHASHI, J. & KATAOKA, H. 1987. Ethanol stripping by pervaporation using porous PTFE membrane. J.Ferment Technol, 65, 665-674.
- CAMACHO, L. M., DUMÉE, L., ZHANG, J., LI, J.-D., DUKE, M., GOMEZ, J. & GRAY, S. 2013. Advances in membrane distillation for water desalination and purification applications. Water, 5, 94-196.
- CHEN, G., LU, Y., YANG, X., WANG, R. & FANE, A. 2014. Quantitative study on crystallization-induced scaling in highconcentration direct-contact membrane distillation. Industrial dan Engineering Chemistry Research, 53(40).

- CHRISTIE, K. 2023. Membrane distillation–crystallization for sustainable carbon utilization and storage. *Environmental Science & Technology*, 57(43).
- DINDORE, V., BRILMAN, W., GEUZEBROEK, F. & VERSTEEG, G. 2004. Membrane–solvent selection for co2 removal using membrane gas–liquid contactors. *Separation and Purification Technology*, 40(2), 133-145.
- DRIOLI, E. 2018. *Membrane Distillation*, Mdpi AG.
- ENRICO DRIOLI, A. A., FRANCESCA MACEDONIO 2015. *Membrane distillation: Recent developments and perspectives*, Desalination. 356, 56-84.
- ERNAWATI, S., SRI, E. R., SUPRIHATIN & YENISBAR 2019. *Potensial Medisinal Karamunting (Rhodomyrtus Tomentosa)*, Jakarta, Unas Press.
- ESSALHI, M. & KHAYET 2015a. *Progress In Filtration and Separation*. Elsevier.
- ESSALHI, M. & KHAYET, M. 2013. Self-sustained webs of polyvinylidene fluoride electrospun nanofibers at different electrospinning times: 1. Desalination by direct contact membrane distillation. *Journal of membrane science*, 433, 167-179.
- ESSALHI, M. & KHAYET, M. 2015b. *Fundamentals of membrane distillation. Pervaporation, vapour permeation and membrane distillation*. Elsevier.
- FEBRIANI, Y. 2015. *Distilasi Membran Dalam Pengolahan Air dan Limbah*. 5, 5-11.

- FRANCIS, L., GHAFFOR, N., ALSAADI, A. & AMY, G. 2013. Material gap membrane distillation: a new design for water vapor flux enhancement. *Journal of Membrane Science*, 448, 240-247.
- FUJII, Y., KIGOSHI, S., IWATANI, H. & AOYAMA, M. 1992. Selectivity and characteristics of direct contact membrane distillation type experiment. I. Permeability and selectivity through dried hydrophobic fine porous membranes. *Journal of membrane science*, 72, 53-72.
- GHANI, R. A., ELMA, M., RAHMA, A. & WAHYU, W. 2024. An Insight of TiO₂ and Spent Bleaching Earth (SBE) Effect of Phase Crystalline Structures for PVDF Hollow Fiber Membrane. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 10, 143-157.
- GOSWAMI, K. P. & PUGAZHENTHI, G. 2020. Credibility of polymeric and ceramic membrane filtration in the removal of bacteria and virus from water: A review. *Journal of Environmental Management*.
- GRYTA, M., EVERSON, E. M., ŻYŁA, G., ROBIENIEC, P. & KUJAWSKI, W. 2009. Membrane Distillation: A Versatile Separation Process for Water and Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Science*, 15, 3441-3451.
- GRYTA, M. & TOMASZEWSKA, M. 1998. Heat transport in the membrane distillation process. *Journal of membrane science*, 144, 211-222.
- GRYTA, M., TOMASZEWSKA, M. & MORAWSKI, A. 1997. Membrane distillation with laminar flow. *Separation and Purification Technology*, 11, 93-101.

- GUAN, G., YANG, X., WANG, R., FIELD, R. & FANE, A. 2014. Evaluation of hollow fiber-based direct contact and vacuum membrane distillation systems using aspen process simulation. *Journal of Membrane Science*, 464, 127-139.
- HARLING, V. N. V. 2020. Analisis Volume Air Tawar yang Dihasilkan dari Variasi Jarak antara Lensa pada Alat Penyulingan Air Laut. *Jurnal SOSCIED*, 3.
- HE, K., HWANG, H. & MOON, I. 2011. Air gap membrane distillation on the different types of membrane. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 770-777.
- HEINZL, W., BÜTTNER, S. & LANGE, G. 2012. Industrialized modules for MED Desalination with polymer surfaces. *Desalination and water treatment*, 42, 177-180.
- ISAH, A., TAKAIJUDIN, H. & SINGH, B. 2022. Principles and modes of distillation in desalination process. *Desalination*.
- JAGGERS, R. W., CHEN, R. & BON, S. A. F. 2016. Control of Vesicle Membrane Permability With Catalytic Particles. *Royal Society of Chemistry*.
- JUANG, R. S., LIN, S. H. & YANG, M. C. 2005. Mass transfer analysis on air stripping of VOCs from water in microporous hollow fibers. *Journal Membrane Science*, 255, 79-87.
- JUNG, W., CHOE, Y., KIM, T., OK, J., LEE, H. & KIM, Y. 2022. High-permeability vacuum membrane distillation utilizing mechanically compressed carbon nanotube membranes. *RSC Advances*, 12(1), 201-206.
- KARANASIOU, A., KOSTOGLU, M. & KARABELAS, A. 2018. An experimental and theoretical study on separations by vacuum

membrane distillation employing hollow-fiber modules. *Water*, 10(7).

KARANIKOLA, V., CORRAL, A., JIANG, H., SAEZ, A., ELA, W. & ARNOLD, R. 2017. Effects of membrane structure and operational variables on membrane distillation performance. *Journal of Membrane*, 524.

KEBRIA, M. R. S. & RAHIMPOUR, A. 2020. Membrane distillation: basics, advances, and applications. *Advances in membrane technologies*.

KHAYET, M. 2011a. Membranes and theoretical modeling of membrane distillation: A Review. *Advances in Colloid and Interface Science*. 164, 56-88.

KHAYET, M. 2011b. Membranes and theoretical modeling of membrane distillation: A review. *Advances in colloid and interface science*, 164, 56-88.

KHAYET, M. & MATSUURA, T. 2004. Pervaporation and vacuum membrane distillation processes: modeling and experiments. *AICHEJ*, 50, 1697-1712.

KHAYET, M. & MATSUURA, T. 2011a. *Membrane distillation*, Elsevier.

KHAYET, M. & MATSUURA, T. 2011b. Thermally induced phase separation for MD membrane formation. *Membrane Distillation*, 89-120.

KHAYET, M., MATSUURA, T., MENGUAL, J. & QTAISHAT, M. 2006. Design of novel direct contact membrane distillation membranes. *Desalination*, 192, 105-111.

- KORNGOLD, E. & KORIN, E. 1993. Air sweep water pervaporation with hollow fiber membranes. *Desalination*, 91, 187-197.
- KOYUNCU, B. N. & TOPRAK, Z. 2019. Membran distillation for desalination: A review of recent trends and emerging perspectives. *Desalination and Water Treatment*, 125, 1-24.
- KRISDIARTO, A. W., FERHAT, A. & BIMANTIO, M. P. 2020. Penyediaan Air Bagi Masyarakat Pesisir Terdampak Kekeringan dengan Teknologi Desalinasi Air Laut Sederhana. *JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT DIKEMAS*, 4.
- LAWSON, K. W. & LLOYD, D. R. 1997. Membrane distillation. *Journal of membrane Science*, 124, 1-25.
- LEE, J.-G., ALSAADI, A. S., KARAM, A. M., FRANCIS, L., SOUKANE, S. & GHAF FOUR, N. 2017. Total water production capacity inversion phenomenon in multi-stage direct contact membrane distillation: A theoretical study. *Journal of membrane science*, 544, 126-134.
- LINGO, J., BERG, J. W. V. D. & HOEKSTRA, A. Y. 2010. Membrane Distillation: A Versatile Separation Process for Water and Wastewater Treatment. *Desalination and Water Treatment*, 1-3, 232-245.
- LOKARE, O., TAVAKKOLI, S., WADEKAR, S., KHANNA, V. & VIDIC, R. 2017. *Fouling* in direct contact membrane distillation of produced water from unconventional gas extraction. *Journal of membrane Science*, 524, 493-501.
- LU, K.-J., WANG, P. & CHUNG, T.-S. 2021. Chapter 23 - Hollow fiber membranes for membrane distillation applications. In:

- CHUNG, T.-S. & FENG, Y. (eds.) *Hollow Fiber Membranes*. Elsevier.
- LU, K., ZUO, J., CHANG, J., KUAN, H. & CHUNG, T. 2018. Omniphobic hollow-fiber membranes for vacuum membrane distillation. *Environmental Science & Technology*, 52(7), 4472-4480.
- LU, Y. & LIAO, A. 2013. Modeling and experimental study on airgap membrane distillation. *Asian Journal of Chemistry*, 25(12), 6873-6876.
- MA, X., YAO, Z. K., YANG, Z., GUO, H., XU, Z. L., TANG, C. Y. & ELIMELECH, M. 2018. Nanofoaming of Polyamide Desalination Membranes of Tune Permability and Selectivity. *Enviromental Science and Technology Letters*.
- MAHMUD, H., KUMAR, A., NARBAITZ, R. M. & MATSUURA, T. 1998. Membrane air stripping: a process for removal of organics from aqueous solutions. *Sep. Sci. Technol*, 33, 2241-2255.
- MANNELLA, G., CARRUBBA, V. & BRUCATO, V. 2011. Evaluation of vapor mass transfer in various membrane distillation configurations: an experimental study. *Heat and Mass Transfer*, 48(6), 945-952.
- MEIDINARIASTY, A. 2019. Uji Kinerja Membran Mikrofiltrasi Dan Reverse Osmosis Pada Proses Pengolahan Air Reservoir Menjadi Air Minum Isi Ulang. *KINETIKA*, 10, 35-41.
- MEINDERSMA, G. W., GUIJT, C. M. & DE HAAN, A. B. 2006. Desalination and water recycling by air gap membrane distillation. *Desalination*, 187, 291-301.

- MENGUAL, J., KHAYET, M. & GODINO, M. 2004. Heat and mass transfer in vacuum membrane distillation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 865-875.
- MONNEER, A. A. 2023. The potential of hybrid electrocoagulationmembrane separation processes for performance enhancement and membrane *fouling* mitigation: A review *National Institute of Oceanography and Fisheries, NIOF, Cairo, Egypt*, 269-282.
- MONIS BIN ABID, R. A. W., MOHAMED ABDEL SALAM, IQBAL AHMED MOUJDIN, LASSAAD GZARA 2023. Desalination technologies, membrane distillation, and electrospinning, an overview. *Heliyon*, 9.
- NAGY, E. 2019. Chapter 19 - Membrane Distillation. In: NAGY, E. (ed.) *Basic Equations of Mass Transport Through a Membrane Layer (Second Edition)*. Elsevier.
- NAIDU, G., SHIM, W., JEONG, S., CHOI, Y., GHAF FOUR, N. & VIGNESWARAN, S. 2017. Transport phenomena and *fouling* in vacuum enhanced direct contact membrane distillation: experimental and modelling. *Separation and Purification Technology*, 172, 285-295.
- PANGARKAR, B., DESHMUKH, S., SAPKAL, V. & SAPKAL, R. 2016. Review of membrane distillation process for water purification. *Desalination and Water Treatment*, 57, 2959-2981.
- PARK, S. & LEE, S. 2019. Influence of hydraulic pressure on performance deterioration of direct contact membrane distillation (dcmd) process. *Membranes*, 9(3), 37.

- PENG, Y., DING, J. & LI, B. 2015. Vacuum membrane distillation for desalination: An overview and outlook. *Journal of Membrane Science*, 479, 272-281.
- PHATTARANAWIK, J., JIRARATANANON, R. & FANE, A. G. 2003. Heat transport and membrane distillation coefficients in direct contact membrane distillation. *Journal of membrane science*, 212, 177-193.
- PRAWIRA, J. 2017. Karakteristik Membran Dan Pengaruhnya Terhadap Kinerja Proses Distilasi Membran. *Delft University of Technology*, 3, 0-11.
- PUJA, I. G. K. & SAMBADA, F. R. 2022. Efek Karbon Nano Pada Efisiensi Distilasi Air Energi Matahari. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17, 231-240.
- RAGETISVARA, A. A. & TITAH, H. S. 2021. Studi kemampuan desalinasi air laut menggunakan sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada kapal pesiar. *Jurnal Teknik ITS*, 10, F68-F75.
- RAVAL, H. & SUNDARKUMAR, V. 2018. Low-Energy Reverse Osmosis Membrane with High Boron Rejection by Surface Modification with a Polysaccharide. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*.
- SAGLE, A. & FREEMAN, B. 2023. *Fundamentals of Membranes for Water Treatment*. University of Texas at Austin.
- SAID, N. I. 2010. Pengolahan payau menjadi air minum dengan teknologi Reverse Osmosis, Jakarta.
- SANMARTINO, J. A., KHAYET, M., GARCÍA-PAYO, M., HANKINS, N. & SINGH, R. 2016. Desalination by membrane

distillation. Emerging membrane technology for sustainable water treatment, 77-109.

SHIRAZI, M. M. A., BASTANI, D., KARGARI, A. & TABATABAEI, M. 2013. Characterization of polymeric membranes for membrane distillation using atomic force microscopy. *Desalination and Water Treatment*, 51, 6003-6008.

SHUKLA, S., MERICQ, J., BELLEVILLE, M., HENGL, N., BENES, N., VANKELECOM, I. & SANCHEZ-MARCANO, J. 2018. Process intensification by coupling the joule effect with pervaporation and sweeping gas membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 545, 150-157.

SMOLDERS, C. & FRANKEN, A. 1989. Terminology for membrane distillation. *Desalination*, 72, 249-262.

SOUHAIMI, M. K., KHAYET, M. & MATSUURA, T. 2011. Membrane distillation: principles and applications.

SULAEMAN, O. 2018. Desain Pengolahan Air Menggunakan Membran Ultrafiltrasi Kapasitas 50M³/Hari. *JRL*, 11, 37-44.

SUSILAWATY, A., AMANSYAH, M. & NILDAWATI 2016. Kerentanan Ketersediaan Air Bersih di Daerah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Sulawesi Selatan Indonesia Al-Sihah : *Public Health Science Journal*, 8.

TAKEDA, M. & MANAKA, M. 2018. Effect of Confining Stress on the Semi Permeability of Siliceous Mudstone : Implication for Identifying Geologin Membrane Behavior of Argillaceuos Formations. *Geophysical Research Letters*.

TAMBA, F. Y. M., SEPTIADI, W. N. & ASTAWA, K. 2019. Koefisien Perpindahan Panas Sumbu Kapiler Pipa Kalor berbasis Sintered Powder Tembaga pada Fluida Kerja Hybrid

Nanofluida Al₂O₃-TiO₂-H₂O dengan Komposisi Ratio 50%: 50%. *Jurnal METTEK* Volume, 5, 20-25.

UPADHYAYA, L. & NENE, S. 2015. Membrane Distillation and Osmotic Membrane Distillation in Downstream Processing. *Current Biochemical Engineering*, 2, 102-110.

VILADOMAT, F. G., SOUCHON, I., ATHES, V. & MARIN, M. 2006. Membrane air-stripping for aroma compounds. *Journal Membrane Science*, 277, 129-136.

WARSINGER, D., SWAMINATHAN, J. & LIENHARD, J. 2014. Effect of module inclination angle on air gap membrane distillation.

WARSINGER, D., SWAMINATHAN, J., MORALES, L. & LIENHARD, J. 2018. Comprehensive condensation flow regimes in air gap membrane distillation: visualization and energy efficiency. *Journal of Membrane Science*, 555, 517528.

WENTEN, I. G., KHOIRUDDIN, ARYANTI, P. T. P. & HAKIM, A. N. 2010. *Pengantar Teknologi Membran*, Bandung, Dep. Teknik Kimia ITB.

WINTER, D., KOSCHIKOWSKI, J. & WIEGHAUS, M. 2011. Desalination using membrane distillation: Experimental studies on full scale spiral wound modules. *Journal of Membrane Science*, 375, 104-112.

XIANG, J., WANG, S., CHEN, N., WEN, X., TIAN, G., ZHANG, L., CHENG, P., ZHANG, J. & TANG, N. 2023. Study on Low Thermal-Conductivity of PVDF@ SiAG/PET Membranes for Direct Contact Membrane Distillation Application. *Membranes*, 13, 773.

YANG, E., HAM, M. H., PARK, H. B., KIM, C. M., SONG, J. H. &

- KIM, I. S. 2017. Tunable Semi-Permeability of GrapheneBased Membranes by Adjusting Reduction Degree of Laminar Graphene Oxide Layers. *Journal of Membrane Science*.
- ZARRABI, M. H., AGHAJARI, A. & SADRZADEH, A. 2022. Membrane Distillation Treatment for Achieving High Water Recovery During Water Reclamation for Potable Reuse. *Membranes*, 1, 71.
- ZENG, T., DENG, L., CHEN, J., HUANG, H. & ZHUANG, H. 2022. Numerical Analysis of Conjugated Heat and Mass Transfer of Helical Hollow Fiber Membrane Tube Bank for Seawater Distillation. *J. Renew. Mater*, 10, 1845.
- ZHANG, J., LI, N., NG, D., IKE, I., XIW, Z. & GRAY, S. 2019. Depletion of voc in wastewater by vacuum membrane distillation using a dual-layer membrane: mechanism of mass transfer and selectivity. *Environmental Science Water Research & Technology*, 5(1), 119-130.
- ZHANG, Y., WANG, X., CUI, Z., DRIOLI, E., WANG, Z. & ZHAO, S. 2017. Enhancing wetting resistance of poly (vinylidene fluoride) membranes for vacuum membrane distillation. *Desalination*, 415, 58-66.
- ZHAO, S., FERON, P., XIE, Z., ZHANG, J. & HOANG, M. 2014. Condensation studies in membrane evaporation and sweeping gas membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 462, 9-16.
- ZHONG, L., AN, L., HAN, Y., ZHU, Z., LIU, D., LIU, D., ZUO, D., WANG, W. & MA, J. 2021. In Situ Three-Dimensional Welded Nanofibrous Membranes for Robust Membrane Distillation of Concentrated Seawater. *Environmental Science & Technology*, 55, 11308-11317.

- ZHONG, W., LI, Q., ZHAO, X. & CHEN, S. 2020. Membrane preparation for unconventional desalination by membrane distillation and pervaporation. *Membranes for Environmental Applications*, 265-293.
- ZUO, G. & WANG, R. 2013. Novel membrane surface modification to enhance anti-oil *fouling* property for membrane distillation application. *Journal of membrane science*, 447, 26-35.

GLOSARIUM

Absorpsi: Proses di mana satu zat, seperti cairan atau gas, diserap oleh zat lain, sering kali melalui permukaan, sehingga partikel-partikelnya menyebar ke dalam volume zat yang menyerapnya.

Desalinasi: Proses penghilangan garam dan mineral dari air laut atau air asin untuk menghasilkan air tawar yang dapat digunakan untuk konsumsi manusia atau pertanian.

Difusi: Proses di mana partikel bergerak dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah hingga mencapai kesetimbangan, sering terjadi pada gas atau cairan.

Distilasi: Metode pemisahan campuran cairan berdasarkan perbedaan titik didih, di mana campuran dipanaskan sehingga komponen yang lebih mudah menguap akan menguap terlebih dahulu, kemudian dikondensasikan kembali menjadi cairan murni.

Fasa: Keadaan materi, seperti padat, cair, atau gas, yang menunjukkan bagaimana atom atau molekulnya tersusun dan berinteraksi pada kondisi tertentu.

Feed Bulk: Bahan mentah atau campuran yang dipasok dalam jumlah besar ke dalam sistem untuk diproses, misalnya dalam sistem pemrosesan atau filtrasi. **Filtrasi:** Proses pemisahan partikel padat dari cairan atau gas dengan menggunakan media berpori, seperti kertas saring atau filter lain, yang memungkinkan fluida melewati sambil menyaring material padat.

Fluida: Zat yang dapat mengalir dan berubah bentuk dengan mudah, seperti cairan atau gas, yang partikelnya bergerak bebas satu sama lain.

Fluks: Laju aliran suatu zat, seperti cairan atau gas, melalui suatu area atau permukaan, sering digunakan dalam konteks perpindahan materi atau energi.

Fouling: Penumpukan material asing, seperti endapan, mikroorganisme, atau kotoran lainnya, pada permukaan alat atau membran, yang menyebabkan penurunan efisiensi sistem atau alat tersebut.

Fraksi: Bagian atau proporsi tertentu dari suatu campuran yang melewati atau ditahan oleh membran selama proses pemisahan, seperti fraksi padatan, cairan, atau gas yang terpisah berdasarkan ukuran atau sifatnya.

Kapiler: Saluran mikroskopis yang ada dalam struktur membran yang memungkinkan cairan atau gas bergerak melalui membran melalui aksi kapilaritas, terutama dalam proses filtrasi skala kecil atau pemisahan molekul.

Koefisien: Nilai yang menggambarkan tingkat kemampuan suatu zat, seperti air atau gas, melewati membran. Koefisien ini menunjukkan seberapa efektif membran dalam memungkinkan pergerakan fluida atau gas berdasarkan tekanan atau konsentrasi tertentu.

Komposit: Material yang dibuat dari gabungan dua atau lebih komponen yang berbeda, yang bekerja bersama untuk memberikan sifat yang lebih baik daripada bahan individualnya.

Komposit: Material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih bahan yang berbeda, yang disatukan untuk memperoleh sifat-sifat unggul yang tidak dimiliki oleh masing-masing bahan secara individu.

Kondensasi: Proses perubahan bentuk zat dari gas menjadi cairan, biasanya terjadi ketika gas mendingin dan partikel-partikelnya menyatu menjadi tetesan cairan.

Laten: Energi yang tersimpan dalam suatu sistem, terutama terkait dengan perubahan wujud zat tanpa perubahan suhu

yang signifikan, seperti energi laten selama proses penguapan atau peleburan.

Membran: Sebuah lapisan tipis yang bersifat selektif dan digunakan untuk memisahkan zat berdasarkan ukuran atau sifat kimianya. Membran biasanya memungkinkan partikel tertentu melewatinya, sementara partikel lain ditahan.

Mikropori: Pori-pori dengan ukuran sangat kecil pada material atau permukaan, yang biasanya digunakan dalam proses penyaringan untuk menahan partikel yang sangat kecil sambil membiarkan zat lain melewati.

Modul Membran: Unit fungsional yang terdiri dari membran dan komponen pendukungnya yang digunakan dalam sistem filtrasi atau pemisahan untuk memproses fluida.

Patogen: Organisme mikroskopis seperti bakteri, virus, atau jamur yang dapat menyebabkan penyakit pada makhluk hidup, termasuk manusia, hewan, atau tumbuhan.

Permeat: Cairan atau gas yang berhasil melewati lapisan penyaring atau membran selama proses pemisahan, di mana kontaminan atau partikel yang lebih besar tertinggal.

Pulp: Massa serat yang diperoleh dari bahan mentah seperti kayu atau tanaman, yang biasanya digunakan dalam industri kertas atau pembuatan bahan lainnya.

Termal: Berhubungan dengan panas atau suhu, sering digunakan untuk menggambarkan sifat-sifat material yang terkait dengan penyerapan, pelepasan, atau transfer energi panas.

Tubular: Berbentuk seperti tabung atau silinder, biasanya digunakan untuk menggambarkan struktur dalam sistem perpipaan atau filtrasi.

Volatil: Kemampuan suatu zat untuk mudah menguap atau berubah dari bentuk cair menjadi gas pada suhu rendah, sering kali terkait dengan zat-zat kimia yang mudah menguap.

Prinsip dan Aplikasi Membran Distilasi



Membran distilasi (MD) adalah proses pemisahan berbasis termal yang berkembang pesat dan telah menarik perhatian signifikan dalam beberapa tahun terakhir karena keunggulan operasionalnya yang unik dan aplikasinya yang beragam. Proses ini memanfaatkan prinsip termodinamika, yaitu perbedaan suhu, untuk memisahkan air dari zat terlarutnya. Inti dari membran distilasi melibatkan pembuatan diferensial tekanan uap di seluruh membran hidrofobik. Diferensial ini dijaga melalui gradien suhu antara larutan umpan panas dan sisi permeat yang lebih dingin. Sifat hidrofobik membran mencegah cairan menembus pori-porinya, memungkinkan hanya molekul uap yang melaluinya. Setelah melewati membran, uap tersebut mengembun di sisi yang lebih dingin, sehingga memisahkan komponen volatil dari larutan umpan. Prinsip dasar MD dibagi ke dalam empat konfigurasi utama: Distilasi Membran Kontak Langsung (DCMD), Distilasi Membran Celah Udara (AGMD), Distilasi Membran Gas Penyapu (SGMD), dan Distilasi Membran Vakum (VMD). Buku ini menyajikan penjelasan mendalam mengenai prinsip, konfigurasi, dan aplikasi MD, sehingga menjadi referensi penting bagi mereka yang tertarik pada teknologi pemisahan inovatif.



Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin 70123
Telp/Fax. 0511-3305195
ANGGOTA APPTI (004.035.03.2018)

