

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
MEMBRAN NANOKOMPOSIT PES/PEG/PVA/SiO₂**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Kimia



Oleh

Silvia Widiyanti

NIM 1705675

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN PENDIDIKAN KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2021**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN NANOKOMPOSIT
PES/PEG/PVA/SiO₂**

Oleh

SILVIA WIDIYANTI

1705675

**Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

©Silvia Widiyanti

Universitas Pendidikan Indonesia

2021

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, *difotocopy*, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

SILVIA WIDIYANTI

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN NANOKOMPOSIT
PES/PEG/PVA/SiO₂**

Disetujui dan
pembimbing :

Dosen Pembimbing I

disahkan oleh



Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D
NIP. 197806282001122001

Dosen Pembimbing II



Mita Nurhayati, M.Si
NIP. 920200419950110201

Mengetahui
Ketua Departemen



Dr. Hendrawan, M.Si.
NIP. 196309111989011001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**Sintesis dan Karakterisasi Membran Nanokomposit PES/PEG/PVA/SiO₂**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, Saya siap menanggung risiko/sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya Saya ini

Bandung, Agustus 2021

Yang Membuat Pernyataan

Silvia Widiyanti

NIM 1705675

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis dan Karakterisasi Membran Nanokomposit PES/PEG/PVA/SiO₂**”

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains. Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang memuat tentang sintesis membran PES/PEG/PVA/SiO₂ yang meliputi tahapan optimasi, sintesis dan karakterisasi, analisis data serta teori yang mendukung yang dikemukakan oleh para ahli.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini sehingga dengan segala kerendahan hati penulis berharap adanya kritik dan saran untuk perbaikan dalam penulisan penelitian ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi seluruh pihak.

Bandung, Agustus 2021

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan dan kemudahan selama penelitian dan penyusunan skripsi. Selama pelaksanaan penelitian hingga tersusunnya skripsi, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Ibu Fitri Khoerunnisa, Ph.D., selaku pembimbing I dan Ketua Program Studi yang selalu memberikan motivasi, arahan, saran, nasihat, dan dukungan selama penelitian dan penyusunan skripsi.
2. Ibu Mita Nurhayati, M.Si., selaku Pembimbing II yang telah memberikan motivasi, arahan, saran, nasihat, dan dukungan selama penelitian dan penyusunan skripsi.
3. Bapak Dr. Hendrawan, M.Si., selaku Ketua Departemen Pendidikan Kimia FPMIPA UPI.
4. Bapak Dr. Yaya Sonjaya, M.Si., selaku ketua KBK Kimia Lingkungan.
5. Ibu Dr. Ratnaningsih Eko Sardjono, selaku Dosen Pembimbing Akademik
6. Seluruh Dosen dan Staf Departemen Pendidikan Kimia FPMIPA UPI atas ilmu, bantuan serta nasehat yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi.
7. Orangtua, Kakak dan Adik yang telah memberikan kasih sayang dan dukungan materil dan moril yang tidak ternilai bagi penulis.
8. Teman-teman seperjuangan kimia 2017C dan Kimia Lingkungan 2020 yang telah banyak memberikan dukungan bagi Penulis.
9. Ahmad, Alya, Hari dan Hardian yang telah memberikan nasihat, dukungan, dan motivasi kepada penulis.
10. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Kimia yang telah memberikan dukungan, hiburan serta motivasi kepada penulis.
11. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan yang telah memberikan dukungan pada penulis selama proses penyusunan skripsi.

Akhir kata, penulis hanya sanggup membalas rasa hormat disertai doa yang ikhlas dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya yang berlipat ganda. Amin

Bandung, Agustus 2020

Silvia Widiyanti

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai metode sintesis dan karakteristik membran komposit PES/PEG/ PVA/SiO₂. Membran komposit disintesis melalui metode inversi fasa dengan komposisi (% w/w) PES (17,25), PVA (3,58; 0,85; 1,43; 2,57; 3,57) PEG (3,72), SiO₂ (0,35; 0,85; 1,43; 2,57; 3,57), dan pelarut DMAc. Membran komposit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR spektroskopi, difraksi *X-ray*, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *water contact angle*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara PES, PVA, dan SiO₂ diindikasikan dengan serapan khas spektrum FTIR pada bilangan gelombang 1104 cm⁻¹ untuk vibrasi Si-O-Si, 954 cm⁻¹ untuk vibrasi Si-OH, 1292 cm⁻¹ untuk vibrasi O=S=O dan serapan 3442 cm⁻¹ untuk regangan O-H. Foto penampang melintang (*cross-section*) SEM menunjukkan bahwa penambahan PVA dan SiO₂ menyebabkan perubahan morfologi dan struktur pori membran PES yang signifikan. Hasil difraktogram sinar X (*X-Ray*) menunjukkan adanya pergeseran pada puncak dari 13,15° menjadi 14,21; 16,66° menjadi 17,03° dan 18,47° menjadi 18,85° dan ditemukannya puncak serapan baru setelah membran dimodifikasi yaitu pada puncak serapan 31,07°. Selain itu kristalinitas membran pun naik dari 31,32% menjadi 46,62% yang mengindikasikan keberhasilan sintesis membran komposit. Penambahan PEG/PVA/SiO₂ juga meningkatkan hidrofilitas membran komposit, dimana membran komposit MPS-1 memiliki hidrofilitas tertinggi dengan rata-rata sudut kontak (*contact angle*) sebesar 62,16°. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa membran komposit PES/PEG/PVA/SiO₂ telah berhasil disintesis melalui metode inversi fasa dengan komposisi optimum PES: PEG: PVA: SiO₂ yaitu 17,25%: 3,72%: 0,85%: 0,35%. Penambahan PEG/PVA/SiO₂ meningkatkan hidrofilitas dan memodifikasi struktur morfologi membran PES. Pengukuran porositas, sifat mekanik dan aplikasi membran komposit PES/PEG/PVA/SiO₂ sebagai membran filtrasi dalam pengolahan air perlu dikaji lebih lanjut.

Kata kunci: Membran komposit, PES/PEG/PVA/SiO₂, sintesis, karakterisasi

Abstract

This study aims to obtain information on the synthesis method and characteristics of PES/PEG/PVA/SiO₂ composite membranes. Composite membranes were synthesized by phase inversion method with composition (% w/w) PES (17.25), PVA (3.58; 0.85; 1.43; 2.57; 3.57) PEG (3.72) , SiO₂ (0.35; 0.85; 1.43; 2.57; 3.57), and DMAc solvent. The synthesized composite membranes were characterized using FTIR spectroscopy, X-ray diffraction, Scanning Electron Microscopy (SEM), and water contact angle. The results showed that the interaction between PES, PVA, and SiO₂ was indicated by the typical absorption spectrum of the FTIR at wave numbers 1104 cm⁻¹ for the Si-O-Si vibration, 954 cm⁻¹ for the Si-OH vibration, 1292 cm⁻¹ for the Si-OH vibration. O=S=O and absorption is 3442 cm⁻¹ for the OH strain. SEM cross-sectional photos showed that the addition of PVA and SiO₂ caused significant changes in the morphology and pore structure of the PES membrane. The results of the X-ray diffractogram (X-Ray) showed a shift in the peak from 13.15° to 14.21; 16.66° to 17.03° and 18.47° to 18.85° and a new absorption peak was found after the membrane was modified, namely at 31.07° absorption peak which indicated the success of composite membrane synthesis. Besides, the cristallinity of composite membrane increase from 31,32% to 46,62%. The addition of PEG/PVA/SiO₂ also increased the hydrophilicity of the composite membrane, where the MPS-1 composite membrane had the highest hydrophilicity with an average contact angle of 62.16°. Based on these findings, it can be concluded that the PES/PEG/PVA/SiO₂ composite membrane has been successfully synthesized through the phase inversion method with the optimum composition of PES: PEG: PVA: SiO₂ ie 17.25%: 3.72%: 0.85%: 0,35%. The addition of PEG/PVA/SiO₂ increased the hydrophilicity and modified the morphological structure of the PES membrane. Measurement of porosity, mechanical properties and applications of PES/PEG/PVA/SiO₂ composite membranes as filtration membranes in water treatment need to be studied further.

Keywords: *Composite membrane, PES/PEG/PVA/SiO₂, synthesis, characterization*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Teknologi Membran	5
2.2. Klasifikasi Membran	6
2.2.1. Berdasarkan Morfologi	6
2.2.2. Berdasarkan <i>driving force</i>	7
2.3. Metode Sintesis Inversi Fasa.....	9
2.3.1. Non-solvent Phase Inversion (NIPS)	9
2.3.2. Inversi Fasa <i>Thermally-Induced</i> (TIPS).....	10
2.3.3. Evaporation-induced Phase Separation (EIPS).....	10
2.3.4. Vapor-Induced Phase Separation (VIPS).....	11
2.4. Membran Nanokomposit.....	12
2.4.1. Membran Nanokomposit Konvensional	12
2.4.2. Membran Nanokomposit yang Terletak di Permukaan	12
2.5. Material Membran.....	13
2.5.1. Polietersulfon (PES).....	13
2.5.2. Polivinil Alkohol (PVA)	14
2.5.3. Silika	14

Silvia Widiyanti, 2021

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PES/PEG/PVA/SiO₂

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

2.5.4. Polietilen Glikol (PEG)	15
2.6. Karakterisasi Membran	16
2.6.1. Fourier Transform Infrared (FTIR).....	16
2.6.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)	16
2.6.3. Hidrofilisitas (Sudut Kontak).....	16
2.6.4. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Lokasi Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.2.1. Alat.....	18
3.2.2. Bahan	18
3.3. Metodologi Penelitian	19
3.3.1. Sintesis Membran Komposit PES/PEG/PVA/SiO ₂	19
3.3.2. Karakterisasi Membran PES/PVA-SiO ₂	20
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Membran PES/PEG/PVA/SiO ₂	22
4.2. Karakterisasi Membran Komposit PES/PEG/PVA/SiO ₂	23
4.2.1. Interaksi Kimia Antarekursor Membran.....	23
4.2.2. Struktur dan Morfologi Membran PES/PEG/PVA/SiO ₂	26
4.2.3. Hidrofilisitas.....	29
4.2.4. Struktur dan Kristalinitas Membran Komposit	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1. Kesimpulan.....	32
5.2. Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi sederhana proses pemisahan menggunakan membran	5
Gambar 2.2. Penampakan membran dengan berbagai morfologi	7
Gambar 2.3. Klasifikasi membran berdasarkan driving force yang digunakan ...	7
Gambar 2.4. Metode sintesis <i>Non-Solvent Phase Inversion</i>	10
Gambar 2.5. Metode sintesis <i>thermally-induced phase separation</i>	10
Gambar 2.6 Skema proses EIPS.	11
Gambar 2.7. Skema proses sintesis <i>vapor-induced phase separation (VIPS)</i>	11
Gambar 2.8 Proses sintesis membran nanokomposit konvensional.	12
Gambar 2.9. Ilustrasi pembentukan membran nanokomposit yang terletak di permukaan.....	13
Gambar 2.10. Struktur Polietersulfon.....	13
Gambar 2.11. Struktur PVA.	14
Gambar 2.12. Struktur Silika.....	15
Gambar 2.13. Struktur Polietilen glikol.	15
Gambar 2.14. Ilustrasi sudut kontak dengan metode <i>sessile drop</i>	17
Gambar 4.1. Fotograf membran komposit PES/PEG/PVA/SiO ₂	22
Gambar 4.2. Grafik ketebalan membran komposit.....	23
Gambar 4.3. Spektra FTIR membran komposit PES/PEG/PVA/SiO ₂	25
Gambar 4.4. Reaksi antara PVA dan SiO ₂	26
Gambar 4.5. fotograf SEM membran secara <i>cross section</i>	27
Gambar 4.6. Fotogram SEM <i>surface</i> membran komposit.....	29
Gambar 4.7. Water contact angle (WCA) dari membran komposit.....	30
Gambar 4.8. Difraktogram membran komposit.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi membran komposit PES/PEG/PVA/SiO ₂	20
Tabel 4.1. Puncak serapan dari spektra membran komposit	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Perhitungan Tahap Preparasi.....	42
Lampiran 2. Spektra FTIR	43
Lampiran 3. Morfologi Membran (SEM)	44
Lampiran 4. Hasil Pengukuran <i>Water Contact Angle</i> Membran Komposit	50
Lampiran 5. Difraktogram Sinar X dan Hasil Pengukuran Kristalinitas	53
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian	55

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. B., Tay, M. Y., Shameli, K., Hussein, M. Z., & Lim, J. J. (2011). Green Synthesis and Characterization of Silver/Chitosan/Polyethylene Glycol Nanocomposites without any Reducing Agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(8), 4872–4884. <https://doi.org/10.3390/ijms12084872>
- Alenazi, N. A., Hussein, M. A., Alamry, K. A., & Asiri, A. M. (2017). Modified polyether-sulfone membrane: A mini review. *Designed Monomers and Polymers*, 20(1), 532–546. <https://doi.org/10.1080/15685551.2017.1398208>
- Aliyu, U. M., Rathilal, S., & Isa, Y. M. (2018). Membrane desalination technologies in water treatment: A review. *Water Practice and Technology*, 13(4), 738–752. <https://doi.org/10.2166/wpt.2018.084>
- Alkudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N. (2012). Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.027>
- Alqaheem, Y., & Alomair, A. A. (2020). Microscopy and Spectroscopy Techniques for Characterization of Polymeric Membranes. *Membranes*, 10(2), 33. <https://doi.org/10.3390/membranes10020033>
- Amiri, S., Asghari, A., Vatanpour, V., & Rajabi, M. (2021). Fabrication of chitosan-aminopropylsilane graphene oxide nanocomposite hydrogel embedded PES membrane for improved filtration performance and lead separation. *Journal of Environmental Management*, 294, 112918. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112918>
- Arya, R. K. (2013). Drying Induced Phase Separation. *Journal of Chemical Engineering*, 27, 12–20. <https://doi.org/10.3329/jce.v27i1.15848>
- Asad, A., Sameoto, D., & Sadrzadeh, M. (2020). Overview of membrane technology. Dalam *Nanocomposite Membranes for Water and Gas Separation* (hlm. 1–28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816710-6.00001-8>

- Asmatulu, R., & Khan, W. S. (2019). Characterization of electrospun nanofibers. Dalam *Synthesis and Applications of Electrospun Nanofibers* (hlm. 257–281). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813914-1.00013-4>
- Babu, J., & Murthy, Z. V. P. (2017). Treatment of textile dyes containing wastewaters with PES/PVA thin film composite nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 183, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.04.002>
- Bernstein, R., Kaufman, Y., & Freger, V. (2013). Membrane Characterization. Dalam E. M. V. Hoek & V. V. Tarabara, *Encyclopedia of Membrane Science and Technology* (hlm. emst063). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118522318.emst063>
- Deshmukh, K., Ahmad, J., & Hägg, M. B. (2014). Fabrication and characterization of polymer blends consisting of cationic polyallylamine and anionic polyvinyl alcohol. *Ionics*, 20(7), 957–967. <https://doi.org/10.1007/s11581-013-1062-3>
- El-Didamony, H., El-Fadaly, E., Amer, A. A., & Abazeed, I. H. (2020). Synthesis and characterization of low cost nanosilica from sodium silicate solution and their applications in ceramic engobes. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 59(1), 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2019.06.004>
- Gin, D. L., & Noble, R. D. (2011). Designing the Next Generation of Chemical Separation Membranes. *Science*, 332(6030), 674–676. <https://doi.org/10.1126/science.1203771>
- Gullinkala, T., & Escobar, I. C. (2011). Membranes for Water Treatment Applications – An Overview. Dalam I. Escobar & B. Van der Bruggen (Ed.), *ACS Symposium Series* (Vol. 1078, hlm. 155–170). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1078.ch010>
- Han, Y., Xu, Z., & Gao, C. (2013). Ultrathin Graphene Nanofiltration Membrane for Water Purification. *Advanced Functional Materials*, 23(29), 3693–3700. <https://doi.org/10.1002/adfm.201202601>
- Hong, X., Zou, L., Zhao, J., Li, C., & Cong, L. (2018). Dry-wet spinning of PVA fiber with high strength and high Young's modulus. *IOP Conference Series*:

- Materials Science and Engineering*, 439, 042011.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/439/4/042011>
- Hosseini, S. A., Vossoughi, M., Mahmoodi, N. M., & Sadrzadeh, M. (2019). Clay-based electrospun nanofibrous membranes for colored wastewater treatment. *Applied Clay Science*, 168, 77–86.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.11.003>
- Jhaveri, J. H., & Murthy, Z. V. P. (2016). A comprehensive review on anti-fouling nanocomposite membranes for pressure driven membrane separation processes. *Desalination*, 379, 137–154.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.11.009>
- Khorshidi, B., Bhinder, A., Thundat, T., Pernitsky, D., & Sadrzadeh, M. (2016). Developing high throughput thin film composite polyamide membranes for forward osmosis treatment of SAGD produced water. *Journal of Membrane Science*, 511, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.03.052>
- Khorshidi, B., Hajinasiri, J., Ma, G., Bhattacharjee, S., & Sadrzadeh, M. (2016). Thermally resistant and electrically conductive PES/ITO nanocomposite membrane. *Journal of Membrane Science*, 500, 151–160.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.11.015>
- Kimoto, S., Dick, W. D., Hunt, B., Szymanski, W. W., McMurry, P. H., Roberts, D. L., & Pui, D. Y. H. (2017). Characterization of nanosized silica size standards. *Aerosol Science and Technology*, 51(8), 936–945.
<https://doi.org/10.1080/02786826.2017.1335388>
- Kusworo, T. D., Qudratun, & Utomo, D. P. (2017). Performance evaluation of double stage process using nano hybrid PES/SiO₂-PES membrane and PES/ZnO-PES membranes for oily waste water treatment to clean water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 6077–6086.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.044>
- Ladewig, B., & Al-Shaeli, M. N. Z. (2017). Membrane Characterization Techniques. Dalam B. Ladewig & M. N. Z. Al-Shaeli, *Fundamentals of Membrane Bioreactors* (hlm. 131–150). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-2014-8_5

- Law, K.-Y., & Zhao, H. (2016). Contact Angle Measurements and Surface Characterization Techniques. Dalam K.-Y. Law & H. Zhao, *Surface Wetting* (hlm. 7–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25214-8_2
- Li, J.-H., Xu, Y.-Y., Zhu, L.-P., Wang, J.-H., & Du, C.-H. (2009). Fabrication and characterization of a novel TiO₂ nanoparticle self-assembly membrane with improved fouling resistance. *Journal of Membrane Science*, 326(2), 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.10.049>
- Liu, F. (2016). Hydrophilic Membrane. Dalam E. Drioli & L. Giorno (Ed.), *Encyclopedia of Membranes* (hlm. 1000–1000). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44324-8_1676
- Malik, T., Razzaq, H., Razzaque, S., Nawaz, H., Siddiqa, A., Siddiq, M., & Qaisar, S. (2019). Design and synthesis of polymeric membranes using water-soluble pore formers: An overview. *Polymer Bulletin*, 76(9), 4879–4901. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2616-3>
- Mannan, H. A., Mukhtar, H., Murugesan, T., Nasir, R., Mohshim, D. F., & Mushtaq, A. (2013). Recent Applications of Polymer Blends in Gas Separation Membranes. *Chemical Engineering & Technology*, 36(11), 1838–1846. <https://doi.org/10.1002/ceat.201300342>
- Mauter, M. S., Wang, Y., Okemgbo, K. C., Osuji, C. O., Giannelis, E. P., & Elimelech, M. (2011). Antifouling Ultrafiltration Membranes via Post-Fabrication Grafting of Biocidal Nanomaterials. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(8), 2861–2868. <https://doi.org/10.1021/am200522v>
- Nath, K. (2017). *Membrane Separation Process*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Obotey Ezugbe, E., & Rathilal, S. (2020). Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes*, 10(5), 89. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>
- Otitoju, T. A., Ahmadipour, M., Li, S., Shoparwe, N. F., Jie, L. X., & Owolabi, A. L. (2020). Influence of nanoparticle type on the performance of nanocomposite membranes for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101356. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101356>

- Park, J., Choi, W., Cho, J., Chun, B. H., Kim, S. H., Lee, K. B., & Bang, J. (2010). Carbon nanotube-based nanocomposite desalination membranes from layer-by-layer assembly. *Desalination and Water Treatment*, *15*(1–3), 76–83. <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1670>
- Peng, Z., & Shen, Y. (2011). Study on Biological Safety of Polyvinyl Alcohol/Collagen Hydrogel as Tissue Substitute (I). *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, *50*(3), 245–250. <https://doi.org/10.1080/03602559.2010.531438>
- Quist-Jensen, C. A., Macedonio, F., & Drioli, E. (2015). Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse. *Desalination*, *364*, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.001>
- Rahimpour, A., Jahanshahi, M., Khalili, S., Mollahosseini, A., Zirepour, A., & Rajaeian, B. (2012). Novel functionalized carbon nanotubes for improving the surface properties and performance of polyethersulfone (PES) membrane. *Desalination*, *286*, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.039>
- Rastgar, M., Bozorg, A., Shakeri, A., & Sadrzadeh, M. (2019). Substantially improved antifouling properties in electro-oxidative graphene laminate forward osmosis membrane. *Chemical Engineering Research and Design*, *141*, 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.11.010>
- Remiš, T., Bělský, P., Andersen, S. M., Tomáš, M., Kadlec, J., & Kovářík, T. (2020). Preparation and Characterization of Poly(Vinyl Alcohol) (PVA)/SiO₂, PVA/Sulfosuccinic Acid (SSA) and PVA/SiO₂/SSA Membranes: A Comparative Study. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, *59*(3), 157–181. <https://doi.org/10.1080/00222348.2019.1697023>
- Roy, B., Krishnan, S. P., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2019). Toxic effects of engineered nanoparticles (metal/metal oxides) on plants using *Allium cepa* as a model system. Dalam *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 84, hlm. 125–143). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2019.04.009>
- Sadrzadeh, M. (Ed.). (2020). *Nanocomposite membranes for water and gas separation*. Elsevier.

- Sadrzadeh, M., & Bhattacharjee, S. (2013). Rational design of phase inversion membranes by tailoring thermodynamics and kinetics of casting solution using polymer additives. *Journal of Membrane Science*, *441*, 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.04.009>
- Saljoughi, E., Amirilargani, M., & Mohammadi, T. (2010). Effect of PEG additive and coagulation bath temperature on the morphology, permeability and thermal/chemical stability of asymmetric CA membranes. *Desalination*, *262*(1–3), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.046>
- Sari Erkan, H., Bakaraki Turan, N., & Önköl Engin, G. (2018). Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. Dalam *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 81, hlm. 151–200). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2018.02.002>
- Shameli, K., Bin Ahmad, M., Jazayeri, S. D., Sedaghat, S., Shabanzadeh, P., Jahangirian, H., Mahdavi, M., & Abdollahi, Y. (2012). Synthesis and Characterization of Polyethylene Glycol Mediated Silver Nanoparticles by the Green Method. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(6), 6639–6650. <https://doi.org/10.3390/ijms13066639>
- Shen, J., Ruan, H., Wu, L., & Gao, C. (2011). Preparation and characterization of PES–SiO₂ organic–inorganic composite ultrafiltration membrane for raw water pretreatment. *Chemical Engineering Journal*, *168*(3), 1272–1278. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.039>
- Sun, D., Yue, D., Li, B., Zheng, Z., & Meng, X. (2019). Preparation and performance of the novel PVDF ultrafiltration membranes blending with PVA modified SiO₂ hydrophilic nanoparticles: Novel PVDF ultrafiltration membranes. *Polymer Engineering & Science*, *59*(S1), E412–E421. <https://doi.org/10.1002/pen.25002>
- Ulfa, S. M., Ohorella, R. F., & Astutik, C. W. (2018). Sequential Condensation and Hydrodeoxygenation Reaction of Furfural-Acetone Adduct over Mix Catalysts Ni/SiO₂ and Cu/SiO₂ in Water. *Indonesian Journal of Chemistry*, *18*(2), 250. <https://doi.org/10.22146/ijc.26736>
- Utomo, Y., Molo, A. D. R. P., Wonorahardo, S., Sumari, Santoso, A., Kusumaningrum, I. K., & Susanti, E. (2019). Immobilization of *Zymomonas*

- mobilis* in silica from the rice husk ash. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230, 012097. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012097>
- Wang, J., Wang, X., Xu, C., Zhang, M., & Shang, X. (2011). Preparation of graphene/poly(vinyl alcohol) nanocomposites with enhanced mechanical properties and water resistance: Graphene/poly(vinyl alcohol) nanocomposites. *Polymer International*, 60(5), 816–822. <https://doi.org/10.1002/pi.3025>
- Wang, Q., Zhang, S., Ji, X., & Ran, F. (2020). High rejection performance ultrafiltration membrane with ultrathin dense layer fabricated by the movement and dissolution of metal–organic frameworks. *New Journal of Chemistry*, 44(32), 13745–13754. <https://doi.org/10.1039/D0NJ02700F>
- Waseda, Y., Matsubara, E., & Shinoda, K. (2011). *X-Ray Diffraction Crystallography*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16635-8>
- Yampolskii, Y. (2012). Polymeric Gas Separation Membranes. *Macromolecules*, 45(8), 3298–3311. <https://doi.org/10.1021/ma300213b>
- Yang, Y., Yu, W., Duan, H., Liu, Y., Wang, X., & Yang, J. (2016). Realization of reinforcing and toughening poly (phenylene sulfide) with rigid silica nanoparticles. *Journal of Polymer Research*, 23(9), 188. <https://doi.org/10.1007/s10965-016-1093-3>
- Yin, J., Yang, Y., Hu, Z., & Deng, B. (2013). Attachment of silver nanoparticles (AgNPs) onto thin-film composite (TFC) membranes through covalent bonding to reduce membrane biofouling. *Journal of Membrane Science*, 441, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.03.060>
- Zhao, C., Xue, J., Ran, F., & Sun, S. (2013). Modification of polyethersulfone membranes – A review of methods. *Progress in Materials Science*, 58(1), 76–150. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.07.002>
- Zhao, S., Zou, L., Tang, C. Y., & Mulcahy, D. (2012). Recent developments in forward osmosis: Opportunities and challenges. *Journal of Membrane Science*, 396, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.12.023>

Zia, F., Anjum, M. N., Saif, M. J., Jamil, T., Malik, K., Anjum, S., BiBi, I., & Zia, M. A. (2017). Alginate-Poly(Ethylene) Glycol and Poly(Ethylene) Oxide Blend Materials. Dalam *Algae Based Polymers, Blends, and Composites* (hlm. 581–601). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812360-7.00016-1>