

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ANTIBIOFOULING
KOMPOSIT POLIETERSULFON/ KITOSAN/ AMMONIUM KLORIDA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains Program
Studi Kimia



oleh

Marthini

1602017

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN PENDIDIKAN KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2020**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ANTIBIOFOULING
KOMPOSIT POLIETERSULFON/ KITOSAN/ AMMONIUM KLORIDA**

Oleh
MARTHINI
1602017

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

©Marthini

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2020

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbayak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, di
fotocopy, atau cara lainnya tanpa izin penulis

MARTHINI

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ANTIBIOFOULING
KOMPOSIT POLIETERSULFON/ KITOSAN/ AMMONIUM KLORIDA**

disetujui dan disahkan oleh pembimbing,

Dosen Pembimbing I



Fitri Khoerunnisa, Ph.D

NIP.197806282001122001

Dosen Pembimbing II



Dr. Fitri Dara, M.Si

NIP.197410262005022001

Mengetahui

Ketua Departemen Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawan, M.Si

NIP. 196309111989011001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ANTIBIOFOULING KOMPOSIT POLIETERSULFON/ KITOSAN/ AMMONIUM KLORIDA**” ini beserta seluruh isinya adalah benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila dikemudia hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2020
Yang membuat pernyataan,

Marthini
NIM. 1602017

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.

Skripsi yang berjudul “**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ANTIBIOFOULING KOMPOSIT POLIETERSULFON/ KITOSAN/ AMMONIUM KLORIDA**” ini disusun sebagai salah satu syarat ujian untuk mendapatkan gelar sarjana sains Program Studi Kimia, Departemen Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang didalamnya dikemukakan masalah penelitian, teori yang mendukung, hipotesis, metode penelitian dan teknik analisis serta data yang diperoleh. Hal-hal tersebut penulis kemukakan dengan merujuk pendapat dari para ahli.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan kelemahan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari semua pihak yang membaca skripsi ini guna memperbaiki karya tulis ilmiah penulis selanjutnya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, Agustus 2020

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kekuatan dan kemudahan dalam proses penyusunan hingga dapat diselesaikan. 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 kepada:

1. Ibu Fitri Khoerunnisa, Ph.D, selaku pembimbing I yang dengan sabar dan penuh perhatian membimbing dan mengarahkan penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi.
2. Ibu Dr. Fitri Dara, M.Si, selaku pembimbing II yang telah memberikan masukan dan arahan selama penelitian dan penyusunan skripsi.
3. Bapak Dr. Yaya Sonjaya, M.Si, selaku Ketua KBK Kimia Lingkungan.
4. Ibu Dr. Galuh Yuliani, M.Si, selaku dosen pembimbing akademik.
5. Ketua Departemen Pendidikan Kimia Dr. Hendrawan, M.Si.
6. Ketua Program Studi Kimia Fitri Khoerunnisa, Ph.D.
7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Pendidikan Kimia serta seluruh staf Laboran yang telah memberikan bekal ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
8. Seluruh staf Laboran LPTB LIPI yang telah memberikan bekal ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
9. Keluarga yang telah memberikan dukungan terhadap segala permasalahan yang dialami penulis hingga terselesaikannya skripsi ini dan juga senantiasa mendoakan penulis.
10. Sahabat seperjuangan kimia D 2016 dan sahabat seperjuangan KBK Lingkungan.
11. Tim penelitian yaitu Yustika dan Firdha yang telah banyak membantu, dan mendukung satu sama lain.
12. Teh Naya, Teh Adni dan Teh Rana yang telah banyak memberi masukan dan saran baik secara teknis dan teori kepada penulis terkait membran komposit NH_4Cl dan antibakteri.
13. Ayu, Puspa, Ibum, Rahmawati, Friska, Nisriinaa, Mutiara yang selalu membantu penulis dan menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsinya.
14. Sobat perkumpulan holy Novelia, Catherine dan Sherly yang selalu membantu penulis dan menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsinya.

15. Teman seperjuangan lab nano LIPI Sonia, Rintan, Tazkia yang selalu membantu penulis dan menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsinya.
16. Serta semua pihak yang telah banyak membantu penulis yang tak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga semua amal baik dan berkat yang telah diberikan mendapatkan balasan yang lebih baik dari Tuhan Yang Maha Esa , Amin.

Bandung, Agustus 2020

Penulis

ABSTRAK

Akumulasi mikroorganisme pada membrane filtrasi dapat menyebabkan fenomena biofouling. Pada penelitian ini, kitosan (CS) dan ammonium klorida (NH₄Cl) sebagai agen antibakteri ditambahkan pada membran komposit polietersulfon (PES) untuk meningkatkan sifat antibiofouling membran. Penelitian ini meliputi tahap sintesis, karakterisasi, dan tes antibiofouling membran komposit. Membran PES disintesis menggunakan metode inversi fasa dalam pelarut DMAC, kemudian direndam (*coating*) dalam larutan CS/NH₄Cl membentuk membran komposit. Pengujian antibiofouling membran komposit dilakukan melalui metode cincin inhibisi (Kirby Bauer) dan Total Plate Counting (TPC) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Karakterisasi struktur, morfologi dan sifat mekanik membran komposit dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR, SEM-EDX, pengukuran porositas dan hidrofilitas, serta uji *tensile strength*. Munculnya puncak serapan baru yang khas dan pergeseran bilangan gelombang pada gugus alkil, hidroksil dan amina dari kitosan akibat penambahan dan interaksi antara CS/NH₄Cl pada spektra FTIR membran PES dan persentase klor pada EDX menunjukkan interaksi antara PES, CS, dan NH₄Cl dalam membran komposit. Penambahan NH₄Cl meningkatkan sifat antibiofouling dari membran komposit, dimana Minimum inhibitory concentration (MIC) membran komposit terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli* diperoleh pada penambahan konsentrasi NH₄Cl 200 ppm. Aktivitas antibiofouling untuk membran komposit meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi NH₄Cl, dimana nilai %BKR maksimum diperoleh sebesar 99,18% dan 83,33% terhadap bakteri *S.aureus* dan *E.coli*, secara berturut-turut. Penambahan CS/NH₄Cl tidak hanya memodifikasi struktur morfologi membran PES seperti ditunjukkan oleh foto SEM, namun juga meningkatkan hidrofilitas (CA =82,3° menjadi 64,4°), porositas (49,63% menjadi 70%) dan sifat mekanik membran (0,57 MPa menjadi 8,7 MPa).

Kata kunci: membran komposit, antibiofouling, PES, kitosan, ammonium klorida

ABSTRACT

The accumulation of microorganisms on the filtration membrane cause the phenomenon of biofouling. In this study, chitosan and ammonium chloride (NH₄Cl) as antibacterial agents were added to the polyethersulfone composite membrane (PES) to improve the antibiofouling properties of the membrane. This research methods included preparation, characterization, and composite membrane antibiofouling assay. The PES membrane was synthesized using the phase inversion method in DMAC solvent, then immersed (coating) in a CS / NH₄Cl solution to form a composite membrane. The antibiofouling assay was conducted using inhibition ring method (Kirby Bauer) and Total Plate Counting (TPC) against Staphylococcus aureus and Escherichia coli. The Characterization of structure, morphology and mechanical properties of composite membranes was carried out using FTIR spectroscopy, SEM-EDX, measurement of porosity and hydrophilicity, and tensile strength test. FTIR spectra showed new absorption peak and shift in wavenumber through alkyl, hydroxyl and amine groups of chitosan due to the addition of CS/NH₄Cl to the PES membrane and the percentage of chlorine in EDX shows the interaction between PES, CS, and NH₄Cl on the composite membrane. The results showed the addition of NH₄Cl increased the antibiofouling properties of the composite membrane, where the minimum inhibitory concentration (MIC) of the composite membrane was appeared at 200 ppm against S.aureus and E. coli. Antibiofouling activity the composite membrane increased with increasing NH₄Cl concentration, where the maximum %BKR up to 99.18% and 83.33% (MA-500) for S.aureus and E.coli, respectively. The addition of CS / NH₄Cl not only changed the morphological structure of the PES membrane as shown in the SEM image, but also increased the hydrophilicity (CA = 82.3° to 64.4°), increased porosity (49.63% to 70%) and the mechanical properties of membrane (0.57 MPa to 8.7 MPa).

Keywords: *composite membrane, antibiofouling, PES, chitosan, ammonium klorida*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMAKASIH	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
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	4
2.1 Teknologi Membran	4
2.2 Klasifikasi Membran.....	4
2.2.1 Membran Berdasarkan Bahan Dasar Pembuatan	4
2.2.2 Membran Berdasarkan Fungsi.....	6
2.2.3 Membran Berdasarkan Morfologi	8
2.2.4 Membran Berdasarkan Struktur dan Prinsip Pemisahan.....	10
2.3 Membran Komposit.....	11
2.4 PES (Polietersulfon)	11
2.5 Amonium Klorida.....	12
2.6 Kitosan.....	13
2.7 <i>Fouling</i> Membran Filtrasi	14
2.7.1 Organic Fouling.....	14
2.7.2 Inorganic Fouling	15
2.7.3 Biofouling.....	15
2.8 Membran Antibiofouling.....	16
2.9 Aktivitas Antibakteri	16
2.9.1 Bakteri Uji	16

2.9.2 Metode Uji.....	18
2.10 Kinerja Membran	18
2.10.1 Permeabilitas	18
2.10.2 Permselectivitas.....	19
2.11 Karakterisasi Membran	19
2.11.1 FTIR	19
2.11.2 SEM.....	20
2.11.3 Water Contact Angle	21
2.11.4 Sifat Mekanik	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Bahan.....	23
3.2.2 Alat	23
3.3 Metode Penelitian.....	24
3.4 Prosedur Penelitian.....	26
3.4.1 Sintesis Membran Komposit PES/Kitosan-NH ₄ Cl.....	26
3.4.2 Karakterisasi Membran PES/Kitosan- NH ₄ Cl.....	27
3.4.3. Uji Aktivitas Antibakteri	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Membran Komposit PES/CS-NH ₄ Cl.....	31
4.2 Aktivitas Antibiofouling.....	32
4.2.1 MIC	32
4.2.2 Bacteria Killing Ratio.....	34
4.3 Karaterisasi Membran Komposit PES/CS-NH ₄ Cl	35
4.3.1 Interaksi Kimia/FTIR	35
4.3.2 Morfologi Membran	39
4.3.3 kekuatan Mekanik	41
4.3.4 Hidrofilisitas	43
4.3.5 Porositas	45
BAB V KESIMPULAN	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47

LAMPIRAN.....	53
RIWAYAT HIDUP	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pemisahan Dengan Membran	4
Gambar 2.2 Penggolongan Membran Simetris	9
Gambar 2.3 Penggolongan Membran Asimetris	10
Gambar 2.4 Skemaa Membran Komposit	11
Gambar 2.5 Struktur Polietersulfon.....	12
Gambar 2.6 Struktur Kitosan dan Kitin.....	13
Gambar 2.7 Skema Pembentukan Biofilm	15
Gambar 2.8 Skema Spektroskopi FTIR	20
Gambar 2.9 Hubungan Contact Angle Dengan Hidrofilisitas.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 4.1 Membran PES, PES/CS, PES/CS/NH ₄ Cl.....	32
Gambar 4.2 Cincin Inhibisi Membran.....	33
Gambar 4.3 %BKR Membran Komposit	34
Gambar 4.4 Penurunan Jumlah Bakteri.....	35
Gambar 4.5 Spektra FTIR	36
Gambar 4.6 Interaksi Kitosan Dengan Amonium Klorida.....	39
Gambar 4.7 Foto SEM Penampang Lintang Perbesaran 500x.....	39
Gambar 4.8 Foto SEM Penampang Lintang Perbesaran 10000x	40
Gambar 4.9 Grafik EDX	41
Gambar 4.10 Grafik <i>Stress</i> dan <i>Strain</i> Membran Komposit	42
Gambar 4.11 <i>Contact Angle</i> Membran Komposit.....	44
Gambar 4.12 Porositas Membran Komposit	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Membran.....	8
Tabel 2.2 Penggolongan Nilai Fluks dan Tekanan	8
Tabel 4.1 Pemberian Label Membran Komposit	31
Tabel 4.2 Bilangan Gelombang Pita Serapan IR.....	37
Tabel 4.3 Uji Sifat Mekanik Membran	43
Tabel 4.4 <i>Contact Angle</i> Membran Komposit	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Perhitungan Tahap Preparasi	54
Lampiran 2. Spektra FTIR	55
Lampiran 3. Grafik EDX Membran	57
Lampiran 4. Morfologi Membran (SEM)	60
Lampiran 5. Hasil Uji Mekanik Membran	64
Lampiran 6. Hasil <i>Contact Angle</i> Membran	67
Lampiran 7. Rekapitulasi Pengukuran Porositas	71
Lampiran 8. Hasil Uji MIC	73
Lampiran 9. Hasil Uji %BKR	74
Lampiran 10. Dokumentasi	78

DAFTAR PUSTAKA

- Bagheripour, E., Moghadassi, A. and Hosseini, S. M. (2016) 'Preparation of mixed matrix PES-based nanofiltration membrane filled with PANI-co-MWCNT composite nanoparticles', *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(4), pp. 1462–1471. doi: 10.1007/s11814-015-0257-x.
- Baker, R.W. (Ed.), 2004. *Membrane Technologoy and Applicatoins.*, second ed. John Wiley % Sons, West Sussex, Inggris.
- Baker, Richard W. 2012. *Membrane Technology Membrane Technology and Applications.*
- Balouiri, M., Moulay S., and Saad, K. 2016. "Methods for in Vitro Evaluating Antimicrobial Activity: A Review." *Journal of Pharmaceutical Analysis* 6(2):71–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>.
- Bharadwaj, N. D. (2016) 'Detection of Escheria Coli , Staphylococcus Aureus and Salmonella Tyhpi In Drinking Water of Government Institutions, 5(7), pp. 769–774.
- Chen, Y. *et al.* (2013) 'Biofouling control of halloysite nanotubes-decorated polyethersulfone ultrafiltration membrane modified with chitosan-silver nanoparticles', *Chemical Engineering Journal*. Elsevier B.V., 228, pp. 12–20. doi: 10.1016/j.cej.2013.05.015.
- Davis, M.(2010). *Water and Wastewater Engineering*. New York: Mc Graw Hill.
- Drioli, E. (2016) *Encyclopedia of Membranes*. Rende: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-44324-8.
- Du, J. F. *et al.* (2010) 'Synthesis and performance of proton conducting chitosan/NH₄Cl electrolyte', *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 48(3), pp. 260–266. doi: 10.1002/polb.21866.
- Erik, T., & et all. (2005). Nanocomposites in Context. *Composites Science and Technology Vol. 65*, 491-516.
- Fane, A., Tang, C., & Wang, R. (2011). Membrane Technology for Water: Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, and Reverse Osmosis. *Treatise on Water Science*, 301-335.

- Fathanah, U. *et al.* (2019) 'Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyethersulfone (PES) -Kitosan Secara Blending Polimer', *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), pp. 62–66.
- Fazlara, A. and Ekhtelat, M. (2012) 'The disinfectant effects of benzalkonium chloride on some important foodborne pathogens', *American-Eurassian J. Agric. & Environ. Sci.*, 12(1), pp. 23–29.
- Gafri, H. F. *et al.* (2019) 'Enhancing the Anti-biofouling Properties of Polyethersulfone Membrane Using Chitosan-Powder Activated Carbon Composite', *Journal of Polymers and the Environment*. Springer US, 27(10), pp. 2156–2166. doi: 10.1007/s10924-019-01505-z.
- Geoffrey, M. (2006). Mechanical Properties of Chitosan/CNT Microfiber Obtained with Improved Dispersion, *Sensor and Actuators B, Vol. 115*, 678-684.
- Ghiggi, F. F. *et al.* (2017) 'Preparation and characterization of polyethersulfone/N-phthaloyl-chitosan ultrafiltration membrane with antifouling property', *European Polymer Journal*, 92, pp. 61–70. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2017.04.030.
- Guillen, G., Pan, Y., Li, M., & Hoek, E. (2011). "Preparation and Characterization of Membranes Formed by Nonsolvent Induced Phase Separation: A Review." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 50 (7): 3798–3817. doi: 10.1021/ie101928r.
- Hristov, P., Yoleva, A., Djambazof, S., Chukovska, I., and Dimitrov, D., 2012, Preparation and Characterization of Porous Ceramic Membrane For Micro-Filtration From Natural Zeolite, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, vol. 47, no. 4, pp. 476-480.
- Hosseini, S. M., Bagheripour, E. and Ansari, M. (2017) 'Adapting the performance and physico-chemical properties of PES nanofiltration membrane by using of magnesium oxide nanoparticles', *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(6), pp. 1774–1780. doi: 10.1007/s11814-017-0060-y.
- Huang, J., Wang, H., & Zhang, K. (2014). Modification of PES membrane with Ag-SiO₂: Reduction of biofouling and improvement of filtration performance. *Desalination*, 336(1), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.12.032>

- Indriyani,V.,Yunita,N.,Agus.,M. (2017). Pembuatan Mmembran Ultrafiltrasi dari Polimer Selulosan Asetat Dengan Metode Inversi Fasa, Universitas Lambung Mangkurat
- Kayser, F. H., K.A. Bienz, J. Eckert, R.M. Zinkernagel. (2005). *Medical Microbiologi*. Thieme Stuttgart. New York.
- Khoerunnisa, F. *et al.* (2020) ‘Journal of Environmental Chemical Engineering Chitosan / PEG / MWCNT / Iodine composite membrane with enhanced antibacterial properties for dye wastewater treatment’, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Elsevier, 8(2), p. 103686. doi: 10.1016/j.jece.2020.103686.
- Kumar, Rajesha, Arun M. Isloor, A. F. Ismail, dan T. Matsuura. 2013. “Synthesis and characterization of novel water soluble derivative of Chitosan as an additive for polysulfone ultrafiltration membrane.” *Journal of Membrane Science* 440: 140–47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.03.013>.
- Langelier, J., Gerhat, D., & Schlegel, H. (1999). *Biology of the Prokaryotes*. Jerman: Thieme Sturtgart
- Law, K. Y. and Zhao, H. (2015) *Surface wetting: Characterization, contact angle, and fundamentals*, *Surface Wetting: Characterization, Contact Angle, and Fundamentals*. doi: 10.1007/978-3-319-25214-8.
- Liu, C., Zhang, D., He, Y., Zhao, X., & Bai, R. (2010). “Modification of Membrane Surface for Anti-Biofouling Performance: Effect of Anti-Adhesion and Anti-Bacteria Approaches.” *Journal of Membrane Science* 346(1): 121–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.09.028>.
- Lusiana, R. A. *et al.* (2019) ‘Synthesis and characterization of composite polyethersulfone (PES) membranes with polyethylene glycol (PEG) and heparin-chitosan (Hep-CS)’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1). doi: 10.1088/1757-899X/509/1/012123.
- Lusiana, R. A. *et al.* (2020) ‘Permeability improvement of polyethersulfone-poliethylene glycol (PEG-PES) flat sheet type membranes by tripolyphosphate-crosslinked chitosan (TPP-CS) coating’, *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V, 152, pp. 633–644. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.290.

- Machodi, M. J. and Daramola, M. O. (2019) ‘Synthesis and performance evaluation of PES/chitosan membranes coated with polyamide for acid mine drainage treatment’, *Scientific Reports*. Springer US, 9(1), pp. 1–14. doi: 10.1038/s41598-019-53512-8.
- Machodi, M. J. and Daramola, M. O. (2020) ‘Synthesis of pes and pes/chitosan membranes for synthetic acid mine drainage treatment’, *Water SA*, 46(1), pp. 114–122. doi: 10.17159/wsa/2020.v46.i1.7891.
- Mulder, M., (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Nasir, S., Budi, T., and Silviaty, I., 2013, Aplikasi Filtrasi Keramik Berbasis Tanah Liat Alam dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry, *Jurnal Bumi Lestari*, vol.13, no. 1, pp. 45-51.
- Nicolaisen, B. (2003). Developments in membrane technology for water treatment. *Desalination*, 153(1–3), 355–360. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)01127-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01127-X)
- Nostro, A. *et al.* (2012) ‘Study on carvacrol and cinnamaldehyde polymeric films: Mechanical properties, release kinetics and antibacterial and antibiofilm activities’, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(4), pp. 1029–1038. doi: 10.1007/s00253-012-4091-3.
- Oxtoby, D.W. (2001). *Prinsip-prinsip Kimia Modern Jilid 1 Edisi 4*. Erlangga. Jakarta.
- Padaki, M. *et al.* 2015. “Membrane Technology Enhancement in Oil-Water Separation. A Review.” *Desalination* 357: 197–207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2014.11.023>.
- Patti, A., Barretta, R., Marotti de Sciarra, F., Mensitieri, G., Menna, C., & Russo, P. (2015). Flexural Properties of Multi-wall Carbon Nanotube/Polypropylene composite: Experimental investigation and nonlocal modeling. *Composite Structure*. 131, 282-289.
- Pelczar M.J and Chan, E.C.S (1986). *Dasar-dasar mikrobiologi 2*. Diterjemahkan oleh Hadioetomo RS, Imas T, Tjitrosomo SS, Angka SL. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta. hal. 489-522.
- Pendergast, M., & Hoek, E. (2011). A Review of Water Treatment Membrane Nanotechnologies. *Energy and Environmental Science*, 1946 - 1971.

- Rahimi, Z., Zinatizadeh, A. A. L., & Zinadini, S. (2015). Preparation of high antibiofouling amino functionalized MWCNTs/PES nanocomposite ultrafiltration membrane for application in membrane bioreactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.04.017>
- Rangel-Mendez, J.R., Escobar-Barrios, V.A., Davila-Rodriguez, J.L. (2010). Chitin Based Biocomposite for Removal of Contaminants from Water: A Case Study of Fluoride Adsorption. *Biopolymer*. NC-SA
- Safarpour, M., Vatanpour, V. and Khataee, A. (2016) ‘Preparation and characterization of graphene oxide/TiO₂ blended PES nanofiltration membrane with improved antifouling and separation performance’, *Desalination*. Elsevier B.V., 393, pp. 65–78. doi: 10.1016/j.desal.2015.07.003.
- Sahoo, N. G. *et al.* (2010) ‘Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes’, *Progress in Polymer Science*. Elsevier Ltd, 35(7), pp. 837–867. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2010.03.002.
- Sekretariat Kabinet RI. (2017). Lampiran Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. Diakses dari <http://setkab.go.id/category/peraturan>
- Shintia, Nova. (2013). Sintesis Membran Kitosan Termodifikasi Silica Abu Sekam Padi Untuk Proses Dekolorisasi. UNS. Semarang.
- Song, R., Zhaohua, Z., & Lexun, L. (2016). “Evaluation of Chitosan Quaternary Ammonium Salt-Modified Resin Denture Base Material.” *International Journal of Biological Macromolecules* 85: 102–10. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.052>.
- Thakur, V. K. (2016). Recent Advances in Cellulose and Chitosan Based Membranes for Water Purification: A Concise Review. *Carbohydrate Polymers*.
- Vatanpour, Vahid. 2012. “Novel antibiofouling nanofiltration polyethersulfone membrane fabricated from embedding TiO₂ coated multiwalled carbon nanotubes.” *Separation and Purification Technology* 90: 69–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2012.02.014>.
- Wenten, I.G.(2016). *Ultrafiltration in Water Treatment and Its Evaluation as Pretreatment for Reverse Osmosis System*, 3-4.

- Ying, Y., Ying, W., Li, Q., Meng, D., Ren, G., Yan Rongxin, & Pen, X. (2017). Recent Advances of Nanomaterial-based Membrane for Water Purification. *Applied Materials Today*, 144-158.
- Yoshimurat, Fuminobu & Hiroshi Hokaido. (1982). Permeability of *Pseudomonas aeruginosa* Outer Membrane to Hydrophilic Solutes. *Journal of Bacteriology*, Vol.152, No. 2
- Yu, Liang, Zhang, Yatao *et.,all.* (2013). Preparation and characterization of HPEI-GO/PES ultrafiltration membrane with antifouling and antibacterial properties. *Journal of Membrane Science* 447, 452-462