



Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Karakterisasi Fisikokimia Membran Polisulfon

Retno Ariadi Lusiana[✉], Nor Basid Adiwibawa Prasetya, Khabibi

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Sains, Universitas Diponegoro, Semarang

Info Artikel

Diterima September 2020

Disetujui Oktober 2020

Dipublikasikan November 2020

Keywords:

polisulfon
modifikasi
inversi fasa
fisikokimia
upgrade

Abstrak

Penggunaan polisulfon (PSf) sebagai bahan membrane telah meluas ke berbagai bidang, karena memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan termal yang tinggi. Untuk meningkatkan kinerja membran, pada penelitian ini PSf dicampur dengan zat aditif seperti PEG, sulfonasi dan CS-TPP, agar diperoleh membran dengan struktur dan morfologi yang sesuai sebagai membran dialisis. Pembuatan membrane menggunakan proses inversi fasa pada pelarut NMP. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi polisulfon dengan variasi konsentrasi asam sulfat (40, 50, 60%) dan variasi perbandingan monomer kitosan dan tripolifosfat (1:25, 1:50, 1:75). Berdasar data analisis gugus fungsi dapat disimpulkan modifikasi menggunakan PEG, sulfonasi dan CS-TPP telah berhasil dilakukan pada polisulfon. Berdasar data fisikokimia, menunjukkan bahwa modifikasi terhadap rantai polisulfon meningkatkan daya serap air, daya pengembangan, porositas, hidrofilisitas, dan fluks membran.

Abstract

The use of polysulfone (PSf) as a membrane material has expanded to various fields because it has high mechanical strength and thermal resistance. To improve membrane performance, in this study PSf was mixed with additives such as PEG, sulfonation, and CS-TPP, in order to obtain a membrane with a suitable structure and morphology as a dialysis membrane. Membrane manufacturing uses a phase inversion process in NMP solvents. In this study, polysulfone modification was carried out with variations in the concentration of sulfuric acid (40, 50, 60%) and variations in the ratio of chitosan and tripolyphosphate monomers (1:25, 1:50, 1:75). Based on the functional group analysis data, it can be concluded that the modification using PEG, sulfonation, and CS-TPP has been successfully carried out on polysulfone. Based on physicochemical data, it shows that modification of the polysulfone chain increases water absorption, swelling power, porosity, hydrophilicity, and membrane flux.

© 2020 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Departemen Kimia, FMS, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: retno.lusiana@live.undip.ac.id

Pendahuluan

Teknologi membran dalam proses pemisahan, telah berkembang dengan pesat, salah satunya untuk sekresi kreatinin dan urea pada proses dialisis. Para peneliti telah mengembangkan berbagai jenis membran dari berbagai jenis polimer, baik polimer organik maupun anorganik ^[1]. Untuk meningkatkan kinerja membran, polimer dicampur dengan berbagai zat aditif agar diperoleh membran dengan struktur dan morfologi yang sesuai dengan penggunaannya. Beberapa material telah dikembangkan sebagai bahan dasar membran dialisis seperti polietersulfon (PES), kitosan, selulosa asetat, polivinil difluorida (PVDF) dan polisulfon (PSf). Polisulfon, digunakan sebagai membran dialisis, karena kemudahan pembuatan, berkekuatan mekanik dan kestabilan termal hingga 200°C ^[2]. Namun, karena tidak memiliki sisi aktif maka proses dialisis menjadi kurang efektif. Beberapa peneliti menambahkan zat aditif seperti PEG, ^[3], sulfonasi ^[4], kitosan-tripolifosfat ^[5] untuk meningkatkan kinerja PSf. Dilaporkan zat aditif, mampu meningkatkan fungsi pemisahan dan anti-fouling terhadap membran PSf.

Berdasar struktur, membran dibedakan menjadi dua yaitu membran simetris dan asimetris. Pada proses dialisis, yang menggunakan tekanan sebagai daya dorong, biasanya digunakan membran asimetris. Berbagai metoda telah digunakan dalam proses pembuatan membrane, seperti *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching*, pelapisan (*coating*), dan *phase inversion*. Inversi fasa, menjadi metoda yang populer dalam mengembangkan membran struktur asimetris. Inversi fasa merupakan proses pengubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padat dengan kondisi terkendali. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan transisi dari fasa cair satu ke fasa dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Pada tahap tertentu selama proses *demixing*, salah satu fasa cair (fasa polimer konsentrasi tinggi) akan memadat sehingga akan terbentuk matriks padat. Pada metode ini polimer membran akan dilarutkan dalam suatu pelarut sampai terbentuk larutan yang homogen (*dope*). Larutan polimer yang homogen akan dicetak (*dope*) dan dipisahkan menjadi dua fasa dengan cara koagulasi atau dipadatkan dengan menggunakan medium tertentu. Mekanisme pembentukan membrane dipengaruhi oleh konsentrasi polimer, tipe pelarut non-pelarut dan penambahan aditif ^[6]. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakter fisikokimia dan permeatif dari membrane PSf dan PSf termodifikasi yang dibuat berdasar teknik inversi fasa dengan menggunakan pelarut NMP.

Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: polisulfon, PEG, N-methyl pirolidone, asam asetat, H₂SO₄, HCl, etanol, NaOH, 4-d, imetilamin-benzaldehid (4-DAB) natrium fosfat, kreatinin, asam pikrat dengan *grade pro analyst* buatan Merck, kitosan buatan *Biotech Surindo*, Na-TPP buatan *Sigma Aldrich*, serta vitamin B₁₂, dan albumin.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: alat gelas standar penelitian (*Herma dan Pyrex*), cawan petri (*Sterilplan*), neraca analitik (*OHAUS*), oven (*SIGMATIC dan KIRIN*), stirer (*Biomega dan Jenway*), pH meter (*PH-009(I)A PEN TYPE*), desikator, instrumen fluks, instrumen TGA (*Exstar SII/TG/DTA Series 7300*), *thickness meter* (Mitutoyo), chamber transpor, *Ultrasonic Homogenizer*, Spektrofotometer UV-Vis (LW-V-200-RS), *Tensile strength analyzer* (Zwick/ZO.5), instrumen FT-IR (*Perkin Elmer/ Frontier*), instrumen SEM (*Phenom pro X desktop SEM with EDX*).

Membran *flatsheet* PSf-PEG/CSTPP dibuat dengan 3 variasi sulfonasi dan 3 variasi perbandingan monomer kitosan dengan TPP (Tabel 1). Sejumlah PEG dilarutkan dalam NMP dengan pengadukan pada suhu 50°C selama 24 jam. PSf dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam. Tambahkan PSf sedikit demi sedikit ke dalam campuran PEG dan NMP sambil terus diaduk, suhu dinaikkan menjadi 60°C. Campuran *dope* diultrasonifikasi selama 30 menit dan dicetak menggunakan cetakan *acrylic*. Membran yang sudah dicetak direndam dalam air (non-pelarut) selama 24 jam. Air diganti beberapa kali untuk menghilangkan pelarut (NMP). Membran kemudian dikeringkan dan dicetak berbentuk bulat. Dilanjutkan dengan sulfonasi membran dengan variasi konsentrasi H₂SO₄ (40, 50, dan 60%). Setelah prosedur sulfonasi selesai, membran dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan kelebihan H₂SO₄. Selanjutnya, membran dikeringkan dan dilanjutkan reaksi lanjut. Membran yang telah tersulfonasi diimersi dalam larutan kitosan yang telah tertaut silang TPP dengan variasi perbandingan monomer kitosan dan TPP (1:25, 1:50, dan 1:75) selama 4 jam, lalu membran dikeringkan selama semalam dan disimpan dalam wadah kering.

Tabel 1. Variasi sampel membran

Kode Membran	PSf (g)	PEG	NMP	[H ₂ SO ₄] (%)	Kitosan (g)	Na-TPP (g)
P1	17,5	-	82,5			
P2	17,5	2,5	80			
S1	17,5	2,5	80	40	-	-
S2	17,5	2,5	80	50	-	-
S3	17,5	2,5	80	60	-	-
A1	17,5	2,5	80	40	1,5	0,1379
A2	17,5	2,5	80	50	1,5	0,1379
A3	17,5	2,5	80	60	1,5	0,1379
B1	17,5	2,5	80	40	1,5	0,0689
B2	17,5	2,5	80	50	1,5	0,0689
B3	17,5	2,5	80	60	1,5	0,0689
C1	17,5	2,5	80	40	1,5	0,0459
C2	17,5	2,5	80	50	1,5	0,0459
C3	17,5	2,5	80	60	1,5	0,0459

Karakterisasi Fisikokimia Membran meliputi uji gugus fungsi menggunakan FT-IR, uji serapan membran terhadap air (*water uptake*), uji pengembangan (*swelling*), uji porositas, uji hidrofilisitas, dan uji fluks.

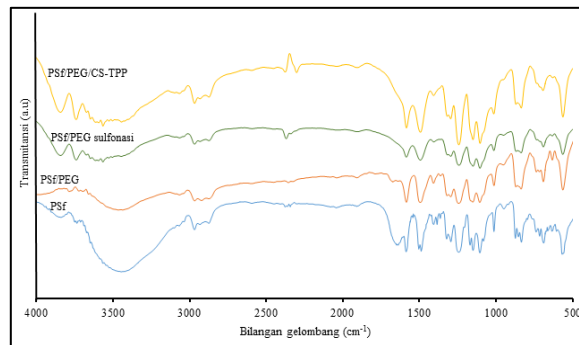
Hasil dan Pembahasan

Membran yang dihasilkan berupa lembaran tipis seperti plastik dengan ketebalan antara 50-120 μm dan dalam keadaan kering bersifat rigid. Membran tembus sinar dan tidak mudah robek. Spektra khas polisulfon ditunjukkan oleh serapan spesifik pada daerah 1150 cm^{-1} yang menunjukkan regangan simetris gugus $-\text{C}-\text{SO}_2-\text{C}-$ dan serapan pada daerah 1249 cm^{-1} merupakan regangan gugus eter $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$. Serapan pada 1290 cm^{-1} menunjukkan regangan gugus $\text{S}=\text{O}$, pada 1490 cm^{-1} merupakan serapan gugus $\text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3$. Spektra spesifik polisulfon juga ditunjukkan oleh adanya serapan pada 1588 cm^{-1} yang mengindikasikan serapan gugus $\text{C}=\text{C}$ aromatik benzen, serta pada 2900 cm^{-1} merupakan serapan gugus $-\text{C}-\text{H}$ sp³.

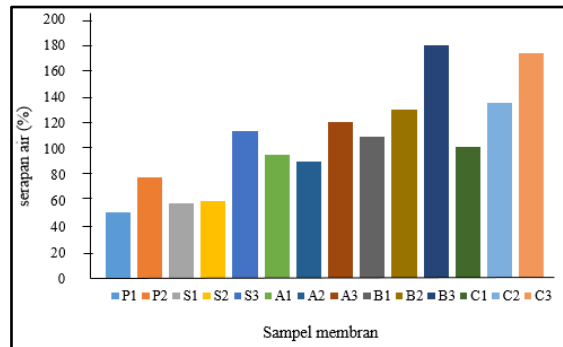
Penambahan PEG pada PSf ditunjukkan dengan adanya serapan pada daerah 1245 cm^{-1} yang merupakan regangan gugus $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$, serapan pada daerah 2874 cm^{-1} menunjukkan regangan simetris gugus $-\text{CH}$ metilen, dan serapan pada 3400 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus $-\text{OH}$.

Sulfonasi pada membran PSf/PEG ditunjukkan oleh serapan kuat pada 1235 cm^{-1} yang menunjukkan regangan $\text{O}=\text{S}=\text{O}$ dari gugus SO_3H dan pada 2372 cm^{-1} merupakan uluran gugus $-\text{SO}_3\text{H}$. Spektra spesifik juga ditunjukkan dengan adanya penguatan serapan gugus $-\text{C}-\text{S}$ pada 670 cm^{-1} yang mengindikasikan serapan khas ikatan $\text{C}-\text{S}$. Munculnya serapan ini menunjukkan bahwa membran PSf/PEG telah tersulfonasi, dimana gugus $-\text{SO}_3\text{H}$ berikatan dengan benzen pada rantai polimer polisulfon. Hasil sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Farrokhzad *et al.* (2015).

Masuknya kitosan-tripolifosfat (CS-TPP) ditunjukkan oleh serapan pada 1151 cm^{-1} yang merupakan regangan gugus $-\text{PO}_4$ dan pada 1104 cm^{-1} merupakan serapan gugus $-\text{P}-\text{O}-\text{R}$. Pita serapan lain pada 1320 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus $-\text{C}-\text{N}$ dan pada 1585 cm^{-1} merupakan regangan gugus $-\text{OH}$ dari $\text{O}=\text{P}-\text{OH}$ serta terjadi pergeseran serapan gugus $-\text{OH}$ dari 3464 cm^{-1} ke 3567 cm^{-1} dengan intensitas yang lebih besar. Pelebaran dan peningkatan intensitas serapan gugus $-\text{OH}$ ini mengindikasikan bahwa setelah pemaduan dengan CS-TPP, terjadi peningkatan ikatan hidrogen dalam molekul, sehingga interaksi molekul menguat. Data gugus fungsi yang didapat sesuai dengan hasil dari Lusiana *et al.* (2020).

**Gambar 1.** Spektra IR pada berbagai membran

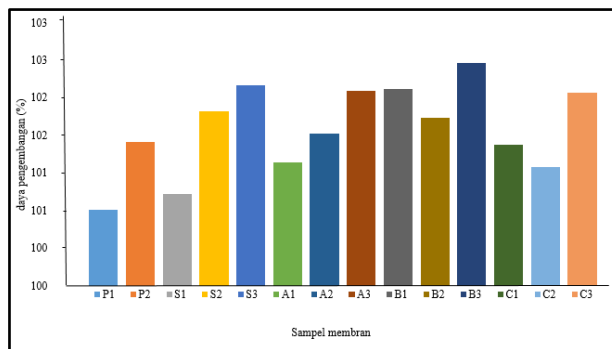
Pengujian serapan air penting dilakukan terhadap membran yang akan diaplikasikan pada proses transpor dalam lingkungan air. Persentase serapan air ditentukan dengan menghitung berat membran sebelum dan setelah direndam dalam air selama 6 jam dengan setiap jamnya membran diambil dan ditimbang. Hasil pengukuran serapan membran terhadap air dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Persentase serapan air pada berbagai membran

Dari Gambar 2 terlihat bahwa persentase serapan air meningkat setelah dilakukan modifikasi terhadap membran PSf (P1). Membran PSf mempunyai nilai serapan air sebesar 50%, dan PSf-PEG (P2) memiliki nilai serapan air sebesar 77,86 %. Pada proses pembuatan membran, gugus -OH dari PEG yang ditambahkan bersifat suka air, yang membuat proses difusi antara pelarut dan non-pelarut (air) melambat. Demikian juga pada proses sulfonasi, masuknya -SO₃H memunculkan gugus -S=O yang akan bertindak sebagai sisi aktif membran. Gugus ini bersifat elektronegatif dan hidrofil, yang dapat mengikat air pada proses difusi pelarut-non pelarut dalam proses solidifikasi. Hal ini juga akan membuat perlambatan proses pertukaran pelarut. Selain itu, penambahan aditif CS-TPP yang bersifat hidrofil, juga mempengaruhi perlambatan pertukaran pelarut-non pelarut selama proses solidifikasi. Melambatnya pertukaran ini membuat terbentuknya rongga-rongga kosong dalam badan membran, meningkatnya jumlah rongga di dalam membrane, dan berkorelasi dengan meningkatkannya serapan air oleh membran.

Derajat pengembangan ditentukan dengan perendaman membran dalam akuades selama 24 jam, selanjutnya dilakukan pengukuran diameter membran kering sebelum perendaman dan diameter membran basah setelah perendaman. Hasil pengukuran derajat pengembangan dapat dilihat pada Gambar 3.

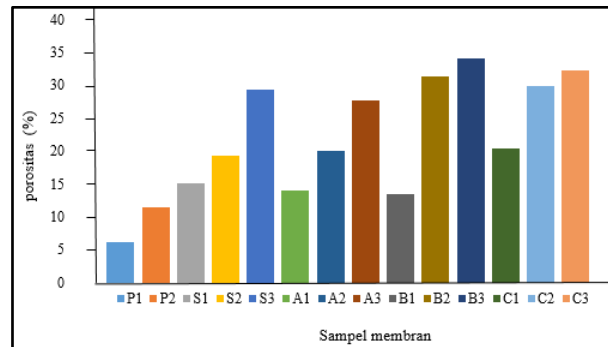


Gambar 3. Persentase daya pengembangan pada berbagai membran

Dari Gambar 3 diperoleh data bahwa derajat pengembangan membran mengalami peningkatan setelah modifikasi menggunakan PEG, sulfonasi, dan CS-TPP. Penambahan aditif-aditif tersebut mampu meningkatkan jumlah dan volume rongga pada membran PSf. Ketika kontak dengan air, maka rongga-rongga yang ada di dalam membran akan mampu menahan air di dalam membran dan meningkatkan diameter basah membran, yang merupakan ukuran pengembangan membran. Menurut Lusiana, 2020, kelenturan membran akibat masuknya zat aditif yang sesuai juga menyebabkan peningkatan daya pengembangan membran ketika kontak dengan air.

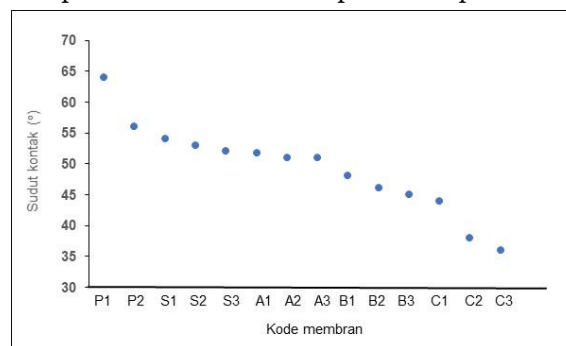
Pengukuran porositas membran bertujuan untuk mengetahui banyaknya ruang kosong di antara material dalam membran. Hasil pengukuran porositas membran dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan data yang diperoleh, modifikasi membran PSf, baik melalui pemaduan dengan PEG, sulfonasi dan penambahan CS-TPP, dimana semua aditif tersebut bersifat hidrofil menyebabkan terjadinya perlambatan pertukaran pelarut-non pelarut pada proses solidifikasi. Selanjutnya perlambatan ini menyebabkan tumbuhnya rongga/pori di dalam struktur membran, dan membran menjadi lebih porous. Pada penambahan PEG, nilai porositas membran akan meningkat, hal ini sesuai dengan hasil penelitian dari

Chou *et al.* (2007). Li *et al.* (2016) menunjukkan bahwa penambahan zat aditif akan meningkatkan porositas membran karena aditif dapat berdifusi sempurna dan membentuk ukuran pori yang lebih besar. Menurut Lusiana *et al.* (2019) peningkatan nilai porositas karena sulfonasi terjadi karena pada permukaan membran, penambahan material lain atau gugus aktif seperti SO_3^- yang menambah porositas membran melalui pemanduan membran.



Gambar 4. Persentase porositas pada berbagai membran

Hidrofilisitas menjadi parameter penting karena hidrofilisitas pada permukaan membran dapat mempengaruhi nilai fluks dan tingkat permeabilitas membran dalam proses transpor. Pengukuran hidrofilisitas dilakukan dengan metode sessil drops. Hasil pengukuran sudut kontak pada permukaan membran dan droplet air di atas permukaan membran dapat dilihat pada Gambar 5.

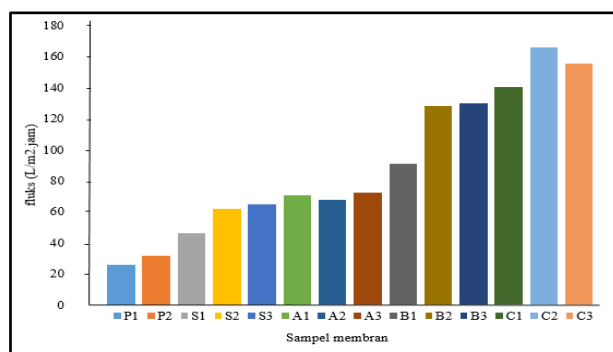


Gambar 5. Hasil sudut kontak pada berbagai membran

Modifikasi polisulfon menggunakan PEG, sulfonasi dan CS-TPP meningkatkan hidrofilisitas membran. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan nilai sudut kontak membran. Membran polisulfon murni memiliki nilai sudut kontak sebesar 64° , menunjukkan tingkat hidrofilisitas paling rendah. Pemaduan dengan PEG menurunkan sudut menjadi 56° , proses sulfonasi menurunkan sudut kontak hingga menjadi 53° , dan pemaduan CS-TPP membuat nilai sudut kontak menurun hingga 36° . Penurunan nilai sudut kontak ini menggambarkan peningkatan hidrofilisitas membran. Hasil ini sesuai dengan data nilai porositas membran, dimana membran paduan dengan CS-TPP memberi nilai tertinggi. Hal ini menunjukkan kecenderungan bahwa membran dengan hidrofilisitas tinggi juga memiliki nilai porositas yang tinggi, sejalan dengan bertambahnya jumlah gugus hidrofil di dalam struktur membran.

Data nilai hidrofilisitas ini sesuai dengan yang didapatkan pada Xue *et al.* (2013), Chen *et al.* (2009), dan Lusiana *et al.* (2020). Penambahan PEG, sulfonasi dan CS-TPP menurunkan tegangan permukaan antara membran dengan tetesan air sehingga permukaan membran lebih mudah untuk menyerap air dan kapasitas adsorpsi terhadap air meningkat.

Pengukuran fluks terhadap air bertujuan untuk mengetahui sifat permeabilitas membran. Fluks merupakan jumlah volume permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu karena adanya gaya dorong tekanan yang masuk ke dalam alat sel ultrafiltrasi (Indriyani *et al.*, 2017). Sebelum dilakukan uji fluks, terlebih dahulu dilakukan kompaksi membran yang bertujuan untuk membuka dan menata ulang pori-pori akibat pemberian tekanan dan perlakuan lain yang dapat mempengaruhi pori membran. Kompaksi merupakan suatu proses deformasi mekanik pada matrik polimer penyusun yang mengakibatkan struktur pori membran menjadi lebih rapat dan fluks menurun hingga mencapai nilai yang mendekati konstan (Mulder, 1996).



Gambar 6. Hasil fluks membran terhadap air

Penambahan PEG pada membran PSf menyebabkan peningkatan nilai fluks membran. Pemaduan dengan PEG menyebabkan penambahan gugus hidrofil $-OH$ yang dapat berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen sehingga molekul air dapat masuk melewati membran yang mengakibatkan peningkatan nilai fluks membran. Hal ini sesuai dengan nilai porositas membran dimana membran paduan PEG menghasilkan nilai porositas lebih tinggi dibandingkan membran PSf murni. Adanya PEG mengakibatkan jumlah pori mengalami peningkatan dan pori tertata dengan lebih teratur. Hal ini dikarenakan selama proses inversi fasa membran, sejumlah molekul PEG yang telah mengisi matriks membran ikut larut ke dalam air sehingga meninggalkan jejak pori pada membran. Terbentuknya pori pada membran menyebabkan molekul air lebih mudah untuk melewati membran sehingga menghasilkan nilai fluks yang lebih tinggi.

Proses sulfonasi dan penambahan CS-TPP meningkatkan kemampuan fluks membran. Proses sulfonasi membuat permukaan membran mengandung gugus ionik ($-SO_3H$) yang menyebabkan membran menjadi lebih polar dan bersifat hidrofilik. Penambahan CS-TPP meningkatkan jumlah gugus hidrofil $-PO_4$ dalam membran. Akibatnya interaksi antara membran termodifikasi dengan molekul air menjadi lemah akibatnya molekul air lebih mudah untuk melewati membran tersulfonasi dibandingkan membran PSf murni sehingga nilai fluks meningkat.

Simpulan

Polisulfon telah mengalami perubahan struktur, yang dapat diartikan bahwa reaksi modifikasi telah berhasil dilakukan terhadap rantai polimer polisulfon. Modifikasi membran melalui pemaduan PEG, imersi asam sulfat, dan pemaduan kitosan-TPP meningkatkan karakteristik fisikokimia membran, yang dibuktikan dengan peningkatan daya serapan air, porositas, hidrofilisitas dan fluks membran polisulfon.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan bantuan dana penelitian berdasar kontrak penelitian, Nomor: 257-57/UN7.6.1/PP/2020.

Daftar Pustaka

- Ran, F., Nie, S., Zhao, W., Li, J., Su, B., Sun, S., dan Zhao, C. 2011. Acta Biomaterialia Biocompatibility of Modified Polyethersulfone Membranes by Blending an Amphiphilic Triblock Co-Polymer of Poly (Vinyl Pyrrolidone)- b-Poly (Methyl Methacrylate)- b-Poly (Vinyl Pyrrolidone). *Acta Biomaterialia*, 7(9): 3370–3381
- Sangeetha, M., Kandaswamy, A. dan Vijayalakshmi, A. 2016. Preparation and Characterisation of Flat Sheet Micro/Nanoporous Membranes Using Polysulfone Blend with PVP/PEG and Chitosan/Chitosan Nanoparticles for Biomedical Applications. *Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials*, 8(2): 81-87
- Piluharto, B. dan Indarti, D. 2015. *Kajian Fouling Protein Pada Membran Berbasis Polietersulfon*
- Lusiana, R.A., Sangkota, V.D.A., Sasongko, N.A., Gunawan, G., Wijaya, A.R., Santosa, S.J., Siswanta, D., Mudasir, M., Abidin, M.N.Z., & Mansur, S. 2020. Permeability Improvement of Polyethersulfone-Polyethylene Glycol (PEG-PES) Flat Sheet Type Membranes by Tripolyphosphate-Crosslinked Chitosan (TPP-CS) Coating. *International Journal of Biological Macromolecules*

5. Kim, J.H. dan Lee, K.H. 1998. Effect of PEG Additive on Membrane Formation by Phase Inversion. *Journal of Membrane Science*, 138(2): 153-163
6. Darmawan, A., Riyadini, U., Riza Eka, S., Suhartana dan Yayuk, A. 2018. Synthesis and Characterization of Hydrophobic Silica Thin Layer Derived from Methyltrimethoxysilane (MTMS). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 299(1): 012041
7. Farrokhzad, H., Kikhavani, T., Monnaie, F., Ashrafizadeh, S. N., Koeckelberghs, G., Van Gerven, T., & Van der Bruggen, B. 2015. Novel Composite Cation Exchange Films Based on Sulfonated PVDF for Electromembrane Separations. *Journal of Membrane Science*, 474: 167–174
8. Chou, W.L., Yu, D.G., Yang, M.C., & Jou, C.H. 2007. Effect of Molecular Weight and Concentration of PEG Additives on Morphology and Permeation Performance of Cellulose Acetate Hollow Fibers. *Separation and Purification Technology*, 57(2): 209–219
9. Li, S., Cui, Z., Zhang, L., He, B., & Li, J. 2016. The Effect of Sulfonated Polysulfone on the Compatibility and Structure of Polyethersulfone-Based Blend Membranes. *Journal of Membrane Science*, 513: 1–11
10. Lusiana, R.A., Rusendi, D.P., Widodo, D.S., Haris, A., Suseno, A., & Gunawan, G. 2019. Studi Sifat Fisikokimia Membran Kitosan Termodifikasi Heparin dan Polietilen Glikol (PEG). *Analit: Analytical And Environmental Chemistry*, 4(2): 1–13
11. Xue, J., Zhao, W., Nie, S., Sun, S., & Zhao, C. 2013. Blood Compatibility of Polyethersulfone Membrane by Blending a Sulfated Derivative of Chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 95(1): 64–71
12. Chen, S.H., Liou, R.M., Lin, Y.Y., Lai, C.L., & Lai, J.Y. 2009. Preparation and Characterizations of Asymmetric Sulfonated Polysulfone Membranes by Wet Phase Inversion Method. *European Polymer Journal*, 45(4): 1293–1301.