

Pengaruh Sulfonasi terhadap Karakteristik Fisiko-Kimia Membran Polisulfon

Retno Ariadi Lusiana [✉], Agriccica Pangestica Saputry, Nor Basid Adiwibawa Prasetya

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

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima 11 Januari 2019

Disetujui 23 Maret 2019

Dipublikasikan 1 April 2019

Keywords:

PSf membrane, polyethylene glycol, integration, sulfonation, phase inversion

Abstrak

Pembuatan material membran diarahkan untuk menghasilkan membran yang memiliki karakteristik antara lain berpori-pori kecil yang seragam, kuat secara mekanik, bersifat hidrofilik, dan mempunyai ketahanan terhadap tekanan tinggi. Penelitian ini mempelajari pengaruh tiga konsentrasi asam sulfat pada proses sulfonasi terhadap membran polisulfon (PSf). Membran dibuat melalui metode inversi fasa dan modifikasi dilakukan melalui pepaduan PEG dan reaksi sulfonasi. Keberhasilan reaksi modifikasi dianalisis menggunakan FT-IR dan derajat sulfonasi (DS). Karakteristik fisika membran dianalisis menggunakan uji serapan air, pengembangan air, porositas, ketahanan pH, dan hidrofilisitas. Hasil spektra FT-IR membran mengindikasikan bahwa modifikasi membran polisulfon dengan PEG dan proses sulfonasi berhasil dilakukan. Semakin tinggi konsentrasi asam sulfat sebagai agen sulfonasi, derajat sulfonasi, persentase serapan air, daya pengembangan, porositas, dan hidrofilisitas membran meningkat. Secara umum, modifikasi meningkatkan sifat fisiko-kimia membran PSf.

Abstract

Membrane manufacturing is directed to produce membranes that have characteristics, such as small pores that are uniform, mechanically strong, hydrophilic, and have high pressure resistance. This research studies the effect of three concentrations of sulfuric acid on the sulfonation process on the polysulfone membrane (PSf). The membrane is made through the phase inversion method and modification is done through integration of the PEG and sulfonation reactions. The success of the modification reaction was analyzed using FT-IR and the degree of sulfonation (DS). The physical characteristics of membranes were analyzed using tests of water absorption, water swelling, porosity, pH resistance, and hydrophilicity. The result of FT-IR spectra indicated that the modification of the polysulfone membrane with PEG and the sulfonation process was successfully carried out. The higher the concentration of sulfuric acid as the sulfonation agent, the level of sulfonation, the percentage of water absorption, development power, porosity, and membrane hydrophilicity increases. In general, modifications improve the physico-chemical properties of the PSf membrane.

[✉] Alamat korespondensi:

E-mail: retno.lusiana@live.undip.ac.id

PENDAHULUAN

Polisulfon (PSf) merupakan suatu polimer sintetis yang banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran karena memiliki kekuatan mekanik tinggi dan kestabilan termal yang baik (Sangeetha *et al.* 2016). Akan tetapi dalam penggunaannya sebagai membran, polisulfon memiliki kelemahan seperti sifat hidrofobnya yang mengarah pada nilai fluks yang rendah, *fouling* senyawa organik dan permeasi yang rendah. Porositas dan kekuatan mekanik membran PSf dapat ditingkatkan melalui penggunaan agen porogen, seperti polietilen glikol (PEG), yakni suatu polimer sintetik dengan hidrofilitas tinggi. Feng (2017) mempelajari pengaruh PEG pada pembentukan dan karakter hidrofil membran sPPSU (polifenilensulfon tersulfonasi). Keberadaan PEG dilaporkan meningkatkan kekuatan mekanik, hidrofilitas, dan permeasi membran karena peningkatan interaksi dan keterikatan polimer.

Piluharto *et al.* (2015) mempelajari *fouling* protein pada membran berbasis polisulfon, menggunakan dua jenis membran, yaitu membran polisulfon dan membran polisulfon tersulfonasi. Dilaporkan bahwa ketahanan membran terhadap *fouling* protein pada membran polisulfon tersulfonasi lebih tinggi dibandingkan membran polisulfon tanpa sulfonasi. Lusiana *et al.* (2017) mempelajari kemampuan membran turunan kitosan dipadu dengan polivinil alkohol (PVA)-PEG dibandingkan dengan membran kitosan murni pada sifat fisiko-kimia dan kemampuan permeasi kreatinin. Dilaporkan bahwa modifikasi kitosan melalui taut silang dengan asam suksinat dan pepaduan dengan polimer PVA-PEG mampu meningkatkan nilai serapan air, kekuatan mekanik, dan hidrofilitas membran. Selain itu, membran kitosan termodifikasi memiliki kemampuan permeasi jauh lebih baik daripada membran kitosan *pure*.

Rendahnya nilai fluks pada membran PSf dapat diatasi melalui modifikasi sisi aktif menggunakan gugus fungsi yang sesuai, seperti kitosan dan turunannya. Integrasi membran komposit dari material sintetik sebagai substrat pendukung dan material alam sebagai lapisan

identifer senyawa target merupakan modifikasi terbaru untuk meningkatkan porositas, fluks dan permeabilitas membran PSf (Teotia *et al.* 2015). Namun paduan senyawaan tersebut menemui kendala karena kelarutannya. PSf hanya dapat larut pada pelarut organik seperti *N-methyl pirolidone* (NMP), sedangkan kitosan dan turunannya hanya dapat larut pada asam asetat encer. Agar kedua senyawa dapat berinteraksi, dibutuhkan suatu perantara seperti sulfonasi, fosforilasi dan nitrasasi. Ketiga reaksi tersebut akan membuat salah satu ion H pada satu cincin benzena menjadi gugus pergi dan akan digantikan oleh senyawa-senyawa tersebut.

Pada penelitian ini, dipelajari pengaruh reaksi sulfonasi dengan 3 konsentrasi asam sulfat sebagai senyawa antara. Pada reaksi sulfonasi, gugus $-SO_3H$ akan masuk pada rantai dasar struktur polisulfon, mengganti 1 gugus H dari cincin benzena sehingga PSf bermuatan polianion. Dengan muatan negatif tersebut, PSf siap berikatan dengan gugus $-NH_3^+$ dari turunan kitosan (Piluharto *et al.* 2015).

METODE

Pembuatan Membran Polisulfon (PSf)

Membran polisulfon murni disintesis dengan metode inversi fasa. Polisulfon sebanyak 15% w/w dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam, dan ditambahkan ke dalam gelas beker berisi larutan *N-methyl pirolidone* (NMP) kemudian diaduk selama 24 jam pada suhu 55°C. Campuran digetarkan dalam *ultrasound* selama 30 menit dan dicetak menggunakan cetakan *acrylic*. Membran yang sudah dicetak direndam dalam bak koagulasi yang berisi air (non-pelarut) selama 24 jam. Air diganti beberapa kali untuk menghilangkan pelarut (NMP). Membran kemudian dikeringkan di udara dan dicetak berbentuk bulat.

Pembuatan Membran Paduan PSf/PEG (PE)

Membran paduan PSf/PEG disintesis melalui proses inversi fasa. PEG sebanyak 12,5% w/w ditambahkan ke dalam gelas beker berisi larutan *N-methyl pirolidone* (NMP) dan diaduk selama 24 jam pada suhu 50°C. PSf sebanyak 15% w/w

dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam. PSf dicampurkan sedikit demi sedikit ke dalam campuran PEG dan NMP yang sedang diaduk. Suhu dinaikkan menjadi 60°C. Campuran digetarkan dengan *ultrasound* selama 30 menit dan dicetak menggunakan cetakan *acrylic*. Membran yang sudah dicetak direndam dalam bak koagulasi yang berisi air (non-pelarut) selama 24 jam. Air diganti beberapa kali untuk menghilangkan pelarut (NMP). Membran kemudian dikeringkan di udara dan dicetak berbentuk bulat.

Pembuatan Membran PSf/PEG Tersulfonasi (sPE)

Sulfonasi membran PSf/PEG menggunakan agen pensulfonasi H₂SO₄ dilakukan melalui reaksi imersi dengan variasi konsentrasi H₂SO₄ (40%, 50%, dan 60%). Membran PSf/PEG dimasukkan ke dalam cawan petri, ditambahkan larutan H₂SO₄ sebanyak 10 mL. Reaksi imersi dilakukan selama 4 jam pada suhu kamar. Setelah prosedur sulfonasi selesai, membran dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan kelebihan H₂SO₄. Selanjutnya membran dikeringkan di udara.

Pembuatan Membran Paduan PSf/PEG/CS-TPP (csPE)

Membran yang telah tersulfonasi diimersi ke dalam larutan kitosan yang telah tertaut silang TPP dengan rasio perbandingan monomer kitosan dan TPP 1:50 selama 4 jam, kemudian membran dikeringkan selama semalam dan disimpan dalam wadah kering.

Karakterisasi Membran

Analisis gugus fungsi dengan FT-IR

Membran hasil sintesis dianalisis menggunakan spektrofotometer FT-IR (Perkin Elmer) untuk mengetahui gugus fungsi dalam komposisi membran. Spektra FT-IR direkam pada suhu kamar dengan bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹.

Analisis derajat sulfonasi (DS)

Derajat sulfonasi (DS) membran tersulfonasi (S1, S2, dan S3) ditentukan melalui metode titrasi. Membran ditimbang beratnya menggunakan neraca analitik lalu direndam dalam 10 mL larutan

NaOH 0,01 M selama 3 hari. Sisa NaOH kemudian dititrasi dengan H₂SO₄ 0,01 M dengan indikator fenolftalein sebanyak 3 tetes untuk melihat titik akhir titrasi. Titrasi dilakukan sampai terjadi perubahan warna dari merah muda menjadi tidak berwarna. Sebelum titrasi pada sampel, dilakukan titrasi pada blanko (10 mL NaOH 0,01 M). Derajat sulfonasi diperoleh melalui persamaan (1).

$$DS = \frac{(V_{awal} - V_{akhir}) \times M_{H_2SO_4} \times BE_{SO_3}}{W} \quad (1)$$

dengan V_{awal} = volume H₂SO₄ yang digunakan saat titrasi blanko (mL); V_{akhir} = volume H₂SO₄ yang dibutuhkan saat titrasi sampel (mL); $M_{H_2SO_4}$ = konsentrasi H₂SO₄ (M); BE_{SO_3} = berat ekuivalen SO₃ (g/ek); dan W = berat sampel membran (g).

Analisis serapan air (*water swelling*) oleh membran

Membran kering pada semua komposisi ditimbang, dicatat sebagai berat kering (W_d), selanjutnya direndam dalam larutan buffer fosfat selama 6 jam. Dengan interval waktu setiap 2 jam, membran dikeluarkan dan ditimbang, dicatat sebagai berat basah (W_w). Persentase serapan air dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\text{Serapan air (\%)} = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \quad (2)$$

Analisis kuat tarik dan elongasi membran

Membran hasil sintesis direndam dalam aquades hingga mengembang, kemudian kuat tarik dan persen elongasinya diukur menggunakan *Tensile Strength Analyzer* Zwick BL-GRS500N. Kuat tarik ditentukan berdasarkan beban maksimum pada saat membran ditarik dengan gaya tertentu hingga pecah dan persentase pemanjangan didasarkan atas pemanjangan membran saat membran pecah.

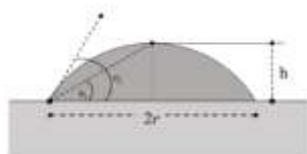
$$\text{Kuat tarik (MPa)} = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Keterangan: F = gaya kuat tarik (N) ; A = luas penampang membran (mm²)

Analisis hidrofilitas

Uji hidrofilitas dilakukan menggunakan metode *sessile drops*, yaitu dengan meneteskan

setetes air di atas permukaan membran, kemudian dilakukan pengambilan gambar. Tingkat hidrofilitas ditentukan dengan mengukur sudut kontak θ (*contact angle*) yang terbentuk antara air dan permukaan membran seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengukuran sudut kontak air
Sudut kontak dapat dihitung dengan rumus:

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{h}{r} \rightarrow \theta = 2 \arctan \frac{h}{r} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Membran hasil sintesis memiliki bentuk fisik berwarna putih, dibentuk bulat ($d \pm 4,5$ cm), tebal 50-120 μm , tidak mudah robek, dan dalam keadaan kering bersifat kaku. Membran disintesis melalui proses inversi fasa, suatu metode yang paling banyak digunakan dalam pembuatan membran polimer untuk proses pemisahan, karena kemudahannya dan *reproducibility* yang tinggi. Pada metode ini, polimer bentuk padatan diubah ke bentuk larutan dan kembali diubah ke bentuk padatan secara terkontrol pada suhu dan waktu tertentu. Proses pemadatan diawali dengan perpindahan polimer dari suatu cairan (pelarut) ke cairan lain (non pelarut) dilanjutkan dengan evaporasi larutan berlebih. Fase dengan konsentrasi polimer yang tinggi dalam larutan polimer akan membentuk padatan atau matriks membran, sedangkan fase dengan konsentrasi polimer yang rendah akan membentuk pori-pori.

Hasil Analisis Gugus Fungsi pada Membran dengan FT-IR

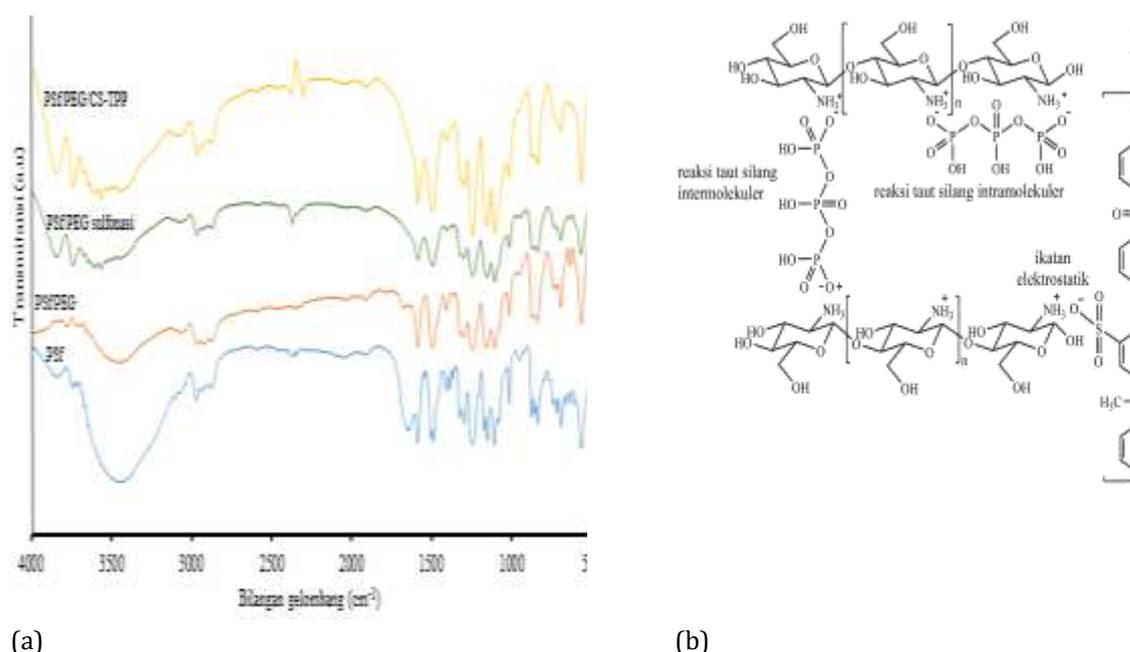
Keberhasilan sintesis membran PE, sPE, dan csPE diperlihatkan pada spektra Gambar 2(a). Spektra khas polisulfon ditunjukkan dengan adanya serapan pada 1150 cm^{-1} yang merupakan regangan simetris gugus -C-SO₂-C- dan pada 1249 cm^{-1} merupakan regangan gugus eter -C-O-C-

Serapan pada 1290 cm^{-1} menunjukkan regangan gugus S=O dan pada 1490 cm^{-1} merupakan serapan gugus CH₃-C-CH₃. Spektra spesifik polisulfon juga ditunjukkan oleh adanya serapan pada 1588 cm^{-1} yang mengindikasikan serapan gugus C=C aromatik benzen, serta pada 2900 cm^{-1} merupakan serapan gugus -C-H sp³.

Spektra spesifik membran PE ditunjukkan dengan adanya serapan pada 1245 cm^{-1} yang merupakan regangan gugus -C-O-C- dan pada 2874 cm^{-1} menunjukkan regangan simetris gugus -CH metilen serta pita serapan lain pada 3400 cm^{-1} merupakan serapan gugus -OH. Adanya *peak-peak* tersebut mengindikasikan telah terjadi pemaduan antara PSf dengan PEG.

Pada spektra membran sPE terjadi serapan kuat pada 1105 cm^{-1} yang menunjukkan peregangan -SO₂ dari gugus SO₃H dan puncak pada 2372 cm^{-1} merupakan serapan -OH dari gugus -SO₃H. Spektra spesifik juga ditunjukkan dengan adanya penguatan serapan gugus -C-S pada 570 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya peningkatan ikatan C-S. *Peak-peak* tersebut menunjukkan bahwa membran PE telah tersulfonasi, dimana gugus -SO₃H berikatan dengan benzen pada rantai polimer polisulfon. Spektra yang didapatkan sesuai dengan spektra pada penelitian Teotia *et al.* (2015).

Spektra FT-IR membran csPE menunjukkan serapan pada 1151 cm^{-1} yang merupakan regangan gugus -PO₄ dan pada 1104 cm^{-1} merupakan serapan gugus -P-O-R. Pita serapan lain pada 1320 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus -C-N dan pada 1585 cm^{-1} merupakan regangan gugus -OH dari O=P-OH serta terjadi pergeseran serapan gugus -OH dari 3464 cm^{-1} ke 3567 cm^{-1} dengan intensitas yang lebih besar. Hasil yang sama didapatkan pada penelitian Afsarian & Mansourpanah (2018) serta Lusiana *et al.* (2017). Pelebaran dan peningkatan intensitas serapan gugus -OH ini mengindikasikan bahwa setelah pemaduan dengan CS-TPP, terjadi peningkatan ikatan hidrogen dalam molekul, sehingga interaksi molekul menguat. *Peak-peak* tersebut menunjukkan bahwa membran PSf/PEG telah termodifikasi oleh CS-TPP.



Gambar 2. Spektra FT-IR pada berbagai membran (a) dan perkiraan reaksi yang terjadi(b)

Hasil Analisis Derajat Sulfonasi (DS)

Derajat sulfonasi (DS) merupakan jumlah rata-rata dari gugus sulfonat yang ada dalam rantai polimer tersulfonasi (Piluharto *et al.* 2015). Hasil penentuan derajat sulfonasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Derajat sulfonasi (DS) membran

Jenis membran	DS (%)
P	8,17
sPE 40	23,14
sPE 50	32,35
sPE 60	41,55

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai DS pada membran tersulfonasi lebih besar dibandingkan membran tanpa sulfonasi. Hasil ini menunjukkan bahwa gugus $-SO_3H$ dari asam sulfat telah masuk dalam rantai polisulfon melalui proses sulfonasi. Semakin besar konsentrasi asam sulfat sebagai agen pensulfonasi menghasilkan derajat sulfonasi yang semakin tinggi. Artinya, semakin banyak gugus $-SO_3H$ yang dapat masuk dalam rantai dasar polisulfon. Gugus $-SO_3H$ merupakan gugus polar dan hidrofil yang dapat meningkatkan hidrofilitas membran. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang didapatkan Piluharto *et al.* (2017).

Hasil Analisis Serapan Air (*Water Swelling*)

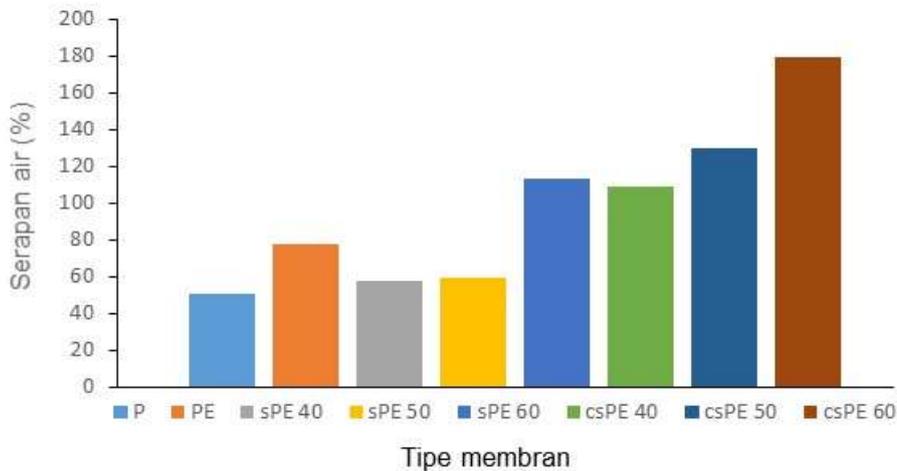
Pengukuran daya serap membran bertujuan untuk memprediksi banyaknya air yang bisa berdifusi ke dalam pori membran. Berdasarkan teori Izak *et al.* (2007), serapan air suatu membran ditentukan oleh banyaknya rongga kosong dan kemampuan interaksi antar molekul penyusun senyawa membran dengan air yang berdifusi di sekelilingnya. Bila senyawa penyusun membran memiliki gugus fungsi yang mampu berinteraksi dengan air maka membran akan mengembang dan menyerap sejumlah air dari lingkungan sekelilingnya.

Dari data pada Gambar 3 diperoleh bahwa persentase serapan air membran mengalami peningkatan setelah modifikasi. PEG memiliki sejumlah gugus $-OH$ yang bersifat hidrofil yang dapat membentuk interaksi fisik dengan molekul air melalui ikatan hidrogen intermolekuler. Masuknya PEG, membuat membran menjadi lebih hidrofil sehingga molekul air lebih mudah masuk dalam struktur membran dan kemampuan penyerapan air oleh membran meningkat.

Demikian juga modifikasi struktur membran melalui reaksi sulfonasi menyebabkan masuknya gugus $-SO_3^-$ dalam rantai polimer. Gugus fungsi $-O$ memiliki kekuatan elektronegativitas tinggi yang mampu berinteraksi secara ikatan hidrogen

dengan air yang berdifusi ke dalam membran. Interaksi-interaksi tersebut selanjutnya menarik air masuk ke dalam sistem rongga kosong yang ada di dalam pori membran, sehingga membran mengembang. Secara umum, modifikasi baik

secara paduan membran maupun interaksi kimia dalam penelitian ini meningkatkan kemampuan serapan air membran. Hasil ini sesuai dengan penelitian Chen *et al.* (2007) dan Sarkar *et al.* (2013).



Gambar 3. Kemampuan serapan air oleh beberapa tipe membran

Hasil Analisis Kekuatan Tarik dan Persentase Elongasi

Uji kekuatan tarik dan persentase elongasi bertujuan untuk menentukan sifat mekanik membran. Nilai kekuatan tarik mempresentasikan kekuatan membran ketika

diberikan gaya tarik tertentu dan persentase elongasi mempresentasikan elastisitas membran ketika meregang secara maksimum. Hasil pengukuran kuat tarik dan persentase elongasi dari berbagai membran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil kekuatan tarik dan persentase elongasi dari berbagai membran

Membran	Kuat tarik (MPa)	Regangan (%)
P	0,90	2,10
PE	1,82	3,42
sPE 40	2,59	5,23
sPE 50	2,35	9,00
sPE 60	3,19	8,01
csPE 40	4,77	3,16
csPE 50	4,02	4,68
csPE 60	5,62	3,67

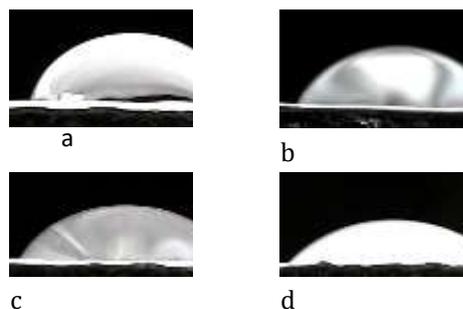
Pemaduan dengan polimer sintetik PEG dapat meningkatkan kekuatan tarik dan regang membran. Adanya PEG membuat struktur membran menjadi lebih teratur dan memungkinkan terjadinya peningkatan distribusi kuat tarik dalam membran. Demikian juga modifikasi melalui proses sulfonasi dapat

meningkatkan kekuatan mekanik membran. Melalui proses sulfonasi dapat menambah banyaknya gugus hidrofil dalam struktur membran sehingga membran akan lebih mudah mengembang serta lebih fleksibel ketika memperoleh gaya tarik. Modifikasi pemaduan kitosan-TPP juga meningkatkan kekuatan tarik

dan fleksibilitas membran. Adanya ikatan elektrostatik yang kuat antara PSf/PEG tersulfonasi dengan kitosan-TPP dan reaksi taut silang intermolekuler dan intramolekuler yang kuat dari polimer kitosan dan TPP menyebabkan keteraturan jarak antara polimer satu dengan lainnya sehingga ikatan interpolimer menjadi lebih kuat dan menyebabkan membran tidak mudah rusak oleh pemberian gaya dari luar (Lusiana *et al.* 2017).

Hasil Analisis Hidrofilisitas

Uji hidrofilisitas pada permukaan membran bertujuan untuk menentukan tingkat hidrofilisitas membran dengan parameter sudut kontak. Hasil pengukuran sudut kontak pada permukaan membran dapat dilihat pada Tabel 3 dan droplet air di atas permukaan membran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Droplet air di atas permukaan membran P (a); PE (b); sPE (c); dan csPE (d)

Tabel 3. Karakteristik fisika membran

Membran	Serapan air (%)	Sudut Kontak ($^{\circ}$)
P	50,5	64,2
PE	77,8	56,2
sPE 40	57,8	54,5
sPE 50	59,0	53,3
sPE 60	113,2	52,7
csPE 40	108,9	47,9
csPE 50	129,8	46,4
csPE 60	179,6	45,4

Dari Gambar 4 dan Tabel 3 diperoleh bahwa adanya modifikasi polisulfon dapat meningkatkan hidrofilisitas membran. Hal ini sebanding dengan penurunan nilai sudut kontak membran. PEG memiliki gugus hidrofil yakni gugus -OH. Adanya pepaduan dengan PEG mengakibatkan penambahan gugus -OH pada struktur membran sehingga hidrofilisitas membran meningkat. Hal ini sesuai dengan Xue *et al.* (2013) bahwa membran dengan PEG menghasilkan nilai sudut kontak yang rendah dan meningkatkan hidrofilisitas. Modifikasi sulfonasi membran menyebabkan penambahan gugus hidrofil yakni gugus -OH dan S=O dari -

SO₃H sehingga menambah karakter hidrofil dari membran modifikasi. Semakin besar konsentrasi agen pensulfonasi menghasilkan sudut kontak yang semakin kecil dan meningkatkan hidrofilisitas membran. Modifikasi melalui pepaduan kitosan-TPP dapat menambah jumlah gugus hidrofil pada struktur membran yaitu gugus -NH₂ dan -OH dari kitosan dan gugus -PO₄ dari TPP sehingga meningkatkan hidrofilisitas membran. Gugus-gugus hidrofil yang semakin banyak dalam struktur membran menyebabkan semakin banyak ikatan hidrogen yang terbentuk dengan molekul air sehingga hidrofilisitas membran

semakin meningkat. Hal ini berkorelasi dengan hasil pengembangan membran, membran dengan nilai sudut kontak yang rendah memiliki hidrofilitas yang tinggi sehingga menghasilkan persentase serapan air yang tinggi juga (Sarkar *et al.* 2017).

SIMPULAN

Modifikasi polisulfon melalui pemaduan PEG dan proses sulfonasi dengan asam sulfat meningkatkan karakteristik fisika dan tingkat hidrofilitas membran. Serapan air membran meningkat sebesar 125-300%, kekuatan mekanik meningkat 2-5 kali lipat dan hidrofilitas meningkat dibandingkan dengan membran PSf murni.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi melalui pendanaan dalam Skim Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) dengan No. kontrak : 257-57/ UN7.P4.3 /PP/2019 tanggal 1 April 2019

DAFTAR PUSTAKA

- Afsarian Z & Mansourpanah Y. 2018. Surface and pore modification of tripolyphosphate-crosslinked chitosan/polyethersulfone composite nanofiltration membrane; characterization and performance evaluation. *Korean J Chem Eng* 35(9): 1867-1877.
- Chen P, Hwang Y, Kuo T, Liu F, Lai J, & Hsieh H. 2007. Improvement in the properties of chitosan membranes using natural organic acid solutions as solvent for chitosan dissolution. *J Medic and Bio Engin* 27(1): 23-28
- Feng Y, Han G, Chung TS, Weber M, Widjojo N, & Maetzko C. 2017. Effects of Polyethylene Glycol on Membrane Formation and Properties of Hydrophilic Sulfonated Polyphenylenesulfone (SPPSu) Membranes. *J Membrane Sci* 531: 27-35.
- Izak P, Hovorka S, Bartavcky T, Bartocska L, & Crespo JG. 2007. Swelling of polymeric membranes in room temperature ionic liquids. *J Memb Sci* 296: 131-138.
- Lusiana RA, Protoningtyas WP, Wijaya AR, Siswanta D, & Santosa SJ. 2017. Chitosan-Tripoly Phosphate (CS-TPP) Synthesis through Cross-Linking Process: The Effect of Concentration Towards Membrane Mechanical Characteristic and Urea Permeation. *Orient J Chem* 33(6): 2913-2919.
- Piluharto B, Karlina dan Indarti D. 2015. *Kajian Fouling Protein Pada Membran Berbasis Polisulfon*. Prosiding Seminar Nasional Kimia. Jember: 81-87.
- Sangeetha M, Kandaswamy A, & 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. *J Optoelectron Biomed Mater* 8(2): 81-87.
- Sarkar SD, Farrugia BL, Dargaville TR, & Dhara S. 2013. Physico-chemical/biological properties of tripolyphosphate cross-linked chitosan based nanofibers. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 33(3):1446-54.
- Teotia RS, Kalita D, Singh AK, Verma SK, Kadam SS, & Bellare JR. 2015. Bifunctional Polysulfone-Chitosan Composite Hollow Fiber Membrane for Bioartificial Liver. *ACS Biomater Sci Eng* 1(6): 372-81.
- Xue J, Zhao W, Nie S, Sun S, & Zhao C. 2013. Blood compatibility of polyethersulfone membrane by blending a sulfated derivative of chitosan. *Carbohydr Polym* 95(1) : 64-71.