



PENGARUH KONSENTRASI *N-METHYL-2-PYRROLIDONE* (NMP) DI MEDIA GELATINISASI PADA PERFORMA MEMBRAN *POLYETHERSULFONE* (PES) MOLECULAR WEIGHT 5200

Sulistyo Pujiono, Gunawan Setia Prihandana, S.T., M.Eng., Ph.D.¹, Sunardi, S.T., M.Eng.²
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Yogyakarta, 55183, Indonesia
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia 55183
sulistyo.pujiono.eng@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengemukakan perkembangan membran dialisis yang memiliki sifat permeabilitas terhadap air dan cocok digunakan untuk implan sistem mikrodialisis tanpa cairan dialisis. Sistem mikrodialisis ini menggabungkan antara alat penyaring mikro (mikrofilter) dengan membran berpori yang terbuat dari polyethersulfone (PES). Kesederhanaan dari alat penyaring mikro ini penting untuk diterapkan pada implan sistem dialisis, dimana saat ini wearable artificial kidney (WAK) menimbulkan masalah pada ukuran dan berat dari pompa dan tangki penyimpanan untuk cairan dialisis. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan membran untuk hemofiltrasi yang tidak memerlukan cairan dialisis tapi memiliki permeabilitas tinggi. Peneliti telah melakukan dua modifikasi untuk meningkatkan permeabilitas dari membran PES, yaitu pada casting solution dan media gelatinisasi. Rasio konsentrasi yang digunakan pada casting solution merujuk pada penelitian sebelumnya oleh To dkk, (2015). Sedangkan pada gelatinisasi media, peneliti menggunakan pengaruh dari penambahan n-methyl-2-pyrrolidone (NMP) dalam media gelatinisasi yang bervariasi. Hasil menunjukkan bahwa pada gelatinisasi dalam NMP 7% memberikan pengaruh yang paling besar terhadap permeabilitas dari membran PES. Dari hasil uji performa dengan melakukan tes difusi diperoleh nilai fluks air sebesar 740,7 L/m².jam.mmHg dan koefisien difusi mencapai (0,100) mm²/s. Pengamatan morfologi dengan SEM menunjukkan bahwa ukuran pori – pori membran lebih besar dan distribusi pori yang merata, dimana itu berarti bahwa porositas membran PES meningkat. Sedangkan pada pengamatan water contact angle membran PES yang direndam dalam NMP 7% memberikan nilai yang terkecil yaitu 43° sehingga dapat dikategorikan membran PES tersebut bersifat hidrofilik. Dari hasil performa dan karakteristik morfologi yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi perendaman NMP 7% dapat meningkatkan permeabilitas dari membran PES dengan melakukan modifikasi pada casting solution dan media gelatinisasi.

Kata kunci : polyethersulfone, permeabilitas air, media gelatinisasi NMP, hidrofilik

Abstract

This research presents the development of water-permeable dialysis membranes that are suitable for an implantable microdialysis system without dialysis fluid. This microdialysis system integrates microfilter and nanoporous filtering membrane made of polyethersulfone (PES). The simplicity of this microfilter device is important to be applied in the implantable dialysis system, in which current Wearable Artificial Kidney (WAK) emerges the problems on the size and weight of the pumps and storage tanks for the dialysis fluid. Therefore, this research focuses on developing membranes for hemofiltration that doesn't require dialysis fluid but its permeability is high. The researcher has conducted two modifications to increase the permeability of PES membranes, that are on casting solution and gelatinization media. The concentration ratio used on casting solution refers to previous research from To et al. (2015). While on gelatinization media, the researcher used the influence of n-methyl-2-pyrrolidone (NMP) additional amount on the varying gelatinization media. The result revealed that the gelatinization of 7 % NMP give the biggest influence on PES membranes permeability. The result of the performance experiment by examining the diffusion shows that the water flux of 740,7 L/m².hour.mmHg and the diffusion coefficient reaches (0,100) mm²/s. The morphology monitoring with Scanning Electron Microscopy (SEM) shows that the pores membrane is larger and the pores distribution is spread evenly, in which it means that the PES membranes porosity is increased. While the monitoring of PES membranes water contact angle that submerged in 7 % of NMP shows the smaller value, that is 43°, so it can be categorized that PES membranes are hydrophilic. Hence, by analyzing the result of performance and morphology characteristic, it can be concluded that the gelatinization concentration of 7 % NMP can increase the permeability of PES membranes by modifying casting solution and gelatinization media.

Keyword : polyethersulfone, water permeability, gelatinization media, hydrophilic

1. Pendahuluan

Kejadian penyakit gagal ginjal di Indonesia semakin meningkat. Menurut data statistik yang dihimpun oleh PERNEFRI (Perhimpunan Nefrologi Indonesia), jumlah pasien gagal ginjal di Indonesia mencapai 70.000 orang dan hanya sekitar 13.000 pasien yang melakukan cuci darah atau hemodialisis (Suharjono, 2010). Hemodialisis merupakan terapi pengganti ginjal yang dilakukan 2 sampai 3 kali dalam

seminggu dengan lama waktu mencapai 4 – 5 jam, yang bertujuan untuk mengeluarkan sisa – sisa metabolisme protein dan mengoreksi gangguan keseimbangan cairan dan elektrolit menggunakan membran atau *dialyzer* dengan bantuan mesin hemodialisis (Black dan Hawks, 2005). Nurani dan Mariyanti, (2013); (Smeltzer dkk, 2002) mengemukakan bahwa pasien hemodialisis harus mengeluarkan biaya sangat besar yaitu Rp. 500.000 untuk satu kali cuci darah dan pasien harus

menjalannya sepanjang hidup. Selain itu, penggunaan mesin hemodialisis dianggap kurang efisien karena ukurannya yang cukup besar sehingga hanya dapat dilakukan ditempat tertentu atau tempat penyedia layanan hemodialisis seperti rumah sakit, klinik kesehatan, atau dirumah pribadi.

Salah satu metode yang dikemukakan oleh Yang dkk (2002) bahwa sistem dialisis implan seperti penggunaan ginjal buatan akan mengurangi frekuensi kunjungan ke rumah sakit dan secara drastis meningkatkan kualitas hidup mereka. Salah satu komponen penting yang menentukan kinerja dialisis adalah membran dialisis. Membran ini memungkinkan molekul yang lebih kecil dari ukuran pori membran untuk menembus lapisan membran dan menghalangi molekul yang lebih besar selama proses dialisis. Sebagian besar sistem dialisis menggunakan polimer sebagai membran dialisis dalam *dialyzer* karena properti *nanoporous*-nya. *Polyethersulfone* (PES) adalah salah satu polimer yang secara luas digunakan sebagai membran dalam sistem dialisis karena ukuran pori dan distribusinya mudah dikendalikan dengan mengubah komposisi dari larutan.

Oleh karena itu dalam penelitian ini, penulis akan fokus meneliti permeabilitas dari membran PES dengan memodifikasi konsentrasi larutan cetak PES (*casting solution*) dengan metode pencampuran PES, aditif, dan pelarut, serta memodifikasi karakteristik permukaan dengan variasi pada media gelatinisasi. PES dengan berat molekul 5200 memiliki kesesuaian yang tinggi terhadap material-material tertentu dan mudah dalam proses pembuatannya. *polyethylene glycol* (PEG) dipilih sebagai aditif, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Kim dan Lee, 1998) PEG dapat berperan dalam pembentukan pori dan meningkatkan sifat mekanik pada membran serta mengubah karakteristik PES menjadi hidrofilik (suka air). Penambahan zat pelarut pada *casting solution* menggunakan *N-Dimethylacetamide* (DMAc). DMAc adalah salah satu pelarut polar organik yang telah umum digunakan di industri kimia dan memiliki sifat larut yang hampir sama dengan PES. Salah satu metode untuk membuat membran adalah dengan penambahan aditif atau disebut metode inversi fasa, metode ini memiliki kelebihan mampu menghasilkan membran dengan lapisan yang rapat dan sangat tipis.

Untuk proses gelatinisasi menggunakan bahan *n-methyl-2-pyrrolidone* (NMP) dan akuades, NMP dipilih karena kuat dan mudah larut dalam air, serta memiliki stabilitas kimia dan termal yang tinggi pada semua temperatur air. Media gelatinisasi akan divariasikan untuk mengetahui pengaruh pada masing-masing konsentrasi media gelatinisasi yang berbeda terhadap karakteristik membran PES. Ada 5 variasi media gelatin dalam 300 mL larutan akuades yaitu NMP 1%, 3%, 5%, 7% dan akuades tanpa NMP (0%). Larutan *natrium chloride* (NaCl) yang digunakan sebagai molekul nano pengganti darah untuk menguji karakteristik permeabilitas membran dalam tes difusi. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah

memiliki membran PES dengan permeabilitas air yang tinggi untuk diterapkan pada sistem hemofiltrasi dengan melakukan modifikasi pada konsentrasi dari PES, aditif dan pelarut pada *casting solution* dan modifikasi pada media gelatinisasi sebagai upaya meningkatkan nilai permeabilitas membran.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian

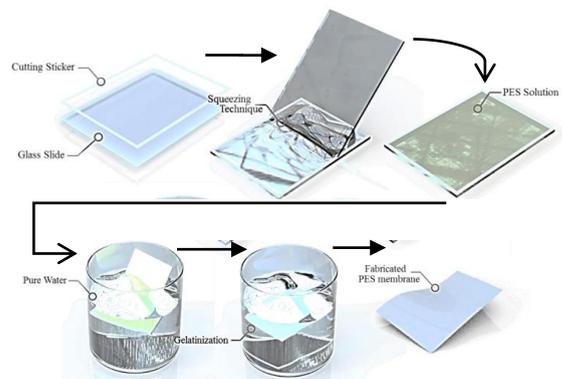
Polyethersulfone dengan berat molekul 5200 diproduksi oleh SumitomoChemical Co., Japan yang digunakan sebagai zat pelarut / polimer untuk pembuatan larutan membran. *Polyethyleneglycol* (PEG) dengan berat molekul 1000, diproduksi oleh Merck Schuchardt OHG digunakan sebagai aditif. 3. *N-Dimethylacetamide* (DMAc) diproduksi oleh Merck Schuchardt OHG digunakan sebagai pelarut. *N-methyl-2-pyrrolidone* (NMP) diproduksi oleh Merck KGaA, EMD Millipore Co., USA digunakan sebagai pelarut untuk media gelatinisasi. *Sodium chloride / Natrium Chloride* (NaCl) diproduksi oleh Merck KGaA, EMD Millipore Co., USA digunakan untuk larutan dialisis sebagai pengganti molekul nano dalam pengujian difusi

2.2. Pembuatan Membran PES

Membran PES dibuat menggunakan metode inversi fasa basah dengan komposisi 17,5 % b/b PES, 14,5 % b/b PEG, 68 % DMAc. Ketiga bahan tersebut dicampurkan dan diaduk dengan menggunakan alat *Magnetic Heated Stirrer* hingga diperoleh larutan yang homogen kemudian disimpan selama 24 jam atau 1 hari. Selanjutnya larutan cetak (*casting solution*) PES tersebut dicetak menjadi membran pada suatu plat kaca dengan teknik *squeezing* yaitu menggeserkan antar plat kaca (*glass slide*). Kemudian plat kaca langsung ditenggelamkan dalam media gelatinisasi selama 24 jam.

Tabel 1. Rasio pencampuran larutan membran dan strukturnya (dalam satuan % berat)

PES (gram)	PEG (gram)	DMAc (gram)
Zat Terlarut	Zat Pelarut	Aditif
17,5 %	14,5 %	68 %



Gambar 1. Fabrikasi membran PES

2.3. Pembuatan Media Gelatinisasi

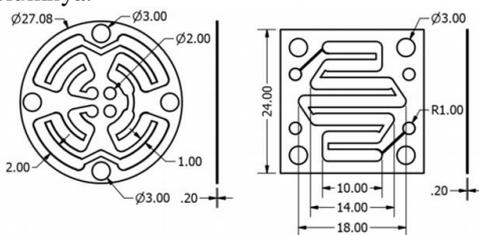
Media gelatinisasi terdiri dari akuades yang ditambahkan dengan NMP. Variasi konsentrasi NMP pada masing – masing media gelatinisasi dimaksudkan untuk meneliti seberapa besar pengaruh NMP untuk meningkatkan porositas membran. Tahapan yang pertama dalam pembuatan media gelatinisasi adalah menghitung jumlah volume NMP dalam satuan mL yang akan ditambahkan dengan akuades pada masing – masing media gelatinisasi, sehingga didapatkan rasio pencampuran NMP dan akuades sebagai media gelatinisasi.

Tabel 2. Rasio pencampuran NMP dan akuades sebagai media gelatinisasi

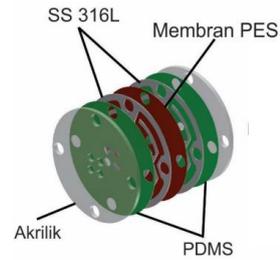
Kode Membran PES	Volum Pelarut Akuades (mL)	Persentase Zat Terlarut NMP (%) berat	Volume Zat Terlarut NMP (mL)
PES – 0	300	0	0
PES – 1	300	1	3
PES – 3	300	3	9
PES – 5	300	5	15
PES – 7	300	7	21

2.4. Perancangan Alat Mikrofilter

Pada tahap pembuatan alat mikrofilter yang akan digunakan sebagai alat untuk pengujian adsorption area pada membran. Penulis menggunakan alat dan desain struktur layer pada penelitian Setyawan (2016) mengenai perancangan dan pembuatan mikrofilter dengan menggunakan bahan yang terbuat dari SS 316L. Penulis memilih alat dan desain mikrofilter tersebut karena desain struktur layer pada penelitian Setyawan (2016) merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Gu (2009) dengan desain structural layer memiliki total adsorption area sebesar 144 mm². Kemudian Setyawan (2016) memodifikasi bentuk dari adsorption area, yang mengadopsi bentuk maze, harapannya, dengan luas adsorption area yang lebih luas, maka dapat meningkatkan performa sistem dialisis pada mikrofilter dengan menyaring lebih banyak zat sisa metabolisme. Total luas adsorption area pada structural layer meningkat mencapai 192 mm² 30% lebih luas dibandingkan dengan desain sebelumnya.



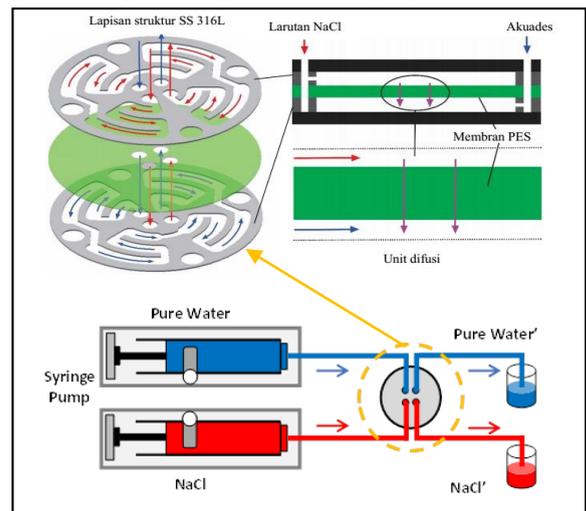
Gambar 2. Desain structural layer ; (a) maze-shaped setyawan, (b) Gu



Gambar 3. Skema perakitan mikrofilter

2.5. Tes Difusi Untuk Menentukan Koefisien Difusi

Tes difusi ini dilakukan dengan mengalirkan larutan NaCl sebagai pengganti molekul nano ke dalam sisi masuk (*inlet*) pada mikrofilter, maka molekul yang lebih kecil dari ukuran pori – pori membran akan terdifusi melewati membran dan keluar pada sisi keluar (*outlet*) pada mikrofilter. Tes difusi dibagi menjadi dua jenis yang berbeda yaitu tes difusi jangka pendek (3 jam) dan panjang (1 bulan) (Prihandana, 2013). Pada penelitian ini tes difusi dilakukan dengan menggunakan tes difusi jangka pendek (3 jam) dengan sistem *single pass*.

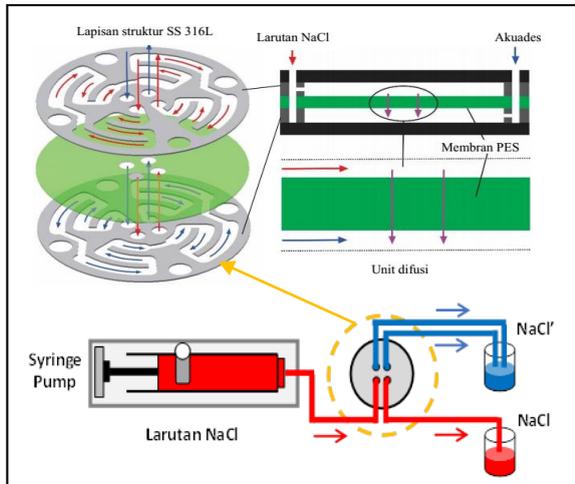


Gambar 4. Skema tes difusi untuk menentukan koefisien difusi

2.6. Tes Difusi Untuk Menentukan Water Flux

Prinsip kerja dari tes difusi ini hampir sama dengan tes difusi dalam mencari nilai koefisien difusi yaitu mendifusikan larutan NaCl sebagai larutan uji untuk mengetahui konsentrasi dan volume yang terdifusi melewati pori – pori membran. Perbedaannya terletak pada larutan yang digunakan hanya ada satu larutan NaCl, dan hasil tes difusi berupa larutan NaCl yang hanya lewat (NaCl) dan larutan NaCl yang terserap (NaCl'), NaCl yang terserap disebut juga dengan permeat. Hasil permeat nantinya diukur volume dan konduktivitas larutannya. Volume dari permeat ini menjadi parameter untuk menentukan jenis membran yang diuji bersifat permeabel atau tidak. Pengaruh lainnya adalah waktu, luas area difusi dan tekanan, parameter – parameter ini nantinya didapatkan dalam tes difusi kemudian dihitung untuk

menentukan nilai *water flux* yang berarti mewakili permeabilitas dari suatu membran.



Gambar 5. Skema tes difusi untuk menentukan *water flux*

Kemudian tahap selanjutnya data dianalisis dan dihitung untuk mengetahui nilai koefisien difusi dan permeabilitas membran dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$D_c = \frac{Q \times H}{A} \times \ln \left[\frac{C_B - C_A}{C_{B'} - C_{A'}} \right]$$

Dimana :

- D_c : Diffusion coefficient (mm²/detik)
- Q : Flow rate dari larutan NaCl (mL/menit)
- H : Ketebalan membran (μm)
- A : Area difusi membran (mm²)
- C_A : Konsentrasi awal larutan NaCl (μS)
- $C_{A'}$: Konsentrasi akhir larutan NaCl yang terserap NaCl (μS)
- C_B : Konsentrasi awal larutan dialisat (μS)
- $C_{B'}$: Konsentrasi akhir larutan dialisat yang terserap (μS)

$$(WF) = \frac{Q}{A \times t \times P}$$

Dimana :

- WF : Water Flux (mL/m².jam.mmHg)
- Q : Volume permeat (miliLiter)
- A : Luas area difusi membran (m²)
- t : Waktu pengujian (jam)
- P : Tekanan pembuluh darah arteri (mmHg)

2.7. Karakteristik Morfologi Membran

2.7.1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan membran PES yang telah dimodifikasi pada casting solution dan media gelatinisasi. Dengan menggunakan SEM diharapkan dapat mengidentifikasi struktur morfologi yang berbentuk seperti pori – pori berlubang dengan ukuran dan jumlah tertentu kemudian dapat dilakukan analisis

yang berhubungan dengan performa membran dalam menyerap (porosity). Uji SEM dilakukan menggunakan SEM JEOL JSM 7500F.

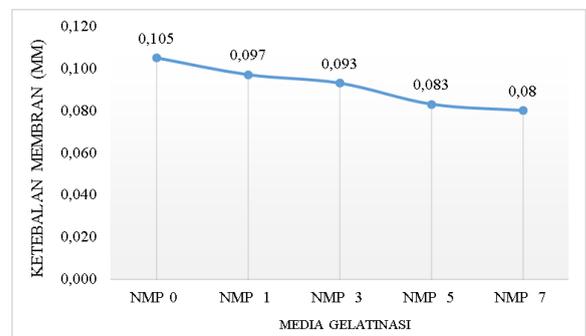
2.7.2. Water Contact Angle / WCA (sudut kontak air)

Dalam penelitian ini pengamatan WCA dilakukan bertujuan untuk mengetahui efek dari pelarut PEG pada konsentrasi *casting solution*, kemudian pengamatan dilakukan pada permukaan atas membran PES tergolong dalam hidrofilik atau hidrofobik. Pengamatan ini dilakukan pada temperatur ruangan dan menggunakan metode sessile drop yaitu dengan cara meneteskan akuades pada permukaan membran yang kering kemudian diamati dan diambil gambar menggunakan mikroskop (Dino Lite Digital Microscope). Untuk meminimalkan kesalahan dan validasi data pada percobaan, percobaan WCA dilakukan pada tiga lokasi berbeda pada masing – masing sampel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Ketebalan Hasil Modifikasi Membran PES

Karakterisasi dengan pengukuran permukaan membran berguna untuk mengontrol keseragaman dan kualitas membran. Koagulasi yang berlangsung pada suhu konstan, membran yang dihasilkan dengan penambahan PEG mempunyai lapisan yang lebih tebal dibandingkan membran tanpa PEG. Hal ini disebabkan karena terdapat sejumlah molekul PEG pada matriks membran PES sehingga kandungan zat padat menjadi lebih banyak. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Chou dkk, (2007) bahwa ketebalan membran sangat tergantung dari sifat kelarutan aditif dalam air pada bak koagulasi. Sementara itu menurut Young dan Chen, (1995) ketebalan lapisan kulit membran akan naik secara bertahap hingga difusi pelarut dari lapisan bagian bawah membran melalui lapisan bagian atas ke bukan-pelarut (non-pelarut) berhenti. Ini berarti bahwa ketebalan membran sangat tergantung dari perbandingan jumlah polimer dan pelarut yang digunakan.



Gambar 6. Grafik hubungan pengaruh media gelatinisasi terhadap ketebalan membran PES

Dari gambar 6 menunjukkan bahwa membran PES 0 memiliki ketebalan yang paling besar yaitu 105 mm, sedangkan pada membran PES 7 ketebalan hanya mencapai 0,080 mm. Persiapan membran PES

sebelumnya menggunakan media plat kaca dan menempelkan stiker *cutting* sebagai pembatas yang bertujuan untuk memperoleh ketebalan yang merata dan sama pada media gelatinisasi yang berbeda yaitu berkisar antara 100 μm (0,100 mm). Perbedaan ketebalan yang terjadi tidak terlalu besar antara membran PES 0 sampai PES 7. Perbedaan yang terjadi diprediksi disebabkan oleh pengaruh konsentrasi pelarut NMP pada media gelatinisasi. Seperti yang ditunjukkan pada hasil pengukuran, bahwa semakin tinggi konsentrasi NMP pada media gelatinisasi maka semakin berkurang ketebalan dari membran PES begitupun sebaliknya semakin rendah konsentrasi NMP maka semakin meningkat ketebalan membran. Ini karena NMP berperan untuk meningkatkan porositas dari membran yang berdampak langsung pada pembentukan ketebalan lapisan pori – pori membran tersebut.

3.2. Tes Difusi

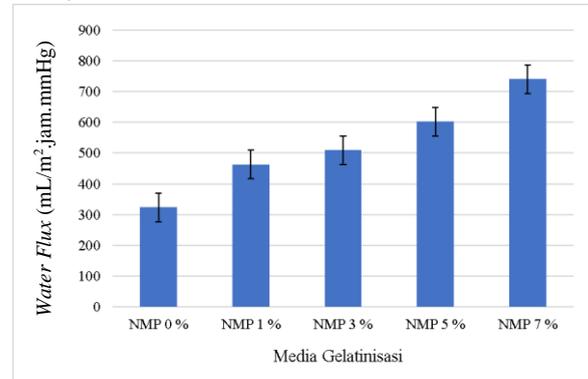
3.2.1. Pengambilan Data dan Perhitungan Larutan NaCl yang Terserap

Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap sampel membran PES dengan konsentrasi media gelatinisasi yang berbeda kemudian diambil nilai rata – ratanya. Berdasarkan hasil tes difusi, didapat data berupa volume, dan waktu. Parameter volume dan waktu tersebut dapat dikonversikan ke rumus untuk menentukan nilai *water flux* dari membran PES. Berikut adalah penjabaran dari perhitungan *water flux*:

Tabel 3. Pengambilan data dan perhitungan *water flux*

No.	Media Gelatinisasi	Hasil Pengujian Larutan NaCl		Perhitungan <i>Water Flux</i>
		Volume larutan NaCl yang terdifusi (mL)		(WF)
		NaCl	Terserap	($\text{mL}/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{mmHg}$)
1	NMP 0 %	34	8	370,4
2		33	7	324,1
3		32	6	277,8
Rata-rata		33	7	324,1
1	NMP 1 %	21	11	509,3
2		20	10	463
3		19	9	416,7
Rata – rata		20	10	463
1	NMP 3%	19	12	555,6
2		20	11	509,3
3		21	10	463
Rata – rata		20	11	509,3
1	NMP 5%	17	14	648,1
2		16	13	601,9
3		15	12	555,6
Rata - rata		16	13	601,9
1	NMP 7%	14	17	787
2		13	16	740,7
3		12	15	694,4
Rata - rata		13	16	740,7

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *water flux* diatas, beberapa parameter didapat dari hasil tes difusi yaitu volume dan waktu. Beberapa parameter lainnya seperti luas area difusi membran dan tekanan ditentukan berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya. Luas area difusi membran PES mengacu pada desain struktur layer *maze-shaped* yang memiliki luas area sebesar 192 mm^2 (0,000192 m^2) (Setyawan, 2016).



Gambar 7. Grafik hubungan media gelatinisasi terhadap *water flux* membran PES

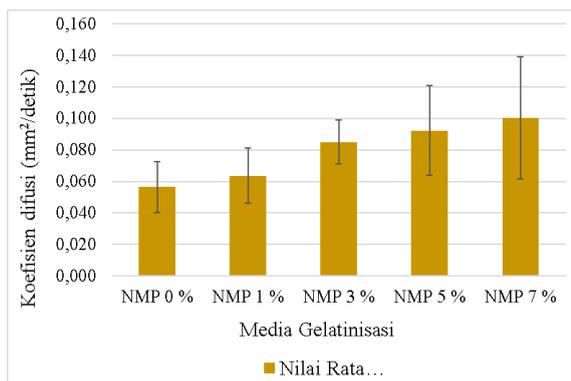
Pada penelitian ini fabrikasi membran ditujukan untuk sistem hemodialisis maka tekanan yang diberikan sebesar 75 mmHg (0,1 bar = 10 kPa) yang mewakili dari tekanan pembuluh darah arteri pada tubuh manusia, pemilihan tekanan ini berdasarkan penelitian Gu dan Miki (2009) dengan memberikan tekanan sebesar 10 kPa maka dapat menghilangkan kandungan urea sebesar 18 μg /menit. Pada hasil perhitungan *water flux*, nilai tertinggi adalah 740,734 $\text{mL}/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{mmHg}$ berada pada membran PES dengan media gelatinisasi NMP 7 % dan nilai terendah adalah 324,071 $\text{mL}/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{mmHg}$ berada pada membran PES dengan media gelatinisasi NMP 0 %. Pengaruh kenaikan konsentrasi NMP ini berbanding lurus dengan kenaikan nilai *water flux* yang dihasilkan. Seperti yang dikemukakan oleh Ghosh dkk, (2008) menemukan dengan penambahan sedikit persentase dari pelarut ke dalam media gelatinisasi (3% NMP ke dalam air) dapat mempengaruhi permeabilitas dari membran lebih dari 25%. Hal ini sesuai dengan grafik yang menunjukkan kenaikan yang konstan sesuai dengan semakin bertambahnya NMP pada media gelatinisasi. Penambahan NMP pada media gelatinisasi sendiri bertujuan untuk meningkatkan porositas membran sehingga semakin meningkatnya nilai porositas suatu membran maka akan semakin tinggi unjuk kerja membran dalam menyerap suatu larutan.

3.2.2. Perhitungan Koefisien Difusi

Konduktivitas dari larutan NaCl diukur berdasarkan selisih antara sebelum pengujian dan sesudah dilakukan pengujian difusi. Berikut adalah tabel perhitungan untuk menentukan koefisien difusi.

Tabel 4. Data perhitungan untuk menentukan koefisien difusi

Kode Membran PES	Q (mL/menit)	H (μm)	A (mm ²)	Koefisien Difusi (mm ² /detik)
PES 0	0,333	105	192	0,038
				0,069
				0,061
Rata - rata				0,056
PES 1	0,333	97	192	0,043
				0,073
				0,074
PES 3	0,333	93	192	0,069
				0,095
				0,090
Rata - rata				0,085
PES 5	0,333	83	192	0,065
				0,089
				0,122
Rata - rata				0,092
PES 7	0,333	80	192	0,067
				0,090
				0,143
Rata - rata				0,100



Gambar 8. Grafik hubungan media gelatinisasi terhadap koefisien difusi membran PES

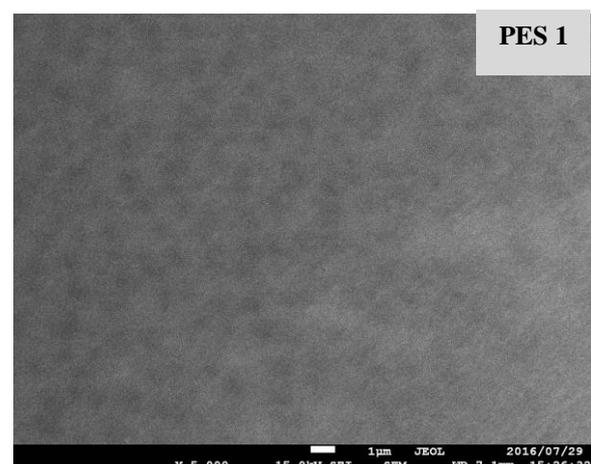
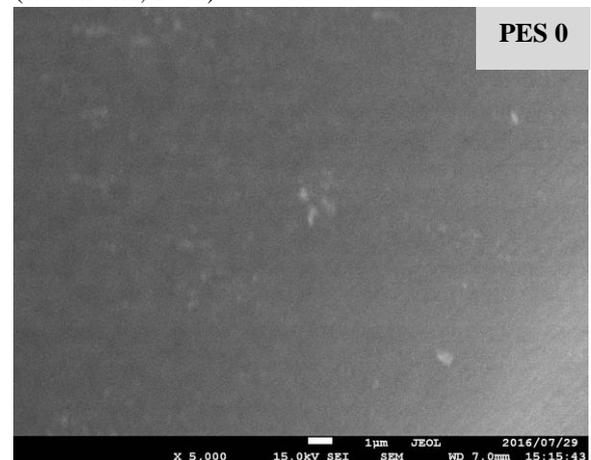
Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4, Perbedaan antara membran PES 1 dan lainnya terletak pada nilai konduktivitas yang terukur pada setiap membran PES dan pengujian berbeda – beda. Selisih ini terjadi karena masing – masing membran PES sendiri memiliki karakteristik yang berbeda pada media gelatinisasi. Besar konsentrasi NMP berpengaruh pada pembentukan porositas membran PES yang akan meningkatkan kemampuan membran PES dalam mendifusikan molekul – molekul larutan NaCl yang berukuran lebih kecil dari pori – pori membran. Nilai koefisien difusi paling tertinggi terdapat pada membran PES 7 dengan nilai 0,100 mm²/detik. Hal ini sesuai dengan perlakuan membran PES 7 dengan penambahan NMP 7% sehingga dengan ukuran pori membran yang lebih besar mampu meningkatkan penyerapan molekul yang melewati membran maka nilai konduktivitas terukur lebih tinggi. Faktor lain yang menjadikan membran

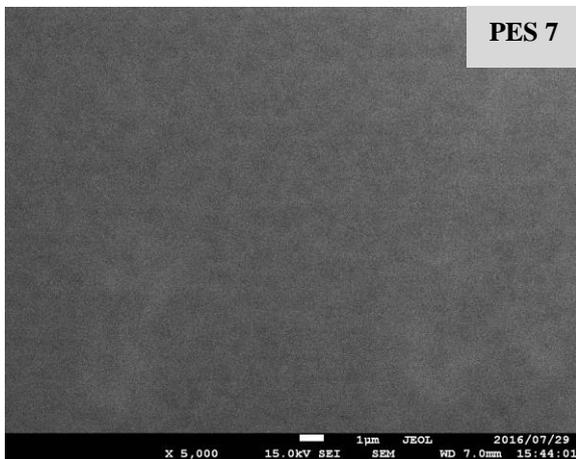
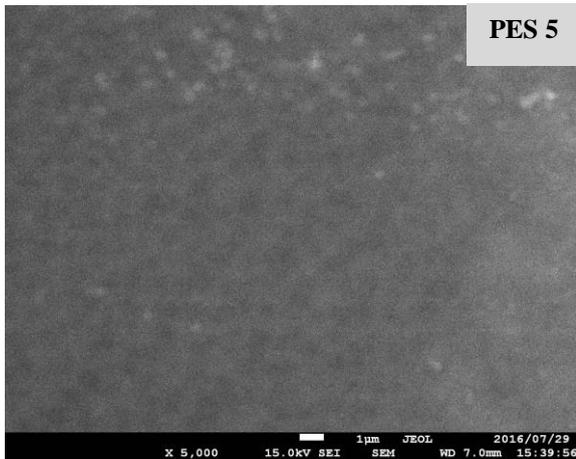
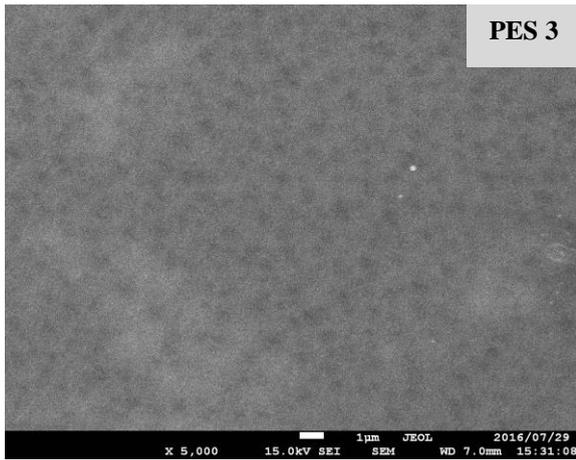
PES 7 memiliki nilai koefisien difusi lebih tinggi disebabkan ketebalan membran PES yang lebih kecil dari membran PES lainnya yaitu 80 μm. Semakin tipis membran PES yang dihasilkan maka kadar resapan berjalan lebih cepat. Pada data pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4, terlihat bahwa setiap pengujian mengalami ketidakteraturan tetapi pada setiap pengujian mengalami kenaikan nilai koefisien difusi yang konstan. Hal ini disebabkan oleh semakin sering membran PES dilakukan pengujian difusi maka akan membuka pori – pori membran menjadi lebih besar. Semakin besar ukuran pori – pori maka akan berpengaruh pada meningkatnya laju peresapan molekul terhadap membran PES. Tetapi rata – rata dari seluruh pengujian yang dilakukan menunjukkan grafik mengalami peningkatan.

3.3. Karakteristik Morfologi Membran PES

3.3.1. Efek Penambahan NMP Pada Morfologi Permukaan Membran PES

Seperti yang telah dijelaskan, bahwa membran PES pada penelitian ini dibentuk dengan metode inversi fasa dan mekanisme pembentukan membran berlangsung secara *instantaneous demixing*. Penambahan NMP dengan konsentrasi polimer yang lebih kecil seketika itu juga dapat menghentikan *demixing*, dengan kelambatan *demixing* itu akan berdampak pada pembentukan pori – pori membran. (Ghosh dkk, 2008).





Gambar 9. Hasil SEM membran PES

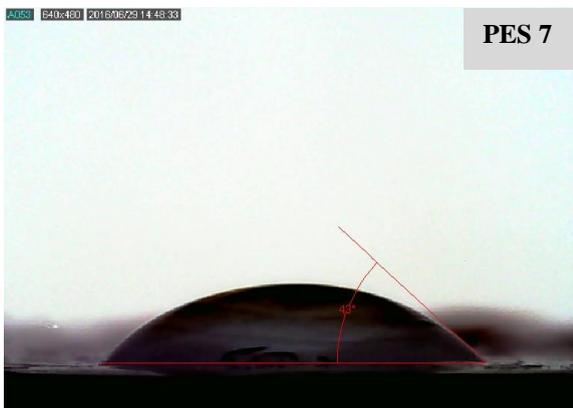
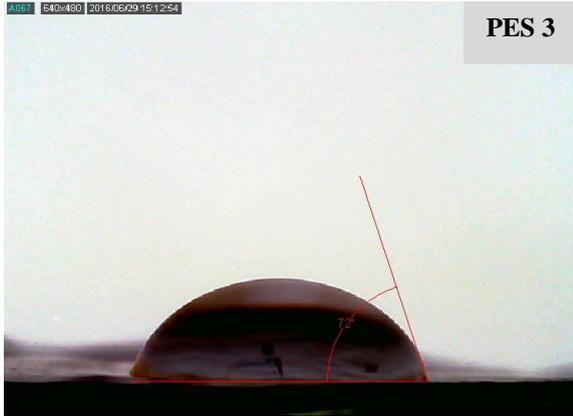
Pada Gambar 4.8. membran PES 0 dapat dilihat bahwa struktur morfologi memiliki pori – pori yang rapat dan ukuran pori – pori yang lebih kecil dibandingkan dengan membran PES 1, 3, 5, dan 7. Hal ini disebabkan karena pada membran PES 0 hanya menggunakan akuades sebagai media gelatinisasi sehingga proses *demixing* berjalan lebih cepat. Berbeda dengan membran PES dengan penambahan NMP mengalami perlambatan proses instantaneous demixing sehingga pori – pori yang dihasilkan memiliki ukuran pori – pori lebih besar dan lebih banyak distribusinya pada permukaan membran PES.

3.3.2. Efek Konsentrasi NMP Media Gelatinisasi Pada Morfologi Permukaan Membran PES

Secara umum struktur pori dibentuk melalui pengendapan dari larutan homogen. di dalam media gelatinisasi diubah. Pengaruh NMP untuk meningkatkan porositas dari membran PES mengalami beberapa perbedaan pada masing – masing variasi. Pada membran PES 1 ukuran pori – pori terlihat lebih besar tetapi distribusi pori – pori tidak merata pada seluruh permukaan atas membran PES sehingga menurunkan kemampuan membran dalam mendifusikan larutan yang mengalir melewatinya. Berbeda dengan membran PES 7 yang memiliki ukuran pori – pori relatif sama pada semua membran PES yaitu 7.0 sampai 7.1 mm, tetapi distribusi pori – pori yang dihasilkan lebih merata pada seluruh permukaan atas membran. Semakin merata distribusi pori – pori pada permukaan membran maka akan semakin besar volume yang dapat didifusikan oleh membran. Dari hasil SEM yang telah dilakukan pada semua variasi media gelatinisasi dapat disimpulkan bahwa ukuran pori – pori dan distribusinya berbanding lurus dengan besarnya konsentrasi NMP pada media gelatinisasi. Semakin besar konsentrasi NMP maka ukuran pori dan distribusinya semakin besar sehingga membran PES tersebut dapat dikategorikan bersifat permeabel dan dapat melarutkan air.

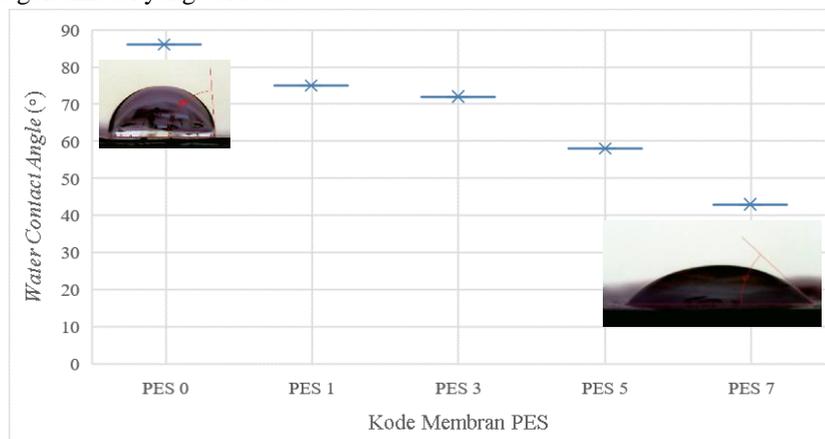
3.3.3. Pengamatan *Water Contact Angle*





Gambar 10. Hasil Pengamatan *Water Contact Angle* pada media gelatinisasi yang berbeda

Berdasarkan data hasil pengujian WCA pada gambar 4.18, nilai WCA membran PES hasil perendaman dalam NMP 0 % menunjukkan nilai yang paling besar yaitu 86°. Sedangkan membran PES hasil perendaman dalam NMP 7 % memiliki nilai paling kecil yaitu 43°. Besar kecilnya sudut kontak disebabkan oleh tegangan permukaan yang terjadi antara membran dengan media air dalam metode sessile drop. Seperti yang dijabarkan oleh Celia dkk (2013) bahwa membran dikatakan bersifat hidrofilik harus memiliki sudut kontak lebih dari 0° dan kurang dari 90° ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) apabila sudut kontak lebih dari 90° maka membran tersebut dikategorikan bersifat hidrofobik. Dari data WCA dapat disimpulkan bahwa membran PES yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan sifat hidrofilik karena berada pada jarak 43° - 86°. Dan semakin kecil sudut yang dihasilkan maka dapat dikatakan semakin hidrofilik suatu membran. Membran PES dengan media gelatinisasi NMP 7 memiliki sifat paling hidrofilik dibandingkan membran PES lainnya. Hidrofilisitas membran PES meningkat dengan adanya perendaman dalam NMP terutama dengan konsentrasi NMP yang semakin besar. Hal ini dikarenakan permukaan membran dengan media perendaman dengan konsentrasi NMP lebih tinggi memiliki karakteristik energi permukaan dan tegangan permukaan yang kecil saat berinteraksi dengan air. Dilihat dari ukuran dan distribusi pori – pori pada analisis SEM mendukung bahwa membran semakin besar ukuran pori – pori dan distribusinya maka menghasilkan permukaan yang suka air dan menyerap air. Uda (2011) mengemukakan bahwa membran yang memiliki energi yang rendah saat berinteraksi dengan air, dapat adsorpsi protein, ukuran dan distribusi pori – pori yang lebih baik, serta memiliki koefisien ultrafiltrasi yang tinggi dapat dinyatakan membran memiliki biokompatibilitas. Sehingga dapat disimpulkan semakin hidrofilik suatu membran maka semakin biokompatibel membran tersebut.



Gambar 11. Grafik pengukuran WCA membran PES

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Pembuatan membran PES dengan metode inversi fasa basah menggunakan perbandingan rasio konsentrasi bahan polimer PES 17,5 % ; PEG 14,5 % ; DMAc 68 % menunjukkan membran memiliki ketebalan yang dapat dikategorikan dalam membran ultrafiltrasi yaitu berkisar antara 0,080 sampai dengan 0,105 mm (80 – 105 μm). Modifikasi konsentrasi NMP pada variasi media gelatinasi yang berbeda memiliki pengaruh terhadap peningkatan performa dan struktur morfologi membran PES pada masing – masing media gelatinasi. Pengaruh media gelatinasi untuk meningkatkan performa dari membran PES sesuai dengan meningkatnya konsentrasi NMP pada media gelatinasi, nilai water flux tertinggi terdapat pada PES 7 yaitu 740,7 L/m².jam.mmHg dengan koefisien difusi yang dihasilkan sebesar 0,100 mm²/detik. Pengamatan WCA membuktikan membran PES 7 memiliki karakteristik sifat hidrofilik dan semakin bertambah konsentrasi NMP pada media gelatinasi maka semakin hidrofilik membran PES tersebut. Dan semakin hidrofilik suatu membran maka akan semakin tinggi biokompatibilitas dalam mengurangi fouling (penyumbatan) pada proses filtrasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Toray yang telah memberikan kesempatan baik pendanaan maupun dukungan untuk melakukan penelitian ini. Kemudian kepada ketua penelitian Bapak Muslim Mahardika, S.T., M.Eng., Ph.D. dan pembimbing dalam penelitian ini Bapak Gunawan Setia Prihandana, S.T., M.Eng., Ph.D. serta kepada semua anggota proyek Toray dari Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan Universitas Gadjah Mada.

Daftar Pustaka

- [1] To N, Sanada I, Ito H, Prihandana GS, Morita S, Kanno Y and Miki N. (2015). Water-permeable dialysis membranes for multi-layered microdialysis system. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 3:70. doi: 10.3389/fbioe.2015.00070
- [2] Suharjono. (2010). Penderita Gagal Ginjal di Indonesia. w.ikcc.or.id/content.php?c=1&id=275.
- [3] Black, J.M., dan Hawks, J.H. (2005). *Medical Surgical Nursing Clinical Management for Possitive Outcome* (7th ed.). Philadelphia : W.B Saunders Company.
- [4] Nurani, V.M., Mariyanti, S. (2013). Gambaran Makna Hidup Pasien Gagal Ginjal Kronik yang Menjalani Hemodialis. *Jurnal Psikologi*, Volume. 11, No. 1. Jakarta.
- [5] Smeltzer, Suzanne C, dan Brenda G, Bare. (2002). *Buku Ajar Keperawatan Medikal Bedah* Brunner dan Suddarth. (Edisi 8). Jakarta : EGC.
- [6] Yang, G., Xiong, X., and Zhang, L. (2002). “Microporous formation of blend membranes from cellulose/konjac glucomannan in NaOH/thiourea aqueous solution”. *J. Memb. Sci.* 201, 161–173. doi:10.1016/S0376
- [7] Kim, J. H., dan Lee, K. H. (1998). Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion. *Journal of Membrane Science*, 138, 153-163.
- [8] Setyawan, M.A. (2016). *Desain dan Fabrikasi Maze-Shaped Microfilter Bahan SS316L Menggunakan Teknik Electropolishing*. Departemen Teknik Mesin. UMY.
- [9] Gu, Y., dan Miki, N. (2009). Multilayered microfilter using a nanoporous PES membrane and applicable as the dialyzer of a wearable artificial kidney. *Journal of Micromechanics and Microengineering.* 19(6), 065031. doi:10.1088/0960-1317/19/6/065031.
- [10] Prihandana, G.S., Sanada, I., Ito, H., Noborisaka, M., Kanno, Y., Suzuki, T., dkk. (2013). Antithrombogenicity of Fluorinated Diamond-Like Carbon Films Coated Nano Porous Polyethersulfone (PES) Membrane. *Journal Materials.* 6, 4309-4323; doi:10.3390/ma6104309.
- [11] Chou, W. L., Yu, D. G., Chien, M. dan Yang, C. H. J. (2007). Effect of molecular weight and concentration of PEG additives on morphology and permeation performance of cellulose acetate. *Sciencedirect Separation and Purification Technology.*
- [12] Young, T. H dan Chen, L. W. 1995. Pore formation mechanism of membranes from phase inversion process. *Desalination* 103 : 233-247.
- [13] Gu, Y., dan Miki, N. (2009). Multilayered microfilter using a nanoporous PES membrane and applicable as the dialyzer of a wearable artificial kidney. *Journal of Micromechanics and Microengineering.* 19(6), 065031. doi:10.1088/0960-1317/19/6/065031.
- [14] Ghosh, A. K.; Jeong, B. H.; Huang, X. F.; Hoek, E. M. V. (2008). Impacts of reaction and curing conditions on polyamide composite reverse osmosis membrane properties. *Journal Membrane Science.* 311, 34.
- [15] Celia, E., T. Darmanin, E. Taffin de Givenchy, S. Amigoni dan F. Guittard (2013): Recent advances in designing superhydrophobic surfaces, *Journal of Colloid and Interface Science*, 402, 1-18.