

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Fabrikasi Membran PES

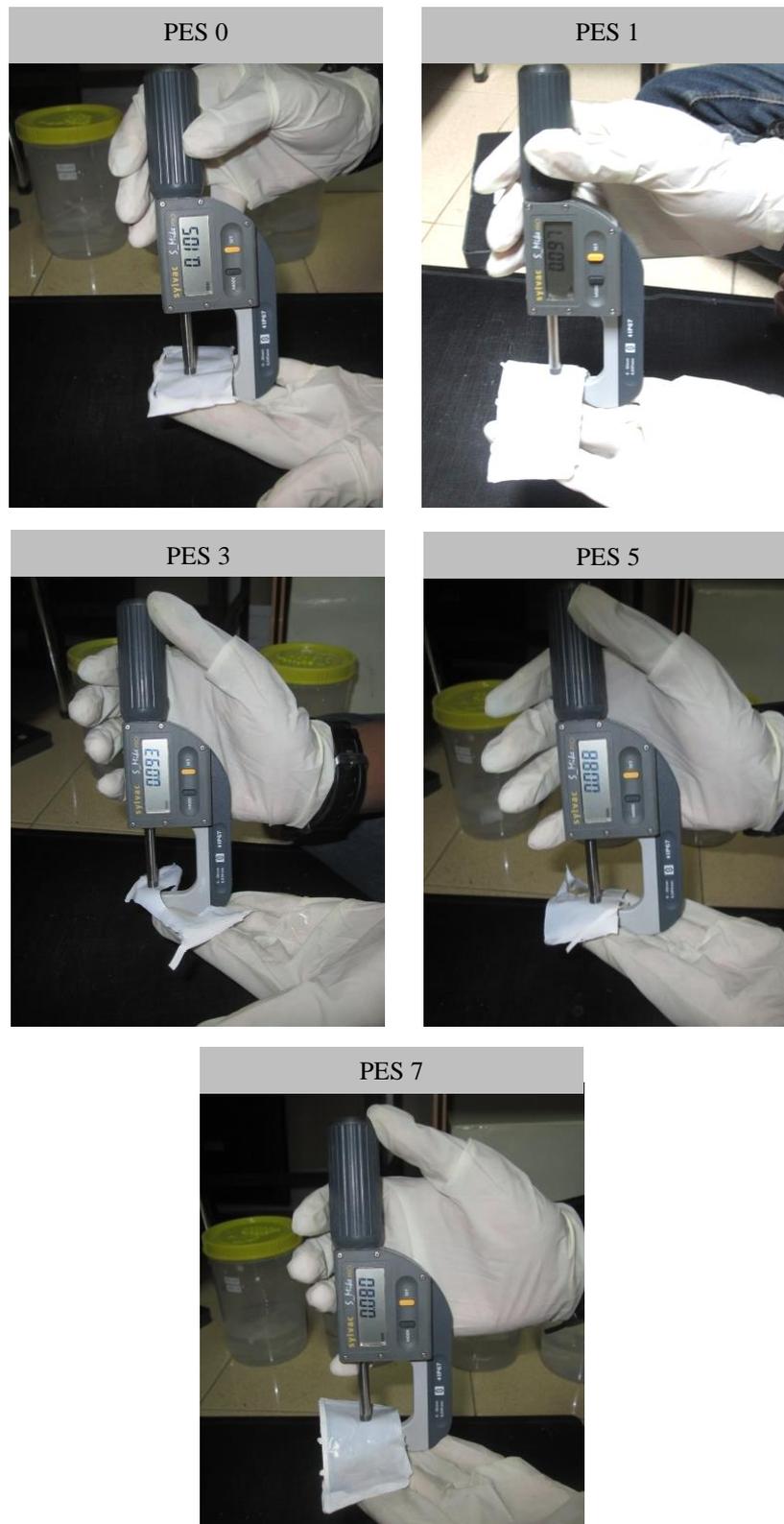
Fabrikasi membran menggunakan bahan baku polimer PES dengan berat molekul 5200. Membran PES dibuat dengan metode inversi fasa basah yaitu dengan mencampurkan tiga bahan pembentuk yaitu PES MW 5200, PEG MW 1000, dan DMAc. Rasio pencampuran massa dari ketiga bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : PES =17.5 %, PEG = 14.5 %, dan DMAc = 68 %. Berdasarkan penelitian sebelumnya membran PES dengan komposisi tersebut mampu memberikan kinerja terbaik ditinjau dari nilai permeabilitas terhadap air yang tinggi serta kekuatan mekanik dan fisik yang cukup untuk digunakan sebagai membran penyaring. Untuk lebih meningkatkan kinerja membran PES seperti kriteria diatas, dapat dilakukan dengan cara modifikasi membran saat pembuatan larutan dan sesudah pembuatan larutan. Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi setelah pembuatan larutan membran yaitu dengan melakukan penambahan NMP pada media gelatinisasi. Media gelatinisasi yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi empat komposisi, seperti yang terlihat pada Tabel 4.1. :

Tabel 4.1. Variasi konsentrasi media gelatinisasi

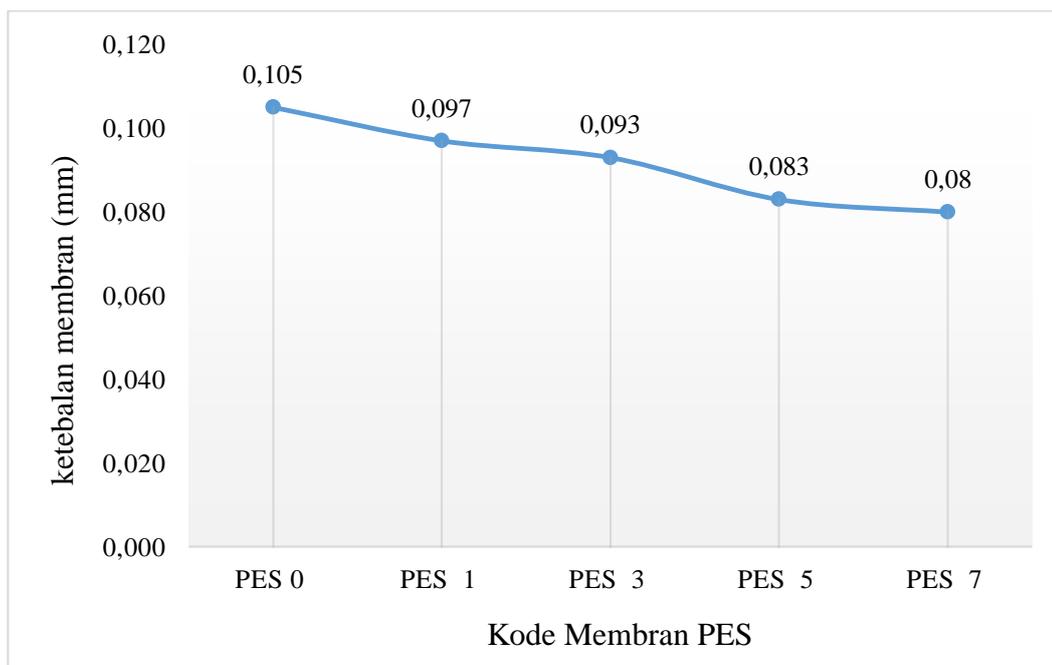
KODE MEMBRAN PES	KONSENTRASI MEDIA GELATINISASI
PES 0	NMP 0 % berat dalam akuades
PES 1	NMP 1 % berat dalam akuades
PES 3	NMP 3 % berat dalam akuades
PES 5	NMP 5 % berat dalam akuades
PES 7	NMP 7 % berat dalam akuades

Dengan memodifikasi dua hal yang dilakukan pada pembuatan membran PES yaitu modifikasi rasio konsentrasi *casting solution* dan modifikasi media gelatinisasi, didapatkan hasil membran dengan karakteristik fisik seperti berikut :

4.2. Ketebalan Membran PES



Gambar 4.1. Pengukuran ketebalan (mm) membran PES pada masing – masing media gelatinisasi



Gambar 4.2. Grafik hubungan pengaruh media gelatinisasi terhadap ketebalan 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. Akhlus dan Widiastuti (2005) dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ketebalan membran berbanding lurus dengan jumlah polimer yang digunakan, yaitu dari 0,059 mm (18% polimer dan 82% pelarut) menjadi 0,076 mm (18% polimer, 18% polimer aditif, dan 64% pelarut).

Dari gambar 4.1 dan 4.2 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.

4.3. Tes Difusi

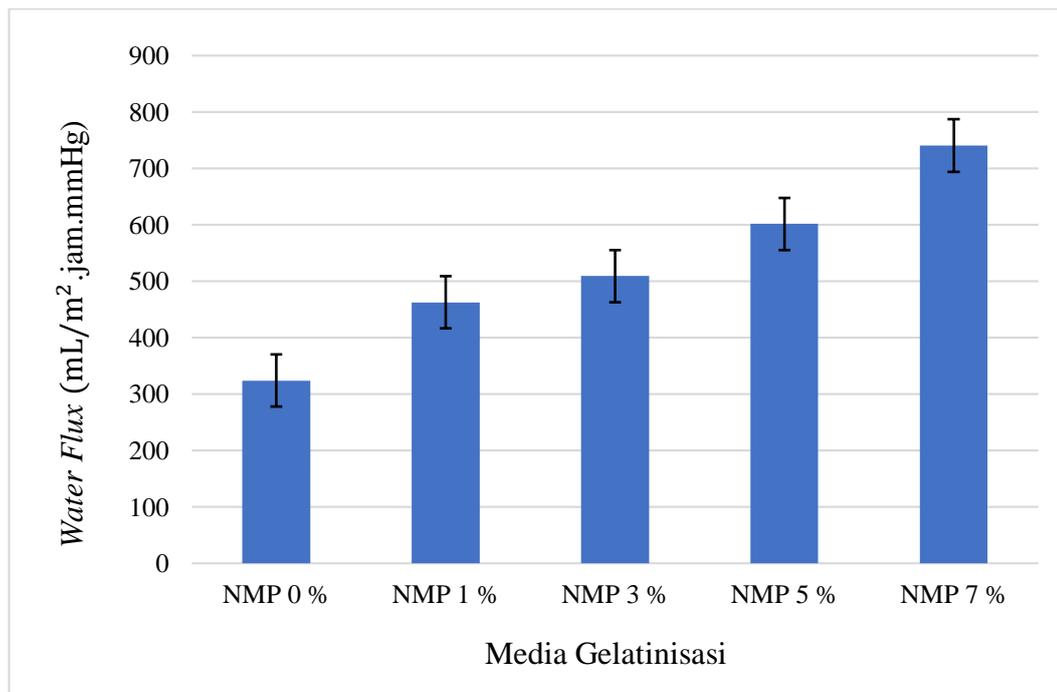
Tes difusi dilakukan untuk menguji performa dari suatu membran, tes difusi dibagi menjadi dua tipe percobaan yang berbeda, yaitu tes difusi dengan tujuan mengetahui nilai *water flux* dan tes difusi untuk mengetahui koefisien difusi. Kedua tes difusi tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mengetahui nilai permeabilitas membran terhadap air. Berikut pembahasannya.

4.4. 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* pada Tabel 4.2. dan Gambar 4.3.

Tabel 4.2. 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	(mL/m ² . jam. 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



Gambar 4.3. Grafik hubungan media gelatinisasi terhadap *water flux* membran PES

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 ($0,000192 \text{ m}^2$) (Setyawan, 2016). Pada penelitian ini fabrikasi membran ditujukan untuk sistem hemodialisis maka tekanan yang diberikan sebesar 75 mmHg ($0,1 \text{ bar} = 10 \text{ kPa}$) 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 $18 \mu\text{g}/\text{menit}$. Pada hasil perhitungan *water flux*, nilai tertinggi adalah $740,734 \text{ mL}/\text{m}^2.\text{jam}.\text{mmHg}$ berada pada membran PES dengan media gelatinisasi NMP 7 % dan nilai terendah adalah $324,071 \text{ mL}/\text{m}^2.\text{jam}.\text{mmHg}$ 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.

4.5. Perhitungan Koefisien Difusi

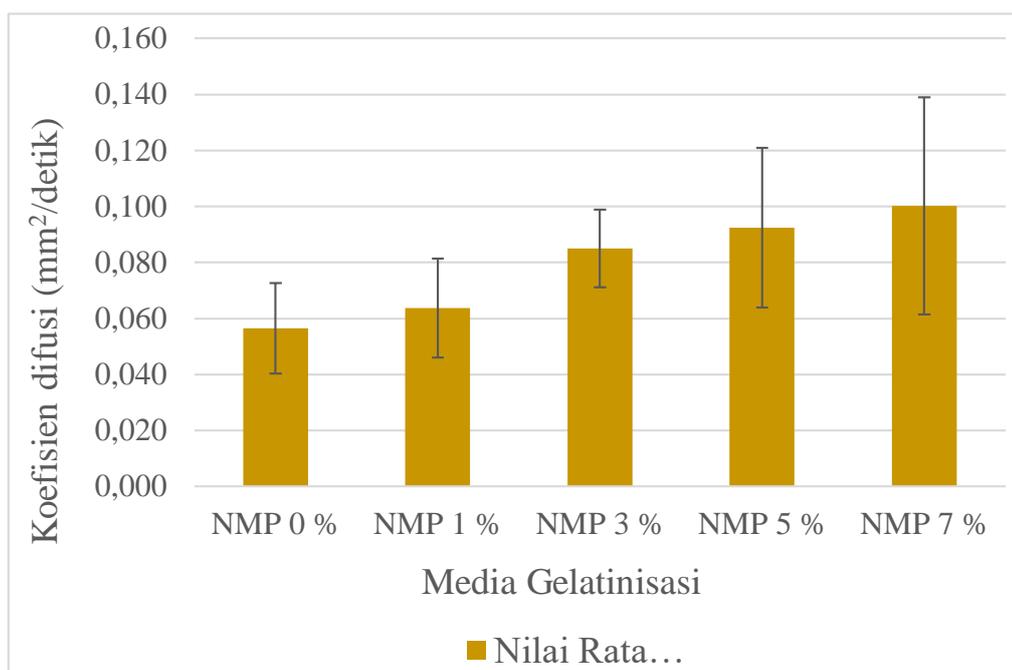
Konduktivitas dari larutan NaCl diukur berdasarkan selisih antara sebelum pengujian dan sesudah dilakukan pengujian difusi. Berikut adalah tabel perhitungan untuk menentukan koefisien difusi, seperti yang tertera pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 berikut :

Tabel 4.3. 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
Rata - rata				0,063

Tabel 4.3. Data perhitungan untuk menentukan koefisien difusi (lanjutan)

Kode Membran PES	Q (mL/menit)	H (μm)	A (mm^2)	Koefisien Difusi (mm^2/detik)
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 4.4. Grafik hubungan media gelatinisasi terhadap koefisien difusi membran PES

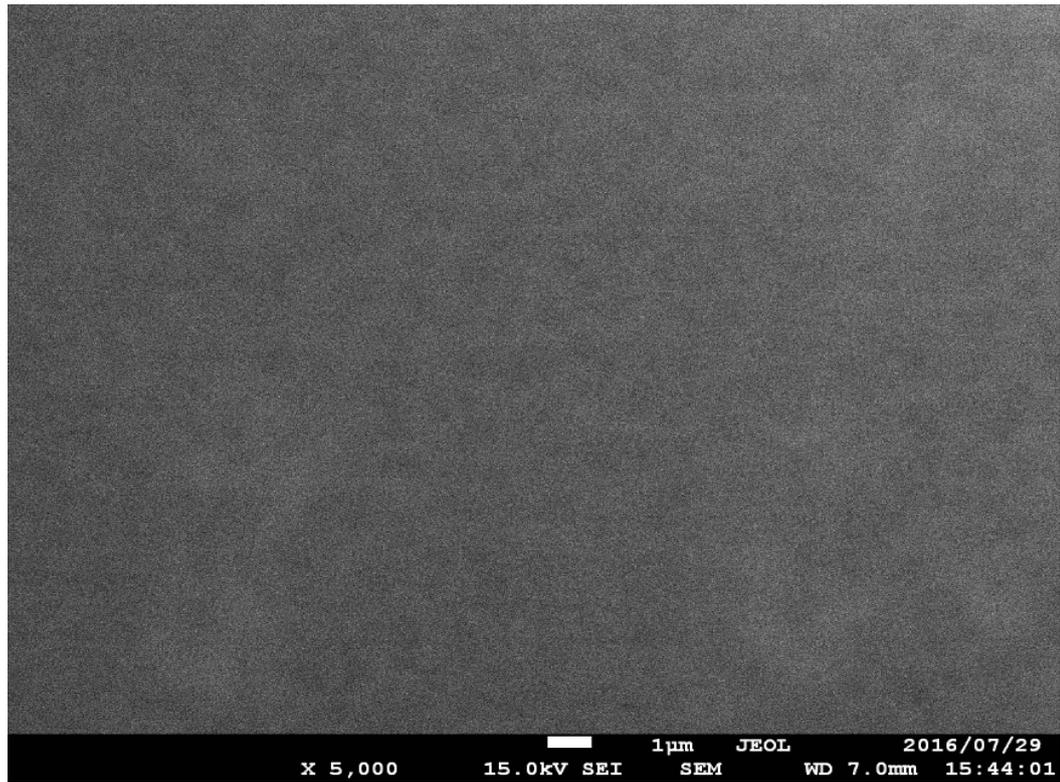
Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.3., terdapat parameter yang sudah tetap pada seluruh pengujian yaitu laju aliran dan luas area difusi membran sehingga nilai – nilai ini tidak berpengaruh terhadap perbedaan nilai koefisien difusi yang terjadi. Perbedaan antara membran PES 1 dan lainnya 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 4.3. 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. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kemampuan membran PES dalam mendifusikan atau menyerap molekul pada larutan NaCl terjadi karena beberapa faktor yaitu : (i) luas area difusi membran, (ii) ketebalan membran, (iii) konsentrasi zat pelarut NMP pada media gelatinisasi.

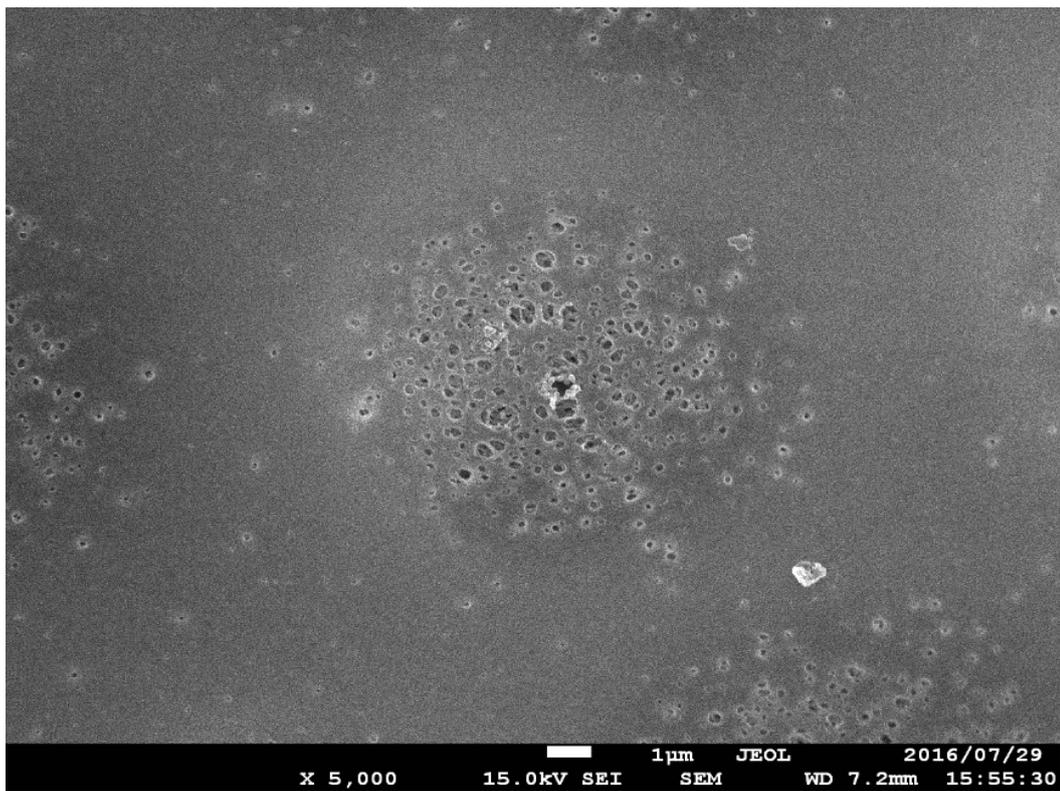
4.6. Morfologi Karakteristik Permukaan Membran PES

Terdapat beberapa faktor penting yang berpengaruh terhadap morfologi membran pada pembuatan membran secara inversi fasa. Struktur, porositas, dan selektivitas membran yang ingin dihasilkan dapat ditentukan melalui pengaturan komposisi larutan polimer, jenis pelarut dan bukan-pelarut (*nonsolvent*), konsentrasi polimer, komposisi cairan dalam bak koagulasi, komposisi larutan cetak, suhu larutan polimer, dan suhu koagulasi (Schwarz, 1989; Young dan Chen, 1995; Shibata, 2004). Menurut Cheryan (1998), terdapat dua mekanisme pembentukan morfologi membran yaitu mekanisme *delayed demixing* dan *instantaneous demixing*. *Instantaneous demixing* berarti bahwa struktur membran terbentuk segera setelah lapisan film dicelupkan ke dalam media gelatinisasi. Sebaliknya *delayed demixing* diperlukan beberapa selang waktu sebelum terbentuk struktur membran.

Membran yang telah dihasilkan pada penelitian ini menggunakan metode inversi fasa basah dengan bahan pembentuk seperti : polimer PES dengan berat jenis 5200 dan PEG dengan berat jenis 1000 sebagai aditif serta DMAc sebagai pelarut. *Liquid-liquid demixing* terjadi pada membran PES ini terjadi secara *instantaneous*, maka akan terbentuk membran dengan lapisan atas yang berpori. Hasil mekanisme *demixing* ini terjadi dalam pembentukan membran berpori (tipe mikrofiltrasi/ultrafiltrasi). Perlakuan terhadap membran PES sebelum preparasi dan sesudah preparasi mengakibatkan perubahan karakteristik morfologi dari permukaan membran PES pada media gelatinisasi yang berbeda.



Gambar 4.5. Hasil SEM membran PES 7 (NMP 7%) bagian lapisan permukaan atas

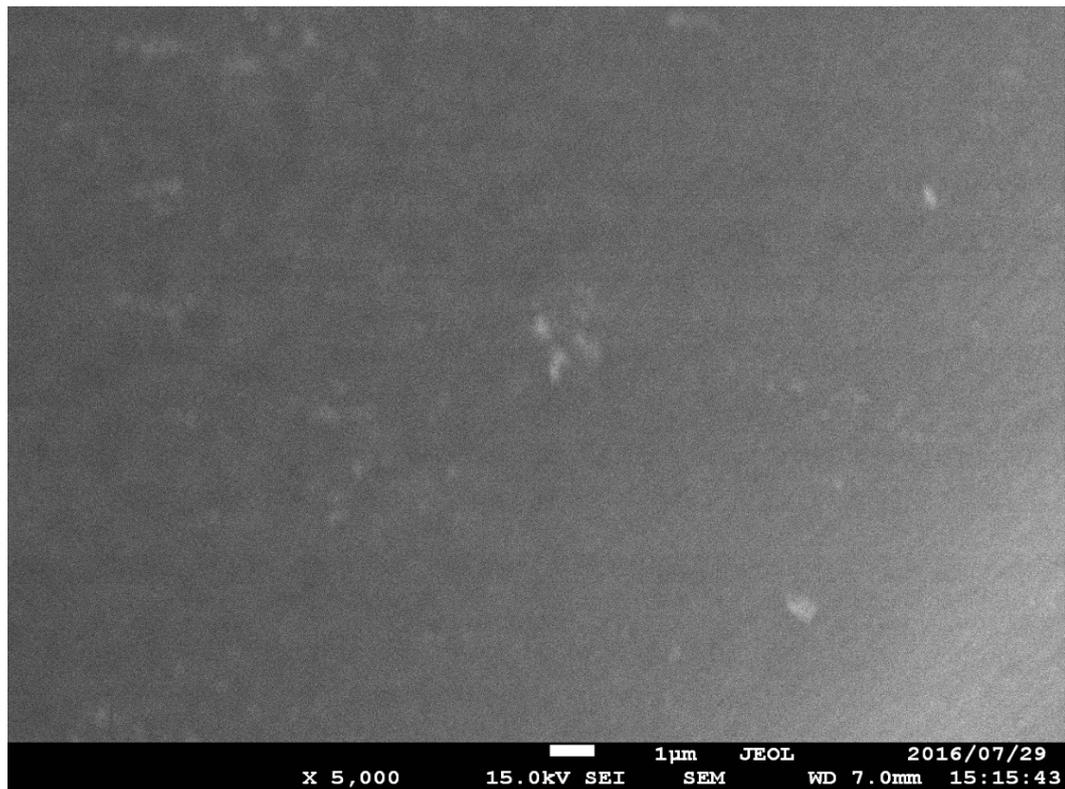


Gambar 4.6. Hasil SEM membran PES 7 (NMP 7%) bagian lapisan bawah

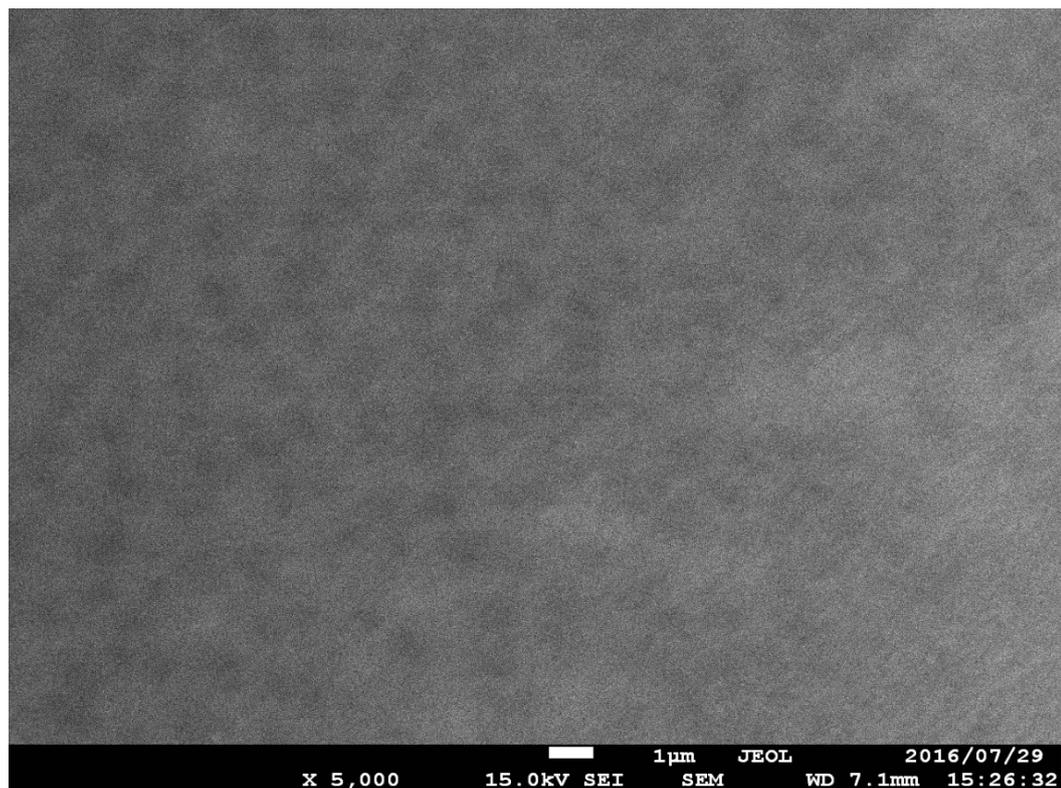
Dapat dilihat dari Gambar 4.5 dan 4.6 yaitu dengan menggunakan perbesaran 5000x yang sama terlihat perbedaan pada pori – pori membran. Pori membran yang dihasilkan pada lapisan permukaan atas tidak terlihat sedangkan pori membran pada lapisan bawah sudah terlihat. Ini menunjukkan membran PES yang dihasilkan berupa membran asimetrik dengan pori pada lapisan bawah lebih besar dibandingkan pori pada lapisan atas membran. Perbedaan pori yang dihasilkan terjadi karena diffusi pelarut DMAc dan PEG pada lapisan bagian bawah lebih lambat dibandingkan pada lapisan bagian atas sehingga molekul-molekul DMAc dan PEG yang meninggalkan larutan cetak mempengaruhi pori yang terbentuk ketika proses pemadatan molekul-molekul PES terjadi. Ketika pemadatan membran lapisan bagian atas sudah terbentuk, sebagian kecil DMAc dan PEG yang masih tersisa pada padatan tersebut meninggalkan pori dengan ukuran yang kecil ketika larut dalam air. Sebaliknya karena diffusi DMAc dan PEG pada lapisan bagian bawah lebih lambat, molekul DMAc dan PEG masih banyak terkandung ketika pemadatan membran terjadi dan meninggalkan pori dalam ukuran yang lebih besar ketika molekul DMAc dan PEG larut dalam air.

4.7. Efek Penambahan NMP Pada Morfologi Permukaan Membran PES

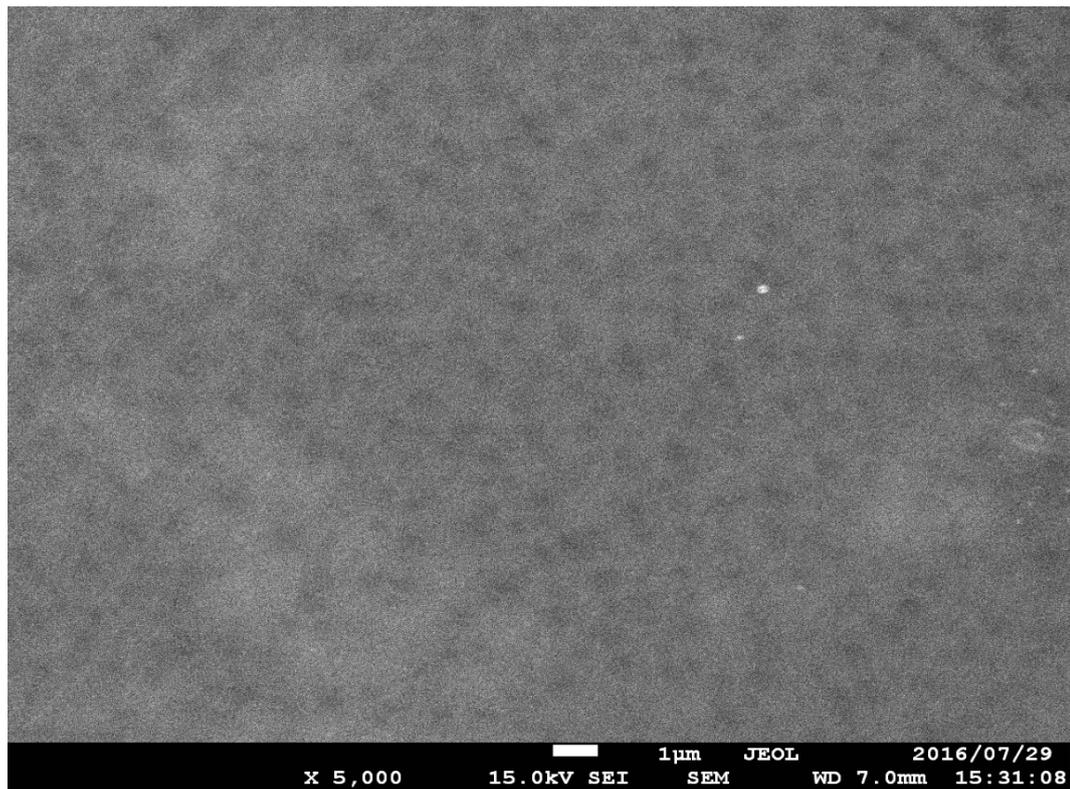
Seperti telah dijelaskan di atas, bahwa membran PES penelitian ini dibentuk dengan metode inversi fasa dan mekanisme pembentukan membran berlangsung secara *instantaneous demixing*. Penambahan NMP dengan konsentrasi polimer yang lebih kecil seketika itu juga dapat menghentikan *demixing*, dengan kelambatan *demixing* itu akan berdampak pada pembentukan pori – pori membran. (Ghosh dkk, 2008). Berikut penjelasan pengaruh dari masing – masing variasi media gelatinisasi pada gambar 4.7; 4.8; 4.9; 4.10; dan 4.11;



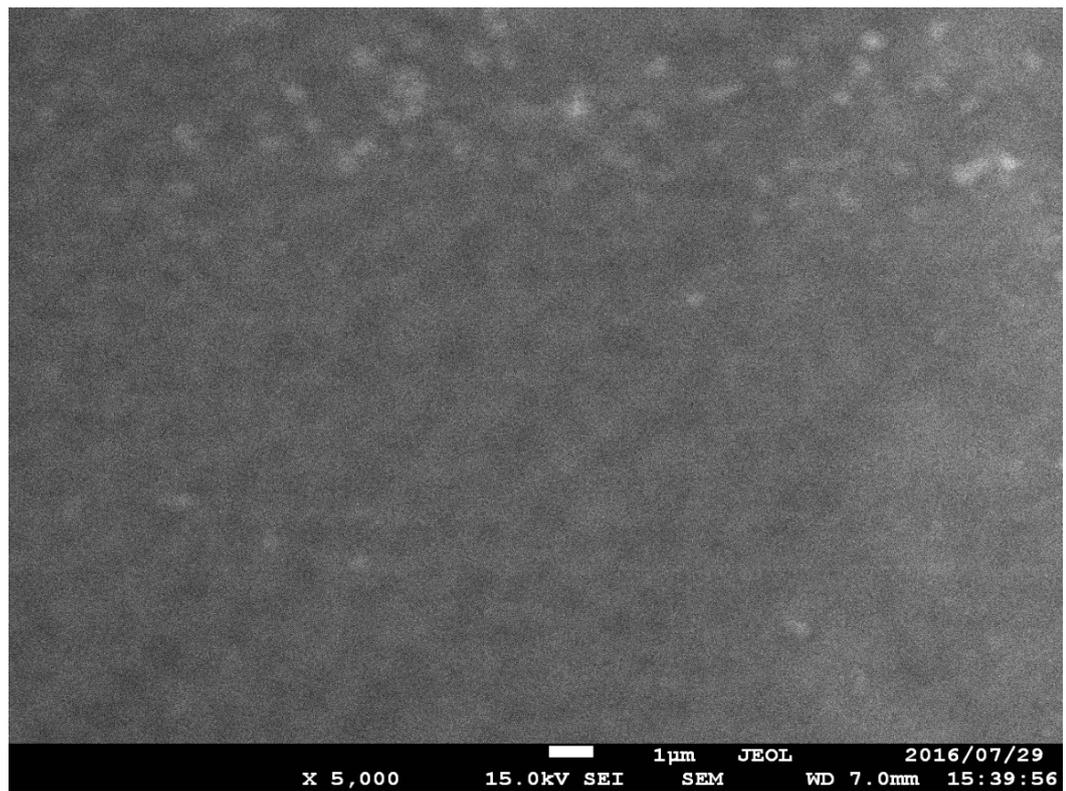
Gambar 4.7. Hasil SEM membran PES 0 (NMP 0%)



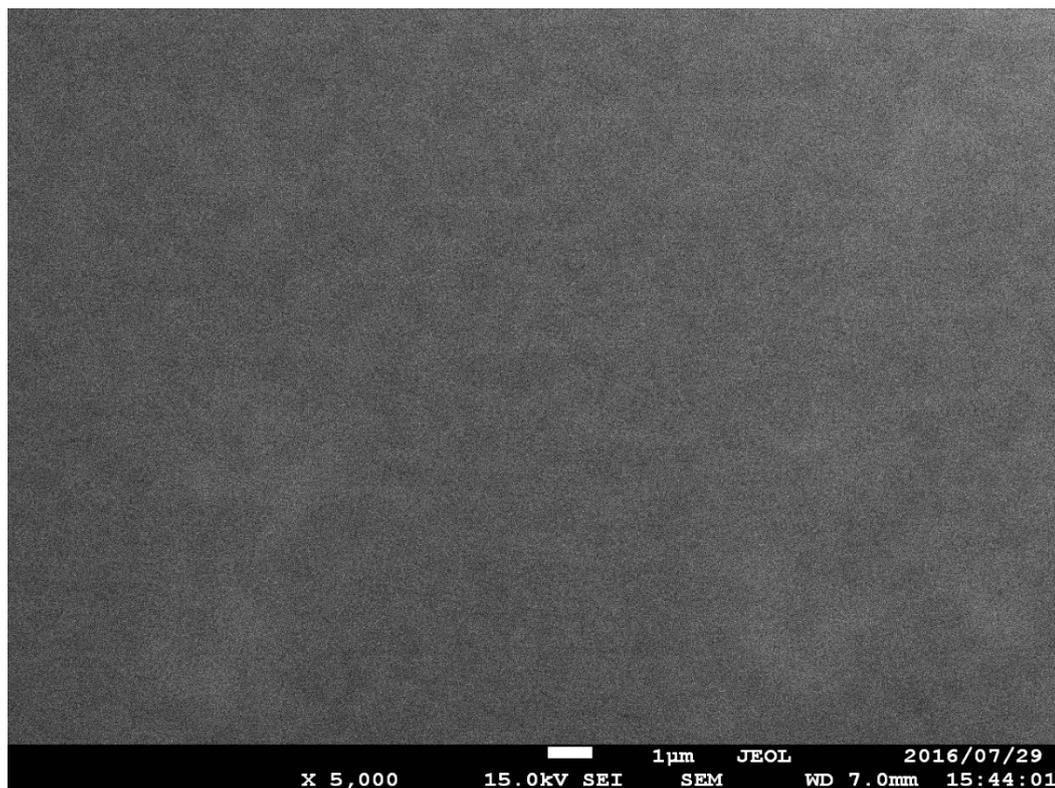
Gambar 4.8. Hasil SEM membran PES 1 (NMP 1%)



Gambar 4.9. Hasil SEM membran PES 3 (NMP 3%)



Gambar 4.10. Hasil SEM membran PES 5 (NMP 5%)



Gambar 4.11. Hasil SEM membran PES 7 (NMP 7%)

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.

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

Secara umum struktur pori dibentuk melalui pengendapan dari larutan homogen. Demikian juga perubahan struktur membran dan laju pengendapan terjadi ketika komposisi pengendapan 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.

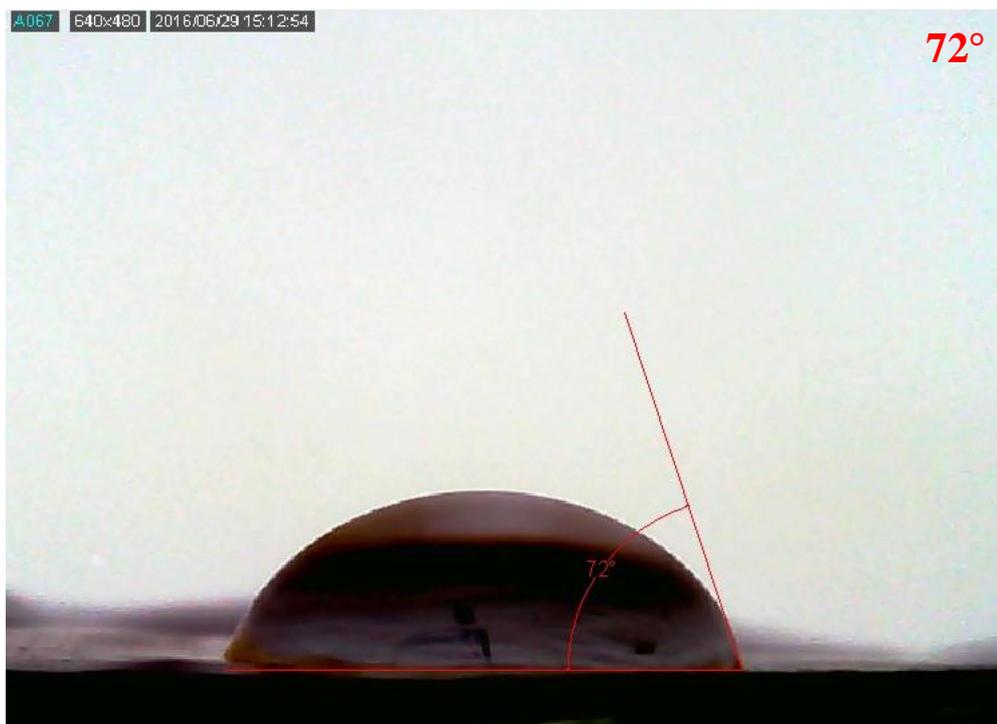
4.9. Pengamatan *Water Contact Angle* (WCA)



Gambar 4.12. Pengamatan *Water Contact Angle* pada media gelatinisasi NMP 0 %



Gambar 4.13. Pengamatan *Water Contact Angle* pada media gelatinisasi NMP 1 %



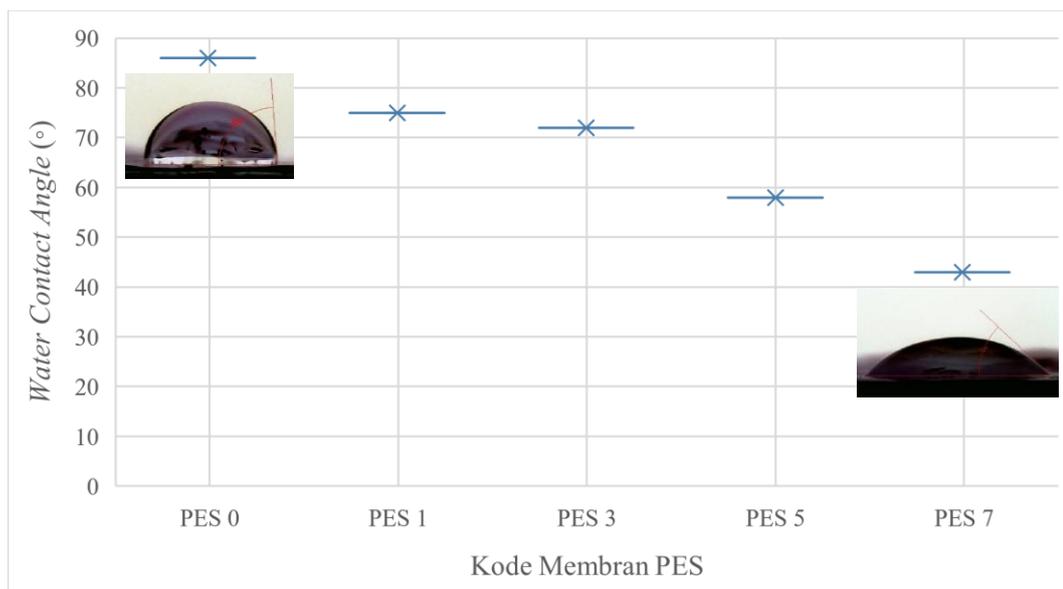
Gambar 4.14. Pengamatan *Water Contact Angle* pada media gelatinisasi NMP 3 %



Gambar 4.15 Pengamatan *Water Contact Angle* pada media gelatinisasi NMP 5 %



Gambar 4.16 Pengamatan *Water Contact Angle* pada media gelatinisasi NMP 7 %



Gambar 4.17. Grafik pengukuran WCA membran PES

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 $43^\circ - 86^\circ$. 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.