



SKRIPSI – TK141581

**SINTESIS POLIMER MEMBRAN SELULOSA
ASETAT DAN POLIETILEN GLIKOL DENGAN
NANOPARTIKEL SILIKA SEBAGAI BAHAN
ADITIF UNTUK *REVERSE OSMOSIS***

Oleh:

I Made Pendi Adi Merta

NRP. 2311100033

Deffry Danius Dwi Putra

NRP. 2311100088

Dosen Pembimbing 1:

Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D

NIP. 1984 05 08 2009 12 2004

Dosen Pembimbing 2:

Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



SKRIPSI – TK141581

**SINTESIS POLIMER MEMBRAN SELULOSA
ASETAT DAN POLIETILEN GLIKOL DENGAN
NANOPARTIKEL SILIKA SEBAGAI BAHAN
ADITIF UNTUK *REVERSE OSMOSIS***

Oleh:

I Made Pendi Adi Merta

NRP. 2311100033

Deffry Danius Dwi Putra

NRP. 2311100088

Dosen Pembimbing 1:

Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D

NIP. 1984 05 08 2009 12 2004

Dosen Pembimbing 2:

Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT – TK141581

**SYNTHESIS POLYMER MEMBRANE OF
CELLULOSE ACETATE AND POLYETHYLENE
GLYCOL WITH NANOPARTICLE SILICA AS
ADDITIVE TO REVERSE OSMOSIS**

By:

I Made Pendi Adi Merta

NRP. 2311100033

Deffry Danius Dwi Putra

NRP. 2311100088

Advisor 1:

Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D

NIP. 1984 05 08 2009 12 2004

Advisor 2:

Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS POLIMER MEMBRAN SELULOSA ASETAT DAN POLIETILEN GLIKOL DENGAN NANOPARTIKEL SILIKA SEBAGAI BAHAN ADITIF UNTUK *REVERSE OSMOSIS*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

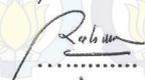
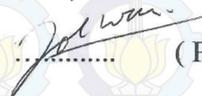
I Made Pendi Adi Merta

2311100033

Deffry Danius Dwi Putra

2311100088

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D  (Pembimbing 1)
2. Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT  (Pembimbing 2)
3. Prof. Dr.Ir.Ali Altway ,MS  (Penguji 1)
4. Dr.Ir. Susianto, DEA  (Penguji 2)
5. Juwari, ST, M.Eng, Ph.D  (Penguji 3)



Surabaya,
Juli 2015

SINTESIS POLIMER MEMBRAN SELULOSA ASETAT DAN POLIETILEN GLIKOL DENGAN NANOPARTIKEL SILIKA SEBAGAI BAHAN ADITIF UNTUK *REVERSE OSMOSIS*

Nama Mahasiswa : 1. I Made Pendi Adi Merta
: 2. Deffry Danius Dwi Putra
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D
: 2. Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

ABSTRAK

Air adalah salah satu kebutuhan utama manusia. Dari ketersediaan air di dunia, hanya 2.5% dari jumlah air di dunia yang merupakan air tawar. Dalam keadaan, seperti ini teknologi membran diprediksi menjadi alternatif dalam pengolahan air laut untuk menyuplai kebutuhan air manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan membran RO dengan menggunakan polimer selulosa asetat (CA), polietilen glikol (PEG) dan nanopartikel silika sebagai bahan aditif serta mempelajari pengaruh variasi ukuran partikel dan konsentrasi silika terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut. Penelitian ini menggunakan metode *thermal induces phase separation*. Pertama pembuatan polimer membran, percobaan dilakukan dengan mencampurkan 1.25 g CA dan 1.25 g PEG di dalam 80 ml aseton pada suhu 80°C dengan pengadukan hingga homogen. Mencetak membran di atas mold dengan mengatur ketebalan membran pada suhu 25°C, mengquench membrane ke suhu 5°C selama 15 menit. Mengeringkan membran pada suhu 60°C selama 24 jam. Membran yang telah terbentuk kemudian dilepaskan dari kaca untuk kemudian dianalisa.

Membuat kembali membran CA/PEG dengan komposisi 60/40;70/30;80/20;90/10. Membran dengan komposisi CA/PEG 80/20 akan dimodifikasi menggunakan silika nanopartikel. Kedua modifikasi membran dengan nanopartikel silika, percobaan dilakukan dengan melarutkan 1 g nanopartikel silika ($0.007 \mu\text{m}$) di dalam 10 ml NaOH. Tahapan selanjutnya sama seperti pada pembuatan polimer membran. Kemudian membuat kembali membran dengan cara yang sama menggunakan konsentrasi partikel silika berbeda (2%, 3%, 4%, 5%) dan ukuran partikel yang berbeda ($0.2 \mu\text{m}$ dan $60 \mu\text{m}$). Menganalisa morfologi membran, ikatan gugus fungsional, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran. Kenaikan CA di dalam CA/PEG membran membuat membran semakin *dense* dan hidrofilitas membran semakin menurun. Hidrofilitas membran, fluks permeat, permeabilitas, dan rijeksi garam semakin meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel silika dan semakin besarnya konsentrasi silika yang ditambahkan ke membran CA/PEG. Jika ditinjau dari nilai rijeksi garam yang diperoleh dari hasil percobaan, maka membran CA/PEG/silika yang optimal untuk proses desalinasi adalah pada komposisi CA/PEG 80/20 dengan penambahan silika $0.2 \mu\text{m}$ sebesar 5%.

Kata kunci: *reverse osmosis*, hidrofilitas, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam

FABRICATION OF POLYMER MEMBRANE OF CELLULOSE ACETATE AND POLYETHYLENE GLYCOL WITH SILICA NANOPARTICLE AS ADDITIVE FOR REVERSE OSMOSIS

Nama Mahasiswa : 1. I Made Pendi Adi Merta
: 2. Deffry Danius Dwi Putra
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D
: 2. Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

ABSTRACT

Water is one of primary need of human being. In the future to fulfill clean water needs, need to find another alternative because there are just 2.5% from all of water in the world is clean water. In this condition membrane technology predicted be alternative in sea water treatment to supply needs of water. In desalination in reverse osmosis method using membrane, quality and quantity of product very affected by used membrane. The objective of this study is to study fabrication of reverse osmosis membrane with cellulose acetate (CA), polyethylene glycol (PEG), and silica nanoparticle as additive and to study effect of particle size of silica and concentration of silica to characterization and performance of reverse osmosis membrane for sea water desalination. This study using thermal induced phase separation method. First fabrication of polymer membrane, Experiment carried out by mixing 1.25 g of CA and 1.25 g of PEG in 80 ml of acetone at 80°C with constant stirred until homogeneous. Casting polymer solution on mold at 25°C, quenching membrane to 5°C for 15 minutes then drying membrane at 60°C for 24 hours. Formed membrane is

analyzed. Make another CA/PEG membrane with composition 60/40; 70/30; 80/20; 90/10. Membrane with composition 80/20 CA/PEG will be modified with nanoparticle silica. Second modifying membrane with silica nanoparticle, experiment carried out by mixing 1 g of silica nanoparticle (14nm) in 10 ml NaOH. Next step is same with fabrication of polymer membrane. Next making another membrane using different concentration of silica (2%-5% w/v NaOH) and different particle size of silica (0.007 μm , 0.2 μm , 60 μm). Analyzing of membrane morphology, functional chemical bond in membrane, contact angel, permeate flux, salt rejection, and membrane permeability. Increasing of CA in CA/PEG membrane make membrane more dense and hydrophilicity of membrane decrease. Membrane hydrophilicity, permeate flux, permeability, and salt rejection increase with decreasing of silica particle size and increasing of silica concentration in CA/PEG membrane. IF review from salt rejection that got from experiment, so membrane with optimal for desalination process is CAS/PEG with 80/20 composition with adding 5% of silica 0.2 μm .

Keywords: reverse osmosis, hydrophilicity, contact angle, permeate flux, salt rejection

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan Alhamdulillah, puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Sintesis Polimer Membran Selulosa Asetat dan Polietilen Glikol dengan Nanopartikel Silika sebagai bahan aditif untuk Reverse Osmosis”** tepat pada waktunya. Tugas akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya. Penulis menyadari laporan ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MS, Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, atas bimbingan dan saran yang diberikan.
3. Ibu Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan saran yang diberikan.
4. Ibu Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan saran yang diberikan
5. Bapak Setyo Gunawan, ST, PhD selaku koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
6. Dosen-dosen Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis
7. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), khususnya teman-teman K-51, Pooche, dan

Anggota Keren-keren Perpanmas serta LTD mania atas dukungannya

8. Berbagai pihak yang telah membantu proses terselesaikannya Tugas Akhir kami.

Kami menyadari penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharap saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 30 Juni 2015

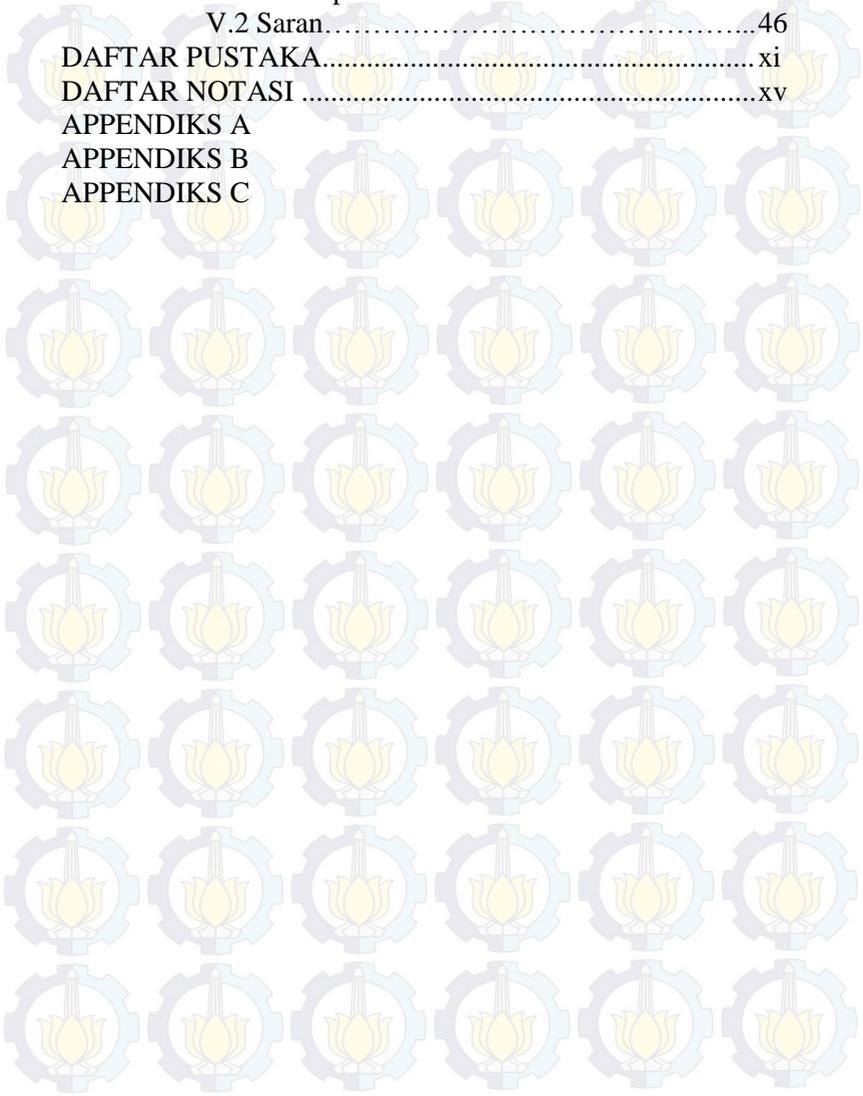
Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Batasan Masalah.....	4
I.4 Tujuan.....	4
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Membran.....	5
II.2 Reverse Osmosis.....	6
II.3 Bahan Baku Pembuatan Membran.....	7
II.4 Teknik Pembuatan Membran.....	15
II.5 Karakterisasi dan Uji Kinerja Membran.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Garis Besar Penelitian.....	23
III.2 Bahan yang Digunakan.....	24
III.3 Alat yang Digunakan.....	25
III.4 Prosedur Penelitian.....	25
III.5 Variabel Penelitian.....	28
BAB IV PEMBAHASAN	
IV.1 Sudut Kontak.....	31
IV.2 Analisa <i>Fourier Transform</i> <i>Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	33
IV.3 Analisa <i>Scanning Electron</i> <i>Microscopy</i> (SEM).....	37
IV.4 <i>Reverse Osmosis (RO) Test</i>	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	46
V.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	xi
DAFTAR NOTASI	xv
APPENDIKS A	
APPENDIKS B	
APPENDIKS C	



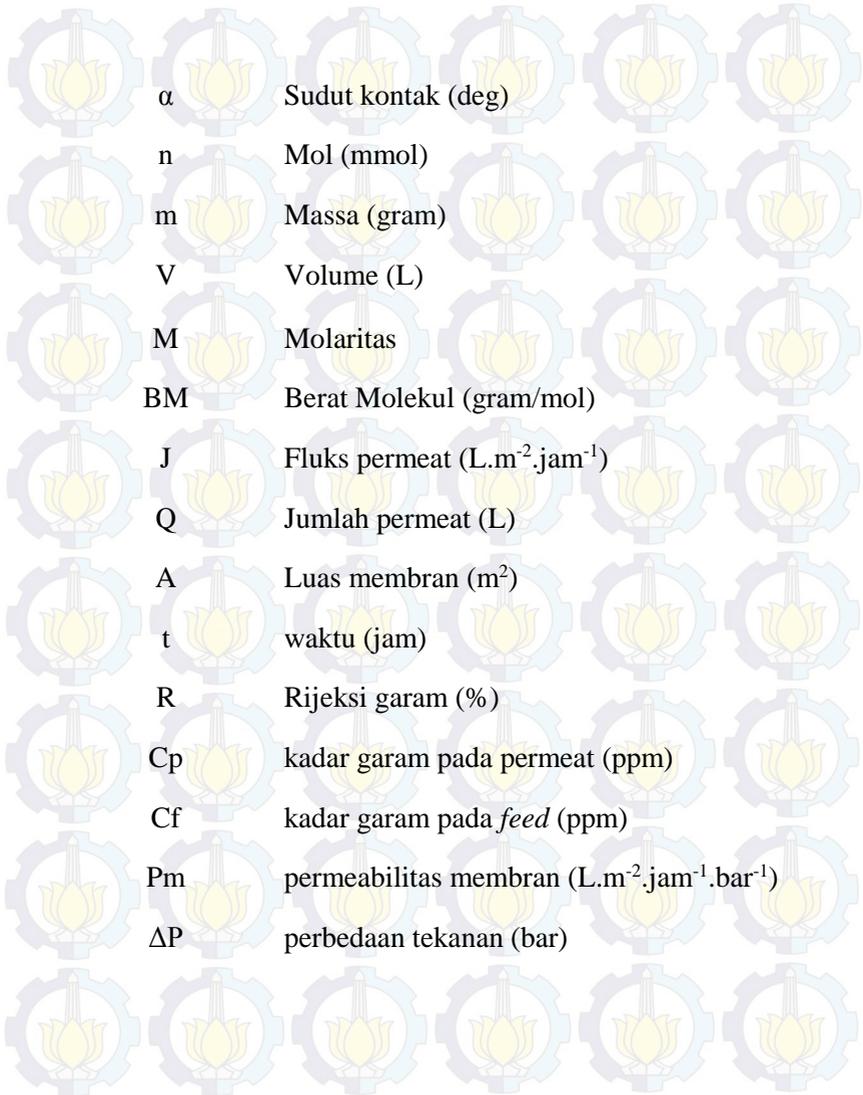
DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Sifat Fisis <i>Cellulose Acetate</i>	7
Tabel II.2	Kelebihan dan Kekurangan Membran <i>Cellulose Acetate</i>	8
Tabel II.3	Hubungan antara derajat substitusi, kadar asetil, pelarut, dan aplikasinya.....	9
Tabel II.4	Perbandingan besarnya luasan permukaan terhadap ukuran partikel <i>fumed silika</i>	13
Tabel II.5	Propertis aseton, DMF, dan NMP.....	13
Tabel II.6	Hasil Analisa Komposisi air laut payau Kenjeran.....	14
Tabel III.1	Penamaan sampel pada berbagai variable	28
Tabel IV.1	Perbandingan Performa kinerja membrane.. CP4, CPS1, CPS2, CPS3	41
Tabel IV.2	Performa kinerja membran CPS2.....	42
Tabel IV.3	Perbandingan Performa kinerja membran komersil.....	42

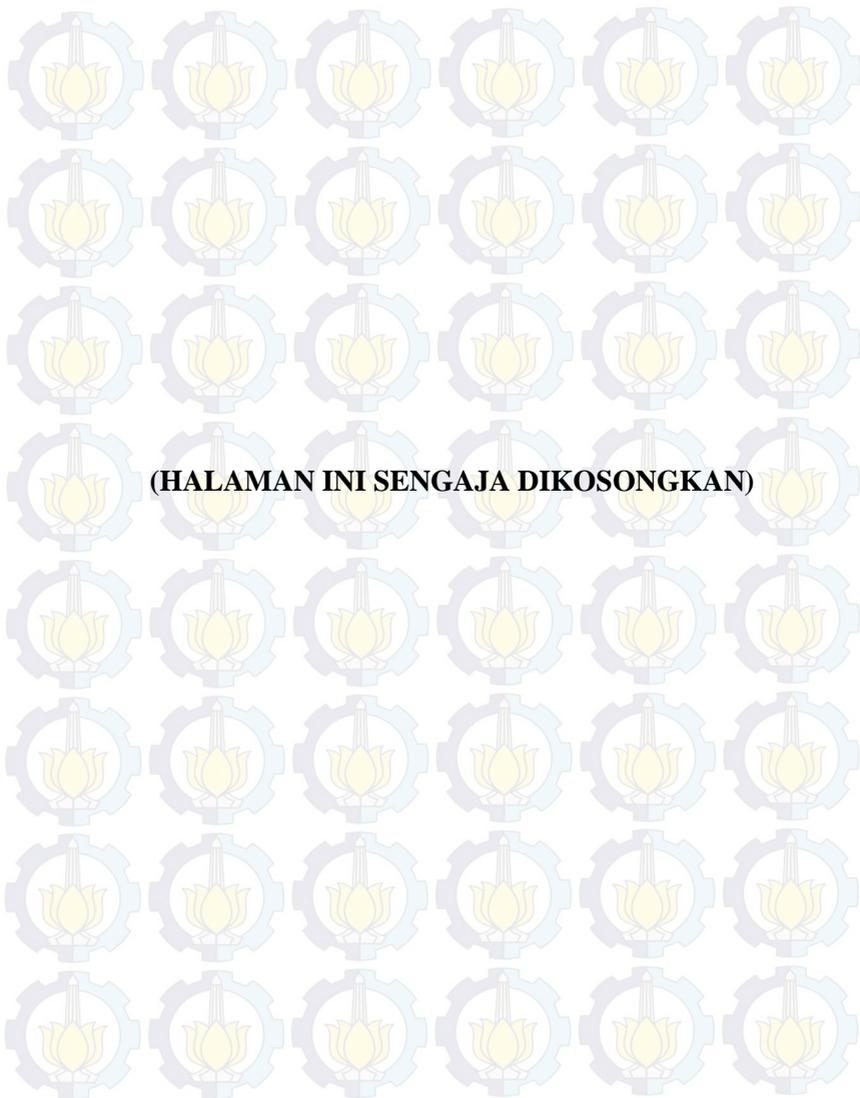
DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Kalsifikasi Penggunaan Membran	5
Gambar II.2	Mekanisme <i>Reverse Osmosis</i>	6
Gambar II.3	Skema permukaan hidrofilik silika gel.....	12
Gambar II.4	Bentuk struktur molekul air.....	15
Gambar II.5	Skema <i>Immersion Precipitation</i>	16
Gambar II.6	Contoh hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan FTIR.....	19
Gambar II.7	Contoh Hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan SEM.....	20
Gambar II.8	Contoh Pengukuran Sudut Kontak.....	22
Gambar III.1	Langkah-langkah penelitian.....	23
Gambar III.2	Skema Alat <i>Reverse Osmosis</i>	27
Gambar IV.1	Perbandingan sudut kontak membran CA/PEG pada berbagai komposisi, (b) Perbandingan sudut kontak membran CP4 dengan penambahan silika 0.007 μm , 0.2.....	31
Gambar IV.2	μm , dan 60 μm pada berbagai konsentrasi Grafik FTIR membran (a) CPS1, (b) CPS2, (c) CPS3.....	35
Gambar IV.3	Skema intermolekular dan intramolekular ikatan hidrogen pada CA/PEG/ <i>fumed</i> silika...	36
Gambar IV.4	Penampang <i>top surface</i> membran (a) CP4, (b) CPS1-5, (c) CPS2-5, (d) CPS3-5 dan penampang <i>fracture Surface</i> (e) CP4, (f).....	40
Gambar IV.5	CPS1-5, (g) CPS2-5, (h) CPS3-5 Skema <i>phase diagram</i> dengan <i>thermally induced phase separation</i>	41
Gambar IV.6	Grafik performa kinerja membran CPS2, (a) Fluks Permeat, (b) Rijeksi Garam, (c) Permeabilitas membran.....	42

DAFTAR NOTASI



α	Sudut kontak (deg)
n	Mol (mmol)
m	Massa (gram)
V	Volume (L)
M	Molaritas
BM	Berat Molekul (gram/mol)
J	Fluks permeat ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1}$)
Q	Jumlah permeat (L)
A	Luas membran (m^2)
t	waktu (jam)
R	Rijeksi garam (%)
Cp	kadar garam pada permeat (ppm)
Cf	kadar garam pada <i>feed</i> (ppm)
Pm	permeabilitas membran ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1} \cdot bar^{-1}$)
ΔP	perbedaan tekanan (bar)



RIWAYAT HIDUP PENULIS

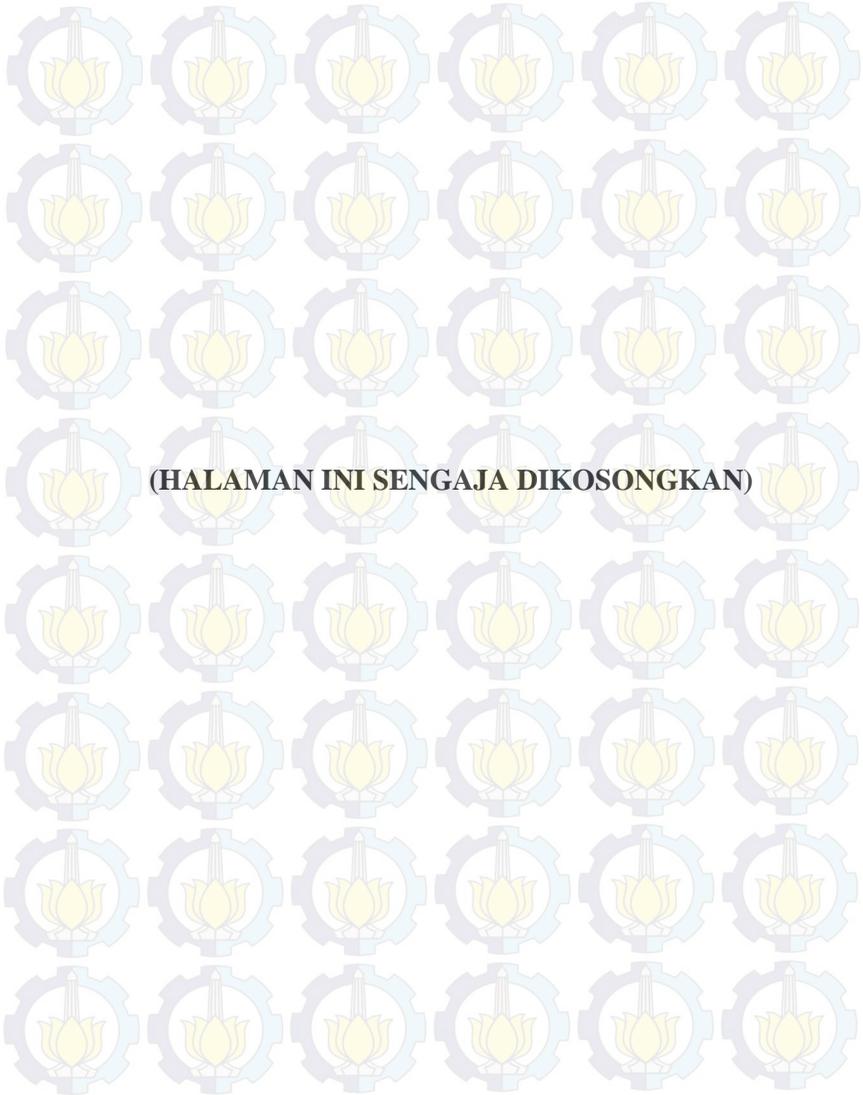


I Made Pendi Adi Merta, penulis dilahirkan di Tabanan yang terletak di propinsi Bali pada tanggal 11 Mei 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SD Nasional 1 Mundeh Kangin, SMP Nasional 1 Selemadeg, dan SMA Negeri 4 Denpasar. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan S-1 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa perkuliahan penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa FTI sebagai staff departemen

Pengembangan Sumber Daya Manusia, TPKH ITS sebagai staff Hubungan luar, dan Ketua Pooche Club Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia ITS. Penulis aktif mengikuti kaderisasi manajerial mahasiswa baru Teknik Kimia ITS sebagai Koordinator OC kaderisasi, serta aktif di beberapa event besar Teknik Kimia ITS seperti Colloit 2011, Chernival 2013 dan Chernival 2014. Penulis berpengalaman kerja praktek di PT Pupuk Kaltim pada tahun 2014. Pada tahap penelitian, penulis memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk pengerjaan skripsi dengan judul, “**Sintesis Polimer Selulosa Asetat dan Polietilen Glikol dengan Penambahan Nanopartikel Silika sebagai Aditif untuk Reverse Osmosis**”.

Data Pribadi Penulis

Nama	: I Made Pendi Adi Merta
TTL	: Mundeh, 11 Mei 1993
Alamat	: Jl. Mulyosari Tengah 5 no 110, Sukolilo, Surabaya
No.HP	: 0877702443598
Email	: jafrandananjaya@gmail.com



(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

RIWAYAT HIDUP PENULIS

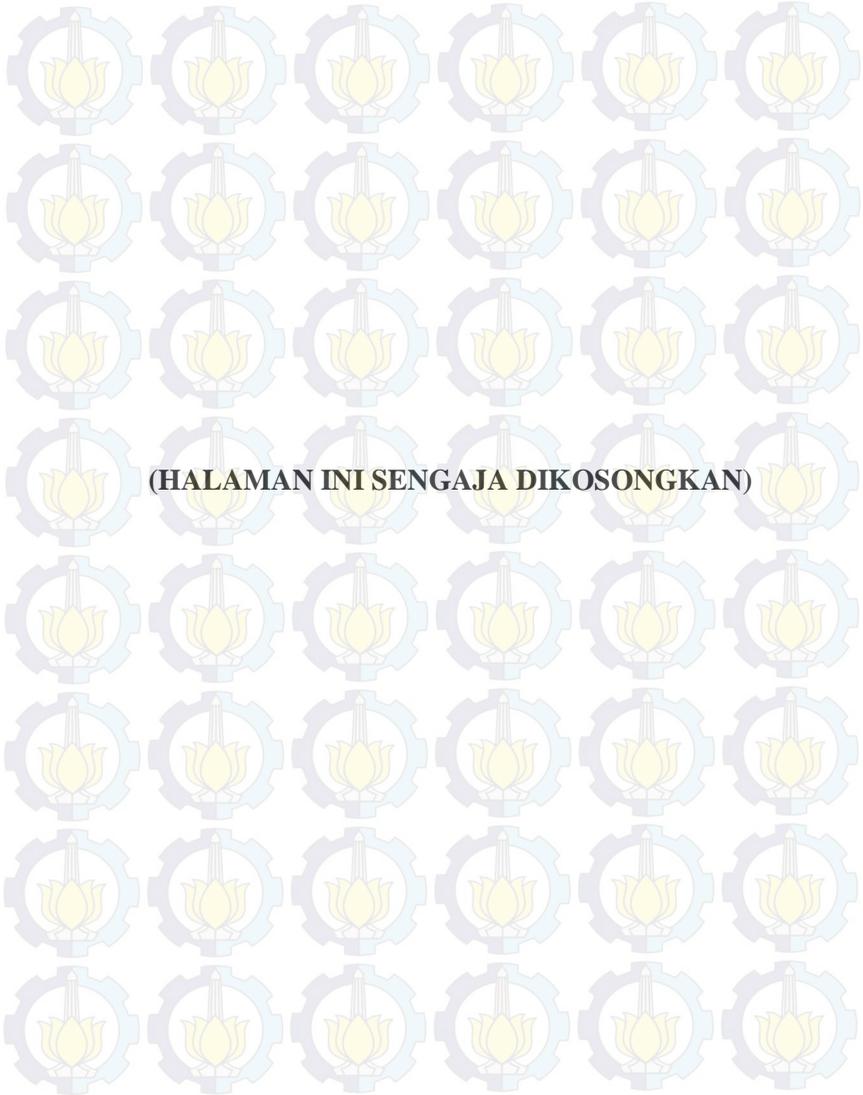


Deffry Danius Dwi Putra, penulis dilahirkan di Palembang yang terletak di propinsi Sumatera Selatan pada tanggal 6 Februari 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SD Negeri 43 Palembang, SMP Negeri 19 Palembang, dan SMA Plus Negeri 17 Palembang. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan S-1 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa perkuliahan penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa

Teknik Kimia FTI-ITS sebagai staff *Student Resources Development*, dan anggota dari Lingkup Mahasiswa Sumatera Selatan se-Surabaya. Pada tahap penelitian, penulis memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk pengerjaan skripsi dengan judul, **“Sintesis Polimer Selulosa Asetat dan Polietilen Glikol dengan Penambahan Nanopartikel Silika sebagai Aditif untuk Reverse Osmosis”**.

Data Pribadi Penulis

Nama : Deffry Danius Dwi Putra
TTL : Palembang, 6 Februari 1993
Alamat : Jalan Kelapa Hijau Raya Blok 7 No. 836
Perumnas Talang Kelapa Palembang
No.HP : 085648083213
Email : deffrydanius@gmail.com



(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Later belakang

Air adalah salah satu kebutuhan utama manusia. Hal ini dikarenakan manusia tidak hanya membutuhkan air untuk kebutuhan tubuh (minum) tetapi juga membutuhkan air untuk berbagai kebutuhan lain, seperti mencuci, memasak, dan lainnya. Tapi pada beberapa keadaan, manusia sering dihadapkan pada situasi yang sulit ketika sumber air tawar sangat terbatas dan di lain pihak terjadi peningkatan kebutuhan. Seperti pada propinsi NTT yang mengalami masalah kebutuhan air bersih, dimana kondisi alam yang kering dan curah hujan yang terbilang kecil di bandingkan daerah lain di Indonesia menyebabkan sulitnya pemenuhan kebutuhan air bersih. (Raharjo, 2008)

Dalam perkembangannya untuk memenuhi kebutuhan air bersih, perlu dicari alternatif lain karena melihat dari ketersediaan air di dunia, hanya 2.5% dari jumlah air di dunia yang merupakan air tawar dan dari jumlah itu, 2/3 nya berada dalam gletser dan lapisan es. Menurut UN Water PBB, pada tahun 2025 sebesar 3.4 milyar penduduk dunia akan hidup dalam daerah yang kekurangan air bersih. Dalam keadaan seperti ini teknologi membran diprediksi menjadi alternatif dalam pengolahan air laut untuk menyuplai kebutuhan air manusia. Seperti di daerah Timur tengah, telah memanfaatkan air laut sebagai penyuplai utama kebutuhan air bersih melalui proses desalinasi *reverse osmosis* (RO) (Peinemann dkk, 2007). Dimana, desalinasi merupakan proses pemisahan, yang di gunakan untuk mengurangi kandungan garam dan impuritis terlarut dari air garam sampai konsentrasi tertentu, sehingga air dapat di gunakan sebagai air bersih baik untuk di konsumsi maupun untuk kebutuhan lainnya.

Proses desalinasi dalam perkembangannya, meliputi pemurnian air seperti pada air limbah, air payau, hingga air laut. Teknik membran dengan prinsip RO saat ini yang paling cepat berkembang dalam industri, daripada desalinasi termal dengan

proses evaporasi (Peinemann dkk, 2007). Dilihat dari segi ekonomis metode desalinasi termal membutuhkan energi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan metode RO dimana pada prinsipnya RO berlangsung karena adanya perbedaan tekanan yang diberikan untuk, melawan tekanan osmotik. Sehingga kebutuhan energi utama hanya untuk memberi tekanan pada air umpan.

Pada desalinasi dengan metode *reverse osmosis* dengan menggunakan membran, kualitas dan kuantitas produk (*permeate*) sangat dipengaruhi oleh membran yang digunakan, dimana dapat dilihat dari fluks, rijeksi garam, porositas, ketahanan membran (*mechanical stability*) dan lainnya. Semua parameter tersebut dipengaruhi oleh jenis dan komposisi bahan pembentuk membran yang digunakan (Lee dkk, 2010).

Seperti jenis dan komposisi membran dengan polisulfon (Psf)/N-metil-2-pirolidon (NMP)/ polietilen glikol (PEG), dimana penggunaan berat molekular PEG yang semakin besar menyebabkan meningkatnya fluks dan menurunnya rejeksi garam, dikarenakan semakin meningkatnya porositas membran. Meningkatnya porositas membran ini dipengaruhi oleh meningkatnya ukuran pori yang terbentuk pada permukaan membran, dimana pembentukan pori bergantung pada jumlah dan berat molekul PEG yang ditambahkan (Lee dkk,1997). Selain itu konsentrasi bahan baku pembentuk membran akan sangat mempengaruhi properti membran, seperti pembentukan membran dengan selulosa asetat (CA)/polietilen glikol (PEG), dimana CA memiliki sifat sangat hidrofilik dan dengan komposisi CA/PEG (80/20 %berat) memberikan hasil yang paling optimal yang dilihat dari fluks, rijeksi garam dan *membrane hydraulic resistance* (Sidra dkk, 2014). Tidak hanya itu, dalam studi pengembangan membran akhir-akhir ini mengarah pada penambahan nanopartikel, seperti penambahan nanopartikel silika yang memberikan pengaruh peningkatan fluks, rijeksi garam dan *mechanical stability* pada membran. Ini disebabkan oleh silika yang membantu pembentukan lapisan asimetrik dengan

mengurangi pembentukan *macrovoid* dan meningkatkan pembentukan mikropori pada permukaan membran (Adnam dkk, 2014). Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Aneela dkk, 2014 yang menyatakan penambahan partikel silika berukuran 1 μm terbukti meningkatkan fluks, rijeksi garam, ketahanan termal dan ketahanan mekanik membran. Namun demikian, sampai saat ini masih belum ada penelitian tentang pengaruh ukuran partikel silika terhadap performa membran yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel dan konsentrasi silika tersebut. Sehingga, studi ini diharapkan dapat memberikan pemilihan ukuran dan komposisi penambahan silika yang optimal, yang dapat meningkatkan performa membran.

1.2 Rumusan masalah

Penelitian yang menggunakan nanopartikel silika sebagai bahan tambahan (zat aditif) dalam pembuatan membran untuk proses *reverse osmosis* (RO), dalam tujuan meningkatkan performa membran, masih belum diteliti ukuran partikel dan konsentrasi penambahan silika yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut terhadap ukuran partikel dan konsentrasi penambahan silika yang optimal, sebagai bahan tambahan dalam pembuatan membran untuk meningkatkan performa membran, yang ditinjau dari fluks, rijeksi garam dan selektivitas membran yang dihasilkan.

1.3 Batasan masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pembuatan membran *reverse osmosis* dengan menggunakan polimer CA dan PEG dengan nanopartikel silika sebagai bahan aditif.
2. Air yang digunakan untuk uji kinerja membran adalah air payau laut di pantai Kenjeran, Kec.Sukolilo, Surabaya.

3. Berat molekul PEG yang digunakan adalah 200 Da atau disebut PEG 200 dan berat molekul CA yang digunakan adalah 30000 Da

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pembuatan membran *reverse osmosis* (RO) dengan menggunakan polimer CA, PEG dan nanopartikel silika sebagai bahan aditif dengan memvariasikan komposisi CA dan PEG serta ukuran nanopartikel dan konsentrasi silika.
2. Mempelajari pengaruh variasi komposisi CA dan PEG terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut payau.
3. Mempelajari pengaruh variasi ukuran partikel dan konsentrasi silika terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut payau.

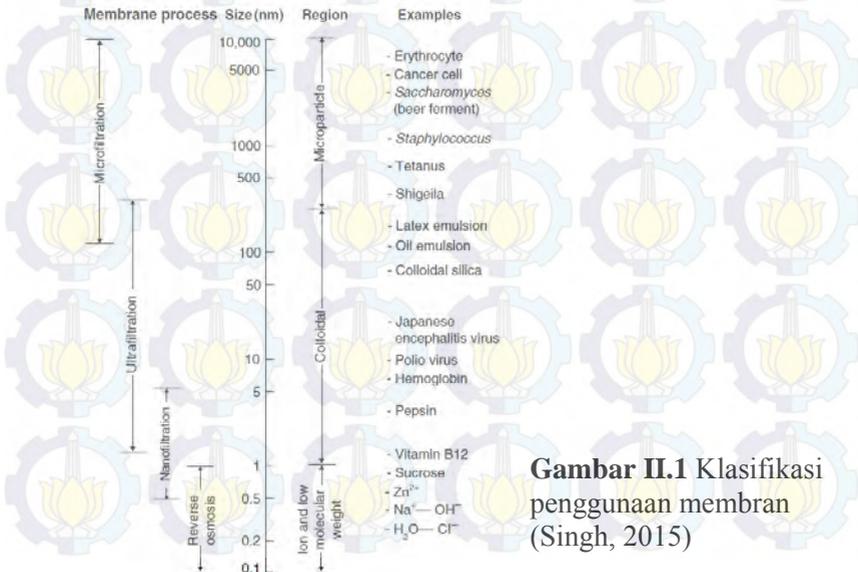
1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai data referensi penentuan komposisi CA/PEG yang optimum serta ukuran partikel dan konsentrasi silika yang ditambahkan, untuk dapat meningkatkan performa membran desalinasi RO, sehingga didapatkan kualitas dan kuantitas produk (permeat) yang optimal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Membran

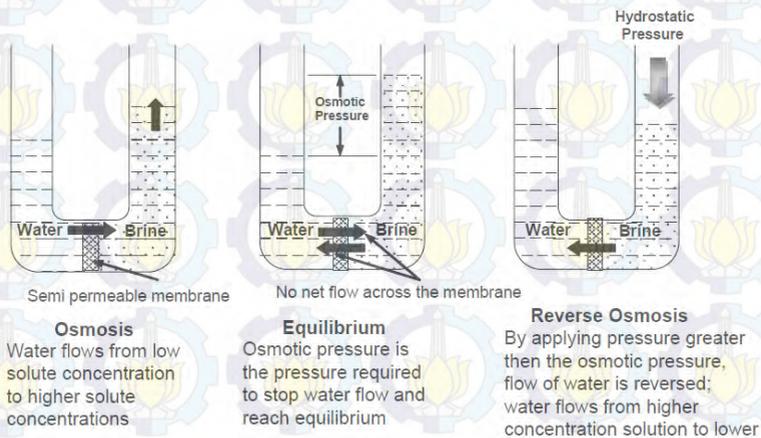
Membran yang digunakan untuk pemurnian dan pemisahan dapat didefinisikan sebagai film tipis semipermeabel. Properti semipermeabel berarti bahwa membran dapat dilewati air tetapi tidak bakteri (*microfilters*) atau garam (*reverse osmosis*, RO). Teknologi membran digunakan dalam industri air untuk meningkatkan kualitas air untuk pemakaian, digunakan kembali, atau dibuang ke lingkungan. Keuntungan dari teknologi membran termasuk sifat modular, yang memungkinkan diaplikasikan dalam skala sangat besar atau kecil, kualitas air produk yang relatif tinggi, dan dalam beberapa kasus, energi penggunaannya yang lebih rendah (Fane dkk, 2011). Klasifikasi penggunaan membran digambarkan pada **Gambar II.1**, berdasarkan jenis, ukuran pori dan contoh bahan yang dipisahkan oleh membran.



Gambar II.1 Klasifikasi penggunaan membran (Singh, 2015)

II. 2 Reverse Osmosis (RO)

Reverse osmosis (RO) adalah proses filtrasi dengan menggunakan membran untuk menghilangkan pelarut dari larutan dengan meninggalkan larutan terkonsentrasi. Ketika membran semipermeabel memisahkan antara larutan encer dan larutan pekat, terjadi aliran pelarut dari larutan encer ke larutan pekat membran dalam upaya menyamakan konsentrasi. Aliran pelarut, dapat dicegah dengan memberikan tekanan hidrostatik dari sisi larutan pekat (Tilak dkk, 2010)



Gambar II.2 Mekanisme *Reverse Osmosis* (Tilak dkk, 2010)

Untuk menggunakan RO sebagai proses pemurnian air, digunakan air umpan bertekanan pada satu sisi membran semipermeabel. Tekanan harus cukup tinggi melebihi tekanan osmotik untuk membuat osmosis balik aliran air. Jika membran sangat permeabel terhadap air dan kedap terhadap zat-zat terlarut, air murni akan mudah melintasi membran dan dikenal sebagai permeat (produk air). Sebagai produk air melintasi membran, konsentrasi impurities meningkat didekat permukaan membran, menyebabkan kondisi yang dikenal sebagai konsentrasi polarisasi. Konsentrasi polarisasi adalah akumulasi partikel zat terlarut pada permukaan membran, sehingga konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi di permukaan

membran , yang mengakibatkan meningkatkan tekanan osmotik dari sistem yang diperlukan (Tilak dkk, 2010).

II.3 Bahan Baku Pembuatan Membran

1. *Cellulose Acetate* (CA)

Akhir-akhir ini, perkembangan proses teknologi yang mengarah ke penggunaan bahan baku ramah lingkungan lebih sering digunakan. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan penghasil polimer membran. Bahan bakar fosil memiliki persamaan sifat polimer dengan *cellulose* dari biomassa. Salah satu polimer yang banyak digunakan adalah CA. CA adalah polimer pertama yang secara spesifik memenuhi, untuk proses desalinasi di antara bahan polimer lain seperti polivinil pirolidon (PVP), polivinil alkohol (PVA), dan poliamida (PA) .CA membran memiliki efisiensi desalinasi tinggi, mudah dalam ketersediaannya, biaya yang relatif rendah, non toksisitas, hidrofilitas, kelarutan yang baik dalam pelarut organik dan potensi fluks tinggi (Fane dkk, 2011) . Dimana sifat fisis *Cellulose Acetate* dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

Tabel II.1 Sifat fisis (Lee dkk, 2011)

Properti	Cellulose Acetate
Struktur	
Fluks ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$)	0.35
Rijeksi garam (%)	99
Test	>100 bar, larutan 4% NaCl

Tabel II.2 Kelebihan dan kekurangan membran *Cellulose Acetate* (Fane dkk, 2011)

Parameter	Membran Selulosa Asetat
Permeabilitas	Rendah
<i>Surface hydrophilicity</i>	Sangat hidrofilik
<i>Surface roughness</i>	Halus
Maksimum temperatur	30 °C
pH operasi	4.5-6.5
Ketahanan terhdap hidrolisis	Rendah, tidak stabil pada
Ketahanan terhadap biodegradasi	Rendah
Ketahanan terhadap klorin	Stabil (klorin < 1 ppm)

Tapi CA memiliki beberapa kekurangan seperti ketahanan yang rendah terhadap hidrolisis, oksidasi, kimia panas dan biodegradasi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel II.2**. Karena itu , CA perlu di kombinasikan dengan polimer lain untuk dapat meningkatkan kinerja membran, permibilitas dan selektivitasnya. Menurut Sidra dkk, 2014, penambahan aditif PEG (berat molekul 600) pada CA (berat molekul 30000) membran, dengan penambahan PEG 20% berat yaitu dengan komposisi CA/PEG : 16/4 gr memberikan hasil yang optimal (dilihat dari fluks permeat dan kestabilan mekanis) dibandingkan dengan komposisi CA/PEG yang lainnya (10/10 gr, 12/8 gr, 14/6 gr).

Sebuah membran hidrofilik didefinisikan “suka air” dimana memiliki afinitas yang kuat ke permukaan dan memiliki kecenderungan untuk membasahi permukaan. Sebaliknya, membran hidrofobik tidak berinteraksi baik dengan air. Sifat hidrofilisitas dan hidrofobisitas dapat ditentukan dengan pengukuran sudut kontak. Secara umum, membran hidrofilik lebih

disukai karena cenderung meningkatkan permeabilitas air dan cenderung mengurangi membran *fouling*. Sedangkan membran hidrofobik lebih disukai untuk beberapa aplikasi khusus (seperti MD dan beberapa kontaktor membran) di mana transmisi air (cair) melalui membran perlu dicegah.

Sifat teknis CA komersial yang penting adalah derajat substitusi (DS). Derajat substitusi dan kadar asetil suatu CA menunjukkan kemampuan larut dalam jenis pelarut tertentu (Fengel dan Wegener, 1984). Hubungan antara derajat substitusi, kadar asetil, serta pelarut yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel II.3**. Pemilihan pelarut yang tepat akan memberi hasil yang baik pada hasil aplikasi. Pada pembuatan membran, polimer CA dilarutkan dalam suatu pelarut dengan kelarutan yang tinggi. Jenis pelarut yang digunakan sangat menentukan struktur membran yang terbentuk (Fane dkk, 2011).

Tabel II.3 Hubungan antara derajat substitusi, kadar asetil, pelarut, dan aplikasinya (Fengel dan Wegener, 1984)

Derajat Substitusi	Kadar Asetil (%)	Larut di dalam	Tidak larut di dalam	Aplikasi
0,6 – 0,9	13 – 18,6	Air	Aseton	-
1,2 – 1,8	22,2 – 32,2	2-metoksi etanol	Aseton	Plastik, pernis
2,2 – 2,7	36,5 – 42,2	Aseton, Dimetilformami da	Dikloromet an	Serat , film
2,3 – 2,8	≥43,0	Kloroform, Diklorometan	Aseton	Serat lembaran

2. *Polyethylene glycol*(PEG)

PEG merupakan salah satu diantara zat aditif yang sering ditambahkan pada pembuatan membran yang berfungsi sebagai agen pembentuk pori untuk meningkatkan keteraturan bentuk pori-pori pada membran sehingga struktur pori lebih rapat dan membran yang dihasilkan semakin bagus. Aneela S. dkk, 2014, telah meneliti bahwa PEG dengan berat molekular 200 (PEG 200) dapat meningkatkan hidrofilitas dan stabilitas termal dan membran polimer yang digabungkan dengan silika (SiO_2), titania (TiO_2), alumina (Al_2O_3) dan zirconia (ZrO_2) dapat meningkatkan sifat mekanis, *fouling resistance* dan permeabilitas membran.

PEG adalah senyawa hasil kondensasi dari oksietilen dan air dengan rumus molekul $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$, dimana n merupakan bilangan (jumlah) rata-rata pengulangan grup oksietilen mulai dari 4 sampai 180. Bilangan yang mengiringi dibelakang PEG menunjukkan berat molekular rata-rata daripada PEG, seperti PEG dengan $n = 80$ akan mempunyai berat molekular rata-rata sekitar 3500 Dalton dan dicantumkan sebagai PEG 3500. Sedangkan senyawa dengan berat molekular rendah terdiri dari $n = 2$ sampai $n = 4$ seperti *diethylene glycol*, *triethylene glycol*, dan *tetraethylene glycol*, merupakan senyawa-senyawa murni. Senyawa dengan berat molekular rendah sampai 700 bersifat cairan kental, tidak berwarna, tidak berbau dengan titik beku -10°C (*diethylene glycol*), sementara senyawa-senyawa hasil polimerisasi dengan berat molekular yang lebih tinggi yaitu sampai 1000 berbentuk padat seperti lilin dengan titik didih mencapai 67°C untuk $n = 180$. Keistimewaan dari PEG adalah senyawa tersebut bersifat larut dalam air (Chou dkk, 2007). PEG juga larut dalam berbagai pelarut organik dari golongan hidrokarbon aromatik, seperti metanol, benzen, *dichlorometane* dan tidak larut dalam dietil eter dan heksan. Sifat-sifat lain daripada PEG adalah merupakan senyawa yang tidak beracun, netral, tidak mudah menguap dan tidak iritasi.

Pelarut PEG banyak digunakan sebagai emulsifier dan detergen, humectants, dan pada bidang farmasi.

3. Silika

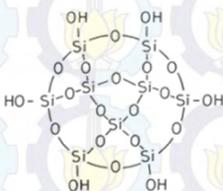
Penambahan nanopartikel silika mempengaruhi permukaan dan karakteristik transport membran. Studi tentang silika dalam penggunaannya dengan berat molekul PEG yang rendah menunjukkan bahwa silika berinteraksi dengan PEG melalui ikatan hidrogen antara oksigen dalam rantai PEG dan kelompok silanol (-Si-OH) pada silika (Aneela dkk, 2014).

Menurut Andre dkk, 2008, silika (SiO_2) menunjukkan sifat unik yang berkaitan dengan kemampuan elemental seperti SiO_4 tetrahedra, yang dihubungkan untuk menimbulkan padatan amorf atau mengkristal yang mungkin mikroporous, mesopori, dan berpori. Dibandingkan dengan oksida lain seperti alumina (Al_2O_3), titania (TiO_2), atau zirconia (ZrO_2), silika dapat lebih mudah disiapkan sebagai ultra atau lapisan tipis amorf super mikro. Dalam pengaruh penambahan silika terhadap morfologi dan struktur membran, secara umum menunjukkan peningkatan kestabilan termal dan propertis mekanis membran juga meningkat dengan penambahan silika dibandingkan dengan membran tanpa penambahan silika (Aneela dkk, 2014)

Kadar air dan membran permeabilitas membran meningkat dengan meningkatnya jumlah silika. Kadar air yang meningkat mungkin karena peningkatan membran hidrofilitas sehingga hidrofilitas tinggi memfasilitasi difusi air molekul dalam membran. Demikian pula, fluks untuk semua membran yang dimodifikasi, juga meningkat dengan meningkatnya kadar silika. Dan dengan penambahan silika membuat terganggunya rantai penyambung antar polimer dengan membuat mikro pori diantara partikel inorganik dan *interface* polimer. Sehingga dengan penggabungan silika akan meningkatkan rijeksi garam juga (Adnan dkk, 2014).

Sifat hidrofilik silika, berkaitan dengan adanya gugus silanol (Si-OH) dimana air dapat teradsorpsi pada silika melalui

ikatan hidrogen antarmolekul antara molekul air dan gugus silanol (hidroksil) pada silika. Dalam penyerapan air, peran terpenting dipegang oleh gugus silanol yang berada pada silika gel. Pada permukaan silika gel, gugus (-OH) menghadap luar. Ketika ada air yang melewati permukaan silika gel, maka air akan diikat oleh gugus silanol (Si-OH) dengan ikatan hydrogen (Salazar dkk, 2011).



Gambar II.3 Skema permukaan hidrofilik silika gel (Salazar dkk, 2011)

Fumed Silika tersusun atas bola yang berukuran submikron, yang 40-60% menyatu menjadi rantai pendek, sangat bercabang, dengan 0.1-0.2 μm . Ukuran bola yang cukup seragam untuk produk tertentu, tetapi panjang rantai cukup bervariasi, 10 sampai 30 unit panjang. Luas permukaan, yang bervariasi dengan ukuran partikel, memberikan pendekatan yang baik dari diameter bola. Semakin kecil partikel, semakin besar luas permukaan (*Fumed Silica-Sigma Aldrich Properties*).

Tabel II.4 Perbandingan besarnya luasan permukaan terhadap ukuran partikel *fumed* silika (*Fumed Silica -Sigma Aldrich Properties*)

Ukuran Partikel (μm)	Luas permukaan (m^2/gram)
0.007	390
0.008	325
0.011	255
0.012	200
0.014	200

4. Aseton

Penggunaan *solvent* (pelarut) pada polimer membran, terhadap struktur morfologi membran yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh sifat pelarut itu sendiri. Abdulreza dkk, 2001, telah meneliti dan membandingkan pelarut aseton, dimetil formamid (DMF), dan *N*-metilpirolidon (NMP) terhadap performa membran selulosa asetat. Perbandingan propertis dari ketiga pelarut tersebut dapat dilihat pada **Tabel II.6**.

Tabel II.5 Propertis Aseton, DMF, dan NMP (Abdulreza dkk, 2001)

Properti	Aseton	DMF	NMP
Rumus kimia	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	$\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$	$\text{CH}_4\text{-N-CH}_8$
Berat molekul	58.08	73.10	85.15
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	56	153	80-81
Titik beku ($^{\circ}\text{C}$)	-94	-61	-61
Densitas (pada 20°C)	0.791	0.944	0.819

Dari data pada **Tabel II.5**, terlihat bahwa aseton memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan DMF dan NMP. Namun dilihat dari performa, CA-DMF memiliki selektivitas yang lebih besar dibandingkan CA-aseton tapi disisi lain menyebabkan semakin sulitnya menghilangkan pelarut dari polimer membran. Ini disebabkan karena titik didih dari pelarut tersebut. Dengan semakin tingginya titik didih DMF dibandingkan dengan aseton dan NMP, maka volatilitas bahan akan semakin rendah. Sehingga dengan rendahnya volatilitas, menyebabkan lebih stabilnya rantai ikatan antara polimer yang dapat menghasilkan struktur yang lebih stabil pada membran, yang pada akhirnya berakibat pada, bentuknya membran yang lebih rapat (*dense*). Sedangkan CA-Aseton membran memiliki porositas yang lebih tinggi dikarenakan titik didih aseton yang

lebih rendah, sehingga lebih mudah untuk dipisahkan dari larutan polimer. Sehingga dengan semakin porousnya membran maka daya serap membran akan lebih besar dan fluks akan lebih besar (Abdulreza dkk, 2001).

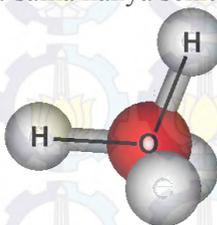
5. Air laut Kenjeran

Air umpam untuk uji kinerja membran disesuaikan dengan TDS air laut payau pada daerah pantai Kenjeran dengan analisa komposisi yang dapat dilihat pada **Tabel II.6**.

Tabel II.6 Hasil Analisa Komposisi air laut payau Kenjeran (Lab. Teknologi Air Industri-Teknik Kimia ITS)

Parameter	Hasil Analisa (ppm)
NaCl	2923
TDS	4859

Molekul air merupakan molekul yang kecil, berbentuk V-shaped dengan rumus mekul H_2O dan dimeter 2.75 \AA . Dalam keadaan cair, meskipun 80% dari elektron dalam H_2O yang berkaitan dengan ikatan, tiga atom tidak selamanya bersama diman atom hidrogen terus bertukar antara molekul air, karena proses protonasi /deprotonasi. Kondisi asam dan basa mengkatalisis pertukaran ini dan bahkan ketika kondisi mendekati netral (pada pH 7), rata-rata waktu untuk atom dalam molekul H_2O untuk tetap bersama-sama hanya sekitar satu milidetik.



Gambar II.4 Bentuk struktur mekul air (http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html)

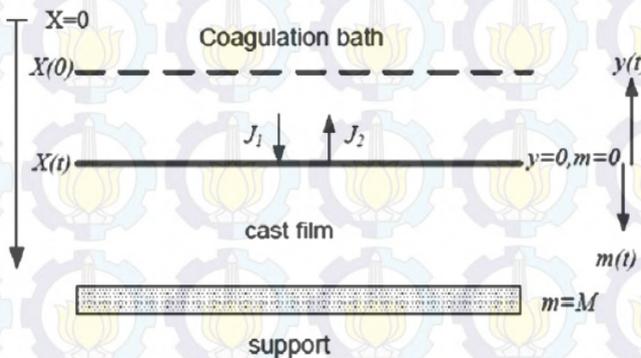
II.4 Teknik Pembuatan Membran

Pemilihan teknik untuk pembuatan polimer membran tergantung dari pemilihan polimer dan produk membran yang diinginkan. Teknik yang paling banyak digunakan dalam pembuatan polimer membran meliputi *phase inversion*, *interfacial polymerization*, *stretching*, *track-etching*, dan *electrospinning*.

Phase inversion dapat dideskripsikan sebagai proses pemisahan dimana larutan polimer yang homogen ditransformasikan dari fase *liquid* ke fase *solid*. Proses ini dapat dicapai dengan beberapa cara sebagai berikut :

- *Immersion precipitation*.

Larutan polimer dimasukkan ke dalam bak pengendapan yang berisi larutan *non-solvent*. Pemisahan dan pengendapan terjadi karena terjadi pertukaran dari *solvent* (dari larutan polimer) dan *non-solvent* (dari bak pengendapan), seperti pada **Gambar II.5**. Larutan *solvent* dan *non-solvent* harus *miscible*. (Bousoo, dkk. 2006)



Gambar II.5 Skema *Immersion precipitation* (Radovanovic dkk, 1992)

- *Thermally induced phase separation*

Metode ini terdiri dari lima tahap. Pertama larutan polimer dicampur dengan menaikkan suhu, polimer yang

digunakan yang memiliki titik didih tinggi, berat molekul yang rendah. Kedua larutan polimer yang panas dicetak diatas permukaan dingin. Ketiga larutan polimer yang telah dicetak didinginkan untuk menginduksi pemisahan fase dan solidifikasi. Keempat pelarut yang terperangkap di dalam matriks polimer dipisahkan untuk membentuk pori-pori membran. Kelima proses *post-treatment* seperti *stretching* untuk meningkatkan karakteristik dari membran. (Dongmei dkk, 2005)

•*Evaporation-induced phase separation*

Larutan polimer dibuat di dalam *solvent* atau di dalam campuran *volatile non-solvent*. *Solvent* kemudian diuapkan untuk membuat terjadi proses pengendapan. Teknik ini juga dikenal sebagai *solution casting method*. (Silva dkk, 2004)

Konsentrasi polimer sangat penting pembuatan membran. Meningkatkan konsentrasi polimer di dalam larutan menghasilkan membran dengan porositas yang rendah (Baker dkk, 2004). Pemilihan *solvent/non-solvent* juga sangat berpengaruh morfologi dan properti dari membran yang terbentuk. *Miscibility* yang rendah dari polimer di dalam *solvent* akan menghasilkan membran yang *non-porous* (Pinnau, dkk. 2000). Untuk meningkatkan morfologi dan properti berbagai macam bahan anorganik digunakan seperti LiCl, polipiril pirolidon (PVP), dan *Polyethylene glycol*(PEG). Bahan aditif dapat berfungsi sebagai pembentuk pori dan meningkatkan viskositas larutan (Chuang dkk, 2000). Selain itu modifikasi penambahan nanopartikel juga sangat mempengaruhi performa membran, seperti penambahan nanopartikel fumed silika yang dilakukan Aneela S. dkk, 2014 seperti pada penjelasan sebelumnya. Sehingga pada penelitian ini, metode *Thermally induced phase separation (TIPS)* digunakan dalam pembuatan membran CA/PEG dengan aseton sebagai *solvent* dan modifikasi penambahan *fumed* silika. Penggunaan metode TIPS ini dikarenakan kelarutan *fumed* silika pada air yang baik, sehingga

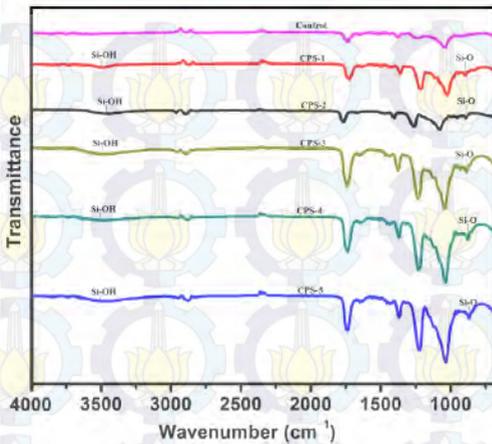
penggunaan *Immersion precipitation* dengan menggunakan air sebagai non-solvent pada proses pengendapan akan memungkinkan silika ikut terlarut dan terlepas dari polimer membran. Sedangkan dibandingkan *Evaporation-induced phase separation* yang memerlukan energi pemanasan yang lebih tinggi untuk menguapkan *solvent* pada campuran CA/PEG. Sehingga metode TIPS lebih mendukung dalam pembuatan membran CA/PEG dengan aseton sebagai *solvent* dan modifikasi penambahan *fumed* silika.

II.5 Karakterisasi dan Uji kinerja membran

1. Karakterisasi membran

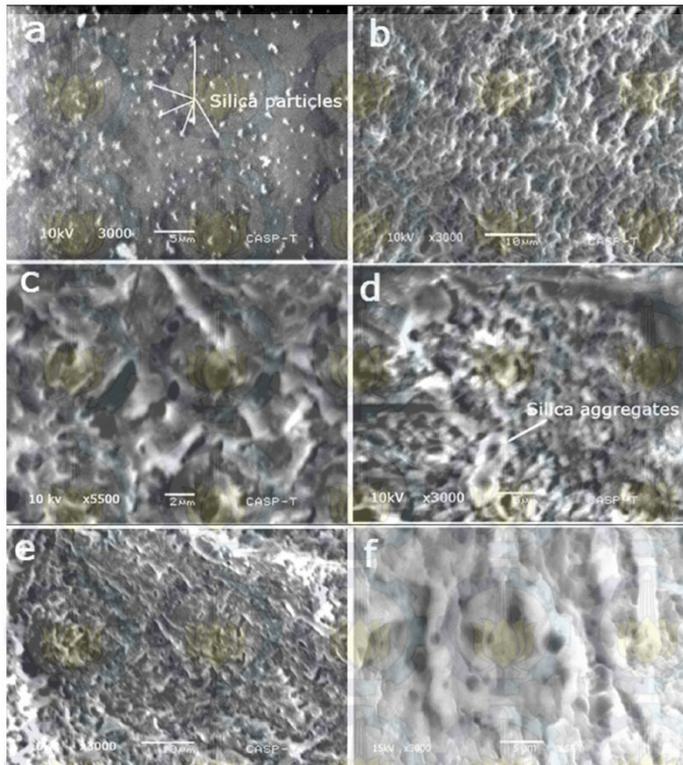
Karakterisasi membran didasarkan pada morfologi fisis membran, yang dapat dilihat dari :

- Ikatan gugus fungsional pada membran, yang dapat diketahui dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), memungkinkan untuk inframerah (IR) menganalisis permukaan. Spektrum IR dapat memberikan penentuan frekuensi getaran dan intensitas transisi molekul (dengan pengecualian diatomik seperti N₂ dan O₂), termasuk frekuensi gugus fungsional. Radiasi IR biasanya menembus 1 μm ke permukaan tapi lebih dalam dari ketebalan lapisan aktif yang membran komposit, sehingga lapisan atas belum tentu terisolasi (Boussu dkk, 2007). Kedalaman ini dapat dikurangi dengan hati-hati memilih kristal dan sudut tembak. Pengoperasian FTIR didasarkan pada total fenomena refleksi internal. Sebuah blok bahan dengan densitas optik lebih besar dari sampel dimasukkan ke dekat kontak dengan permukaan sampel. Gelombang menembus permukaan sampel, meskipun tidak ada sinar yang dibiarkan muncul, karena jumlah refleksi internal. (Childress dkk, 2012). Seperti contoh pada **Gambar II.6**, hasil analisa morfologi membran dengan FTIR



Gambar II.6 Contoh hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan FTIR (Adnan.A dkk, 2015)

- Struktur morfologi membran. Untuk mengetahui struktur morfologi membran salah satu metode yang sering digunakan adalah dengan *Scanning electron microscopy* (SEM). Pengukuran permukaan sampel dilakukan dengan menembakan sinar elektron dalam ruang hampa. Elektron sekunder akan terlepas dari permukaan dan terdeteksi. Kondisi ini memerlukan persiapan sampel, pengeringan dan pelapisan permukaan dengan lapisan konduktif. Persiapan sampel mempengaruhi struktur dalam gambar yang diamati (Mulder, 1996). Resolusi 10 nm atau lebih baik dapat dicapai, namun bervariasi dengan peralatan yang tersedia. Ukuran pori, porositas permukaan, dan geometri pori dapat divisualisasikan dan porositas dan distribusi ukuran pori dapat diperkirakan (Childress dkk, 2012). Seperti pada contoh **Gambar II.7**, hasil uji morfologi membran dengan menggunakan SEM.



Gambar II.7 Contoh Hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan SEM (Adnan dkk, 2015)

2. Uji kinerja membran

- Rijeksi garam

Dalam reverse osmosis, rijeksi garam didefinisikan sebagai rasio perbedaan konsentrasi *solute* pada *feedwater* dan permeat yang melewati membran yang dinyatakan sebagai :

$$R = \left(1 - \frac{C_P}{C_F} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

dimana R adalah rijeksi garam (%), C_P adalah konsentrasi *solute* pada produk dan C_F adalah konsentrasi *solute* dalam *feedwater*. (Anis dkk, 2014)

- Fluks permeat

Fluks permeat (J) merupakan jumlah *purewater* terkumpul per satuan waktu dan per satuan luas pada tekanan tertentu. Hal ini dihitung dengan:

$$J = \frac{Q}{A \times t} \dots\dots\dots(2)$$

dimana J adalah Fluks permeat (L / jam.m²), Q adalah jumlah permeat (L), t adalah waktu (jam) dan A adalah luas membran m². (Saljoughi dkk, 2008)

- Permeabilitas membran

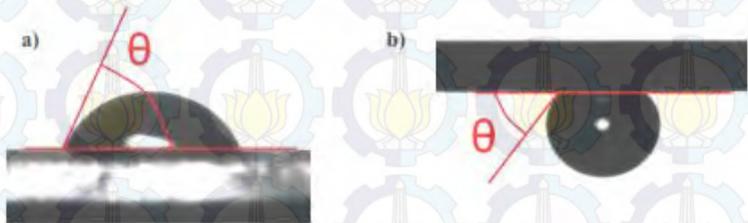
Permeabilitas membran menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrolis. Untuk menentukan P_m , fluks diukur pada tekanan tras membran yang berbeda (ΔP). Permeabilitas membran dievaluasi dari *slope* yang diperoleh dengan memplot fluks permeat terhadap perbedaan tekanan membran (ΔP), menggunakan persamaan:

$$P_m = \frac{J}{\Delta P} \dots\dots\dots(3)$$

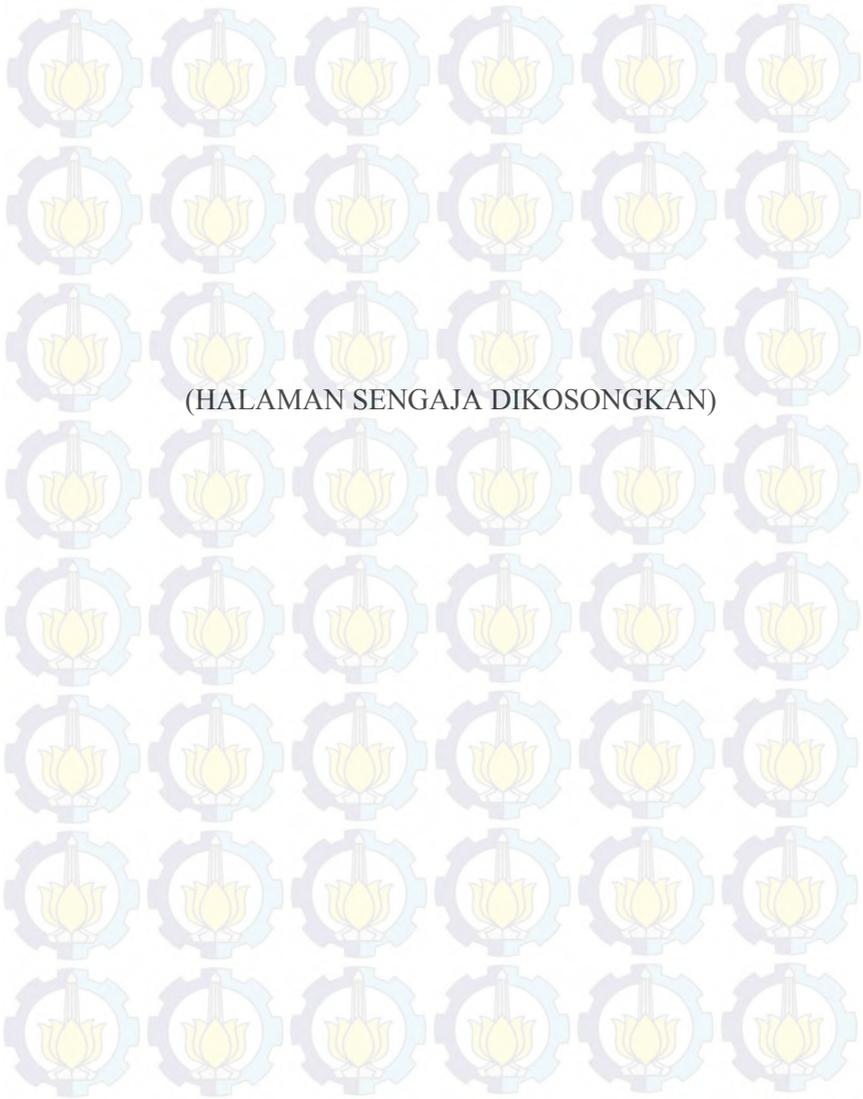
di mana P_m adalah permeabilitas membran hidrolis (L .jam⁻¹m⁻² / kPa) dan ΔP adalah perbedaan tekanan, kPa (Adnan dkk, 2014).

- Sudut kontak (θ) yang terbentuk pada tiga fase antarmuka antara padat, cair dan fase gas / uap seperti pada **Gambar II.8**, dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai

karakteristik permukaan membran. Ada dua teknik yang dapat digunakan untuk mengukur sudut kontak yaitu *sessile drop* dan *captive bubble*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.6a dan II.6b. Informasi yang dikumpulkan dari analisis sudut kontak dapat digunakan untuk menilai secara kualitatif hidrofobik atau hidrofilisitas dari permukaan membran. Pengukuran dengan *sessile drop* dilihat dari penyebaran tetes cairan di atas permukaan membrane yang kering. Sebaliknya *captive bubble*, gelembung udara ditempatkan pada permukaan yang direndam dalam air dimana air akan surut dari volume yang ditempati oleh gelembung udara (**Gambar II.8b**) (Childress dkk, 2012).



Gambar II.8 Contoh pengukuran sudut kontak dengan metode (a) *sessile drop* dan (b) *captive bubble* pada larutan polimer (Childress dkk, 2012).



BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Secara garis besar pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara eksperimen. Bahan baku yang akan digunakan adalah *cellulose acetate* (CA), *polyethylene glycol* (PEG), silika, aseton, dan NaOH.

Eksperimen ini dilakukan secara bertahap yaitu dengan pembuatan membran *reverse osmosis* (RO) dan karakterisasi performa membran (RO). Pembuatan membran (RO) menggunakan metode *thermal induced phase separation*, sedangkan uji karakterisasi dan kinerja membran meliputi analisa morfologi membran, ikatan gugus fungsional, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran. Analisa morfologi membran bertujuan untuk melihat bentuk pori dan struktur permukaan membran yang telah dibuat, analisa ini menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisa ikatan gugus fungsional bertujuan untuk mengetahui adanya ikatan hidrogen antara CA dan PEG serta ikatan hidrogen CA dan silika, analisa ini menggunakan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Analisa sudut kontak bertujuan untuk mengetahui hidrofilitas dari membran. Uji fluks permeat bertujuan untuk mengetahui jumlah air murni yang didapat per satuan waktu dan per unit area pada tekanan tertentu. Uji rijeksi garam bertujuan untuk mengetahui rasio dari perbedaan konsentrasi garam yang dapat melalui membran. Uji permeabilitas membran bertujuan untuk menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrolis.

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian maka ditempuh langkah-langkah penelitian sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar III.1**.

Berat molekul : 60.08 g/mol

5. Aseton (99.5%)
6. NaOH (1%)

III.3 Alat yang digunakan

1. Botol sampel
2. Heater
4. Magnetic Stirrer
5. Timbangan
7. Thermometer
8. Mold
9. Alat uji *reverse osmosis*

III.4 Prosedur Penelitian

III.4.1 Prosedur Pembuatan Membran

1. Pembuatan Membran CA/PEG 50/50
 - Mencampurkan CA sebanyak 1.25 gram dan PEG sebanyak 1.25 gram di dalam 17 ml aseton dengan pendukan konstan pada suhu 80°C hingga homogen
 - Mencetak membran di atas mold dengan mengatur ketebalan membran pada suhu 25°C
 - Mengquench membran pada suhu 5°C selama 15 menit
 - Mengeringkan membran pada suhu 60°C selama 24 jam di dalam oven
 - Membran yang telah terbentuk kemudian dilepaskan dari kaca untuk kemudian dianalisa
 - Membuat kembali membran dengan komposisi 60/40; 70/30; 80/20; 90/10 CA/PEG
 - Membran dengan komposisi CA/PEG 80/20 akan dimodifikasi menggunakan silika nanopartikel
2. Modifikasi membran CA/PEG 80/20 menggunakan *silica nanoparticle*
 - Melarutkan 0.025 gram partikel silika (0.007 μm) di dalam 2.5 ml NaOH

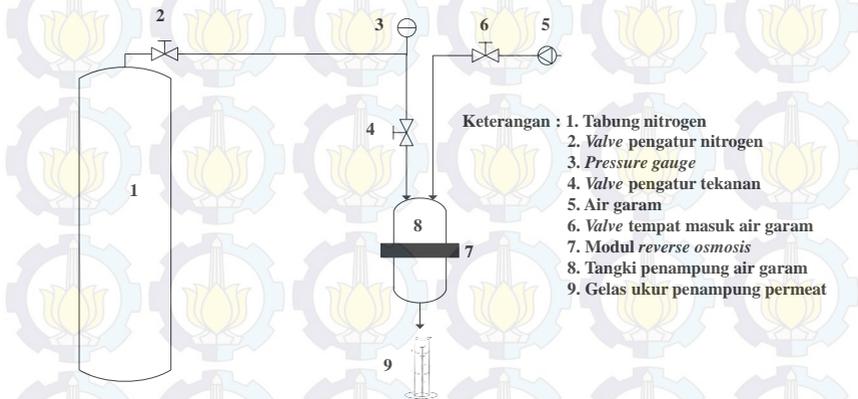
- Mencampurkan larutan partikel silika ke dalam larutan CA/PEG dengan pengadukan konstan pada suhu 80°C hingga homogen
- Mencetak membran di atas mold dengan mengatur ketebalan membran pada suhu 25°C
- Mengquench membran pada suhu 5°C selama 15 menit
- Mengeringkan membran pada suhu 60°C selama 24 jam di dalam oven
- Membran yang telah terbentuk kemudian dilepaskan dari kaca untuk kemudian dianalisa
- Membuat kembali membran dengan cara yang sama menggunakan konsentrasi partikel silika yang berbeda (2%, 3%, 4%, 5%) dan ukuran partikel yang berbeda (0.2 μm dan 60 μm)

III.4.2 Prosedur Analisa

1. Analisa struktur morfologi
 - Membran dicelupkan ke dalam nitrogen cair selama beberapa detik
 - Membran dipotong kecil-kecil dan dipatahkan
 - Sampel kemudian dimasukkan ke dalam alat SEM
2. Analisa ikatan hidrogen
 - Membran dimasukkan ke dalam alat FTIR
 - Membaca grafik yang terbentuk
3. Analisa sudut kontak
 - Aquadest ditetaskan di atas permukaan membran
 - Aquadest yang telah ditetaskan di atas membran difoto kemudian diukur sudut kontakanya
4. Analisa fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran
 - Memasukkan air garam 5000 ppm ke dalam modul RO
 - Kemudian mengalirkan nitrogen ke tabung penampung air garam hingga mencapai tekanan 5 bar, tekanan dijaga selama 5 jam

- Air garam yang dapat melewati modul RO ditampung di dalam gelas ukur, kemudian diukur kadar garamnya menggunakan metode titrasi pengendapan (appendiks B)
- Menghitung fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran (appendiks C)

Skema alat uji kinerja membran RO ditunjukkan pada **Gambar III.2**



Gambar III.2 Skema Alat Reverse Osmosis

III.5 Variabel Penelitian

1. Kondisi yang Ditetapkan

- Volume aseton : 17 mL
- Suhu pencampuran : 80°C
- Volume NaOH : 2.5 mL
- Ketebalan membran : 200 μm
- Suhu *casting* membran : 25°C
- Suhu *quenching* : 5 °C (selama 15 menit)
- Suhu pengeringan : 60 °C

2. Variabel Berubah

- Komposisi CA/PEG (50/50; 60/40; 70/30; 80/20; 90/10)
- Konsentrasi silika partikel di dalam 2.5 ml NaOH (1%; 2%; 3%; 4%; 5% wt/v)
- Ukuran partikel silika partikel (0.007; 0.2; 60 μm)

Tabel III.1 Penamaan sampel pada berbagai variabel

CA/PEG		CA/PEG/Silika 80/20/silica $D_{\text{silika}}=0.007 \mu\text{m}$		CA/PEG/Silika 80/20/silica $D_{\text{silika}}=0.2 \mu\text{m}$		CA/PEG/Silika 80/20/silica $D_{\text{silika}}=60 \mu\text{m}$	
Variabel	Kode	Variabel % silika	Kode	Variabel % silika	Kode	Variabel 1 % silika	Kode
50/50	CP1	1%	CPS1-1	1%	CPS2-1	1%	CPS3-1
60/40	CP2	2%	CPS1-2	2%	CPS2-2	2%	CPS3-2
70/30	CP3	3%	CPS1-3	3%	CPS2-3	3%	CPS3-3
80/20	CP4	4%	CPS1-4	4%	CPS2-4	4%	CPS3-4
90/10	CP5	5%	CPS1-5	5%	CPS2-5	5%	CPS3-5

3. Variabel Respon

- Struktur morfologi membran
- Ikatan gugus fungsional
- Sudut kontak
- Fluks permeat
- Rijeksi garam
- Permeabilitas membran

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

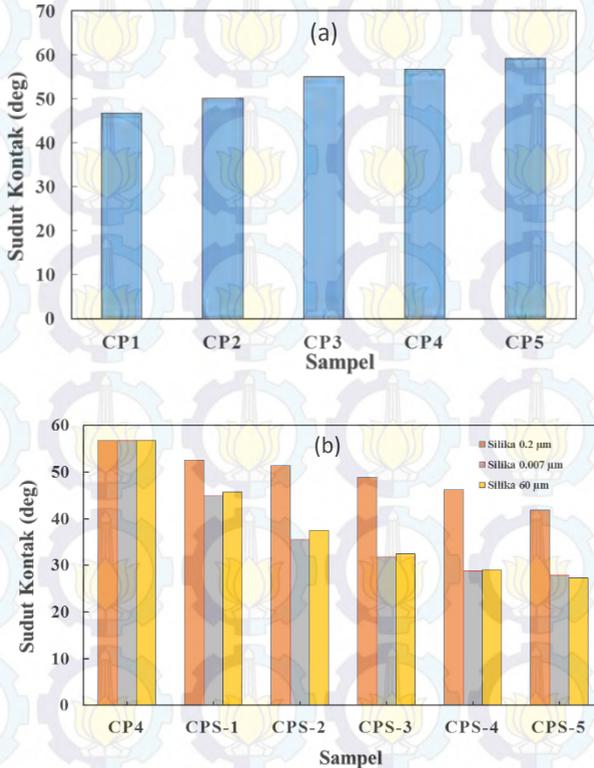
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan membran *Reverse Osmosis* (RO) dengan menggunakan polimer *Cellulose Acetate* (CA), *Polyethylene Glycol* (PEG) dan nanopartikel silika sebagai bahan aditif dengan memvariasikan komposisi CA dan PEG serta ukuran nanopartikel dan konsentrasi silika, mempelajari pengaruh variasi komposisi CA dan PEG terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut, serta mempelajari pengaruh variasi ukuran partikel dan konsentrasi silika terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut.

Air laut yang digunakan pada eksperimen ini adalah air laut sintesis dengan kadar garam 5000 ppm. Pemilihan konsentrasi air laut didasarkan pada kandungan air laut (payau) pada daerah Kenjeran dengan TDS 4859 dengan kandungan NaCl sebesar 2923 ppm (Analisa Lab. Pengolahan Air Industri Teknik Kimia ITS). Dan penggunaan air laut sintesis, bertujuan agar dapat memperlihatkan performa membran yang spesifik terhadap rijeksi garam.

Eksperimen ini dilakukan secara bertahap yaitu dengan pembuatan dan karakterisasi performa membran RO. Pembuatan membran RO menggunakan metode *thermal induced phase separation*, sedangkan uji karakterisasi dan kinerja membran meliputi analisa morfologi membran, ikatan gugus fungsional, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran.

Komposisi CA dan PEG yang digunakan pada penelitian ini yaitu 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, dan 90/10. Sedangkan konsentrasi silika yang digunakan yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% massa/volume terhadap NaOH. Suhu *casting* larutan CA/PEG dan CA/PEG/Silika dilakukan pada suhu ruangan, lalu di-*quenching* ke suhu 5 °C selama 15 menit, kemudian dikeringkan dalam oven pada 60 °C selama 24 jam.

IV.1 Sudut Kontak



Gambar IV.1(a) Perbandingan sudut kontak membran CA/PEG pada berbagai komposisi, (b) Perbandingan sudut kontak membran CP4 dengan penambahan silika 0.007 μm , 0.2 μm , dan 60 μm pada berbagai konsentrasi.

Pengukuran sudut kontak merupakan parameter yang penting untuk menentukan hidrofilisitas permukaan membran.

Gambar IV.1(a) menunjukkan sudut kontak membran CA/PEG pada berbagai komposisi, dimana hidrofilisitas membran menurun dengan meningkatnya penambahan CA dan menurunnya penambahan PEG. Peningkatan jumlah komposisi CA pada membran membuat hidrofilisitas membran menurun yang dimungkinkan oleh pembentukan selektif *layer* pada permukaan membran, dikarenakan permukaan membran semakin rapat (*dense*), sehingga membuat air sulit untuk melewati membran. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori dimana penambahan PEG sebagai agen pembentuk pori, sehingga dengan berkurangnya penambahan PEG menyebabkan berkurangnya keteraturan pembentukan pori pada membran yang akhirnya membuat berkurangnya sifat hidrofilisitas membran (Aneela dkk, 2014).

Sedangkan pada **Gambar IV.1(b)** dilakukan pengukuran sudut kontak dengan membandingkan penambahan tiga jenis ukuran partikel silika (silika 0.007 μm , 0.2 μm , dan 60 μm) pada membran CP4. Penambahan silika dilakukan dengan menambahkan 1%, 2%, 3%, 4% dan 5 % w/v yang berurut disebut sample CPS-1, CPS-2, CPS-3, CPS-4, dan CPS-5 untuk masing-masing jenis silika. Dari grafik terlihat bahwa, ketiga jenis silika menunjukkan kesesuaian hasil, dimana peningkatan penambahan konsentrasi silika membuat semakin menurunnya sudut kontak, yang menunjukkan semakin hidrofiliknya membran. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori, bahwa penambahan silika pada membran CA/PEG akan menghasilkan interaksi yang kuat, melalui ikatan hidrogen antara oksigen atau hidrogen pada silika dengan oksigen atau hidrogen dalam rantai CA yang membentuk gugus silanol (-Si-OH) yang menyebabkan semakin hidrofiliknya membran (Aneela dkk, 2014).

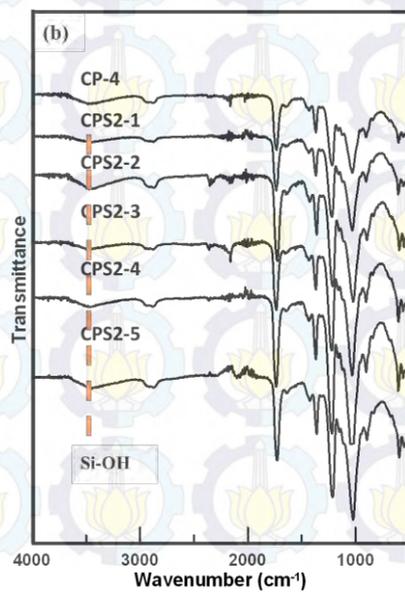
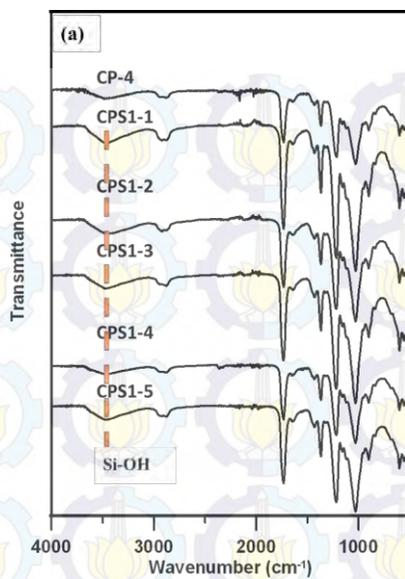
Dari ketiga jenis ukuran silika yang digunakan, penambahan *fumed* silika 0.007 μm menunjukkan sifat yang lebih hidrofilik dibandingkan dengan penambahan *fumed* silika 0.2 μm . Hal ini dikarenakan, semakin kecil ukuran partikel silika maka semakin besar luas permukaannya, yaitu *fumed* silika 0.007 μm

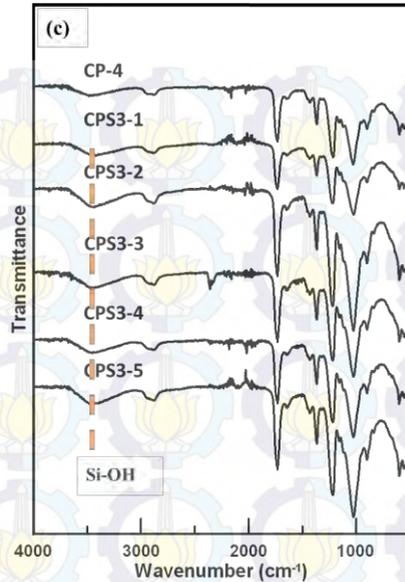
memiliki luasan $390 \text{ m}^2/\text{gram}$. Dimana terdapat 3.5-4.5 gugus hidroksil/ μm^2 permukaan silika (*Sigma Aldrich Properties*). Sehingga, semakin besar luas permukaan silika maka semakin banyak gugus hidroksilnya. Dengan semakin banyaknya gugus hidroksil, maka akan semakin besarnya peluang pembentukan gugus silanol saat berinteraksi dengan CA/PEG, sehingga hidrofilisitas daripada membran akan semakin besar.

IV.2 Analisa Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Analisa FTIR sangat menentukan dalam penentuan karakterisasi polimer, yang ditunjukkan dengan ikatan intermolekular dan intramolekular hidrogen antara silika dan CA/PEG, seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar IV.2(a-c)**. Pada **Gambar IV.2(b-c)**, membran CA/PEG (sebagai kontrol) menunjukkan ikatan O-H pada peak 3460.06 cm^{-1} . Sedangkan secara keseluruhan pada ketiga grafik, analisa FTIR menunjukkan terdapatnya ikatan Si-O-Si *asymmetric* pada 1026 cm^{-1} dan Si-O-Si *symmetric* pada *wavenumber* 802 cm^{-1} dan ikatan gugus silanol (Si-OH) terdapat pada peak disekitaran $3400\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$.

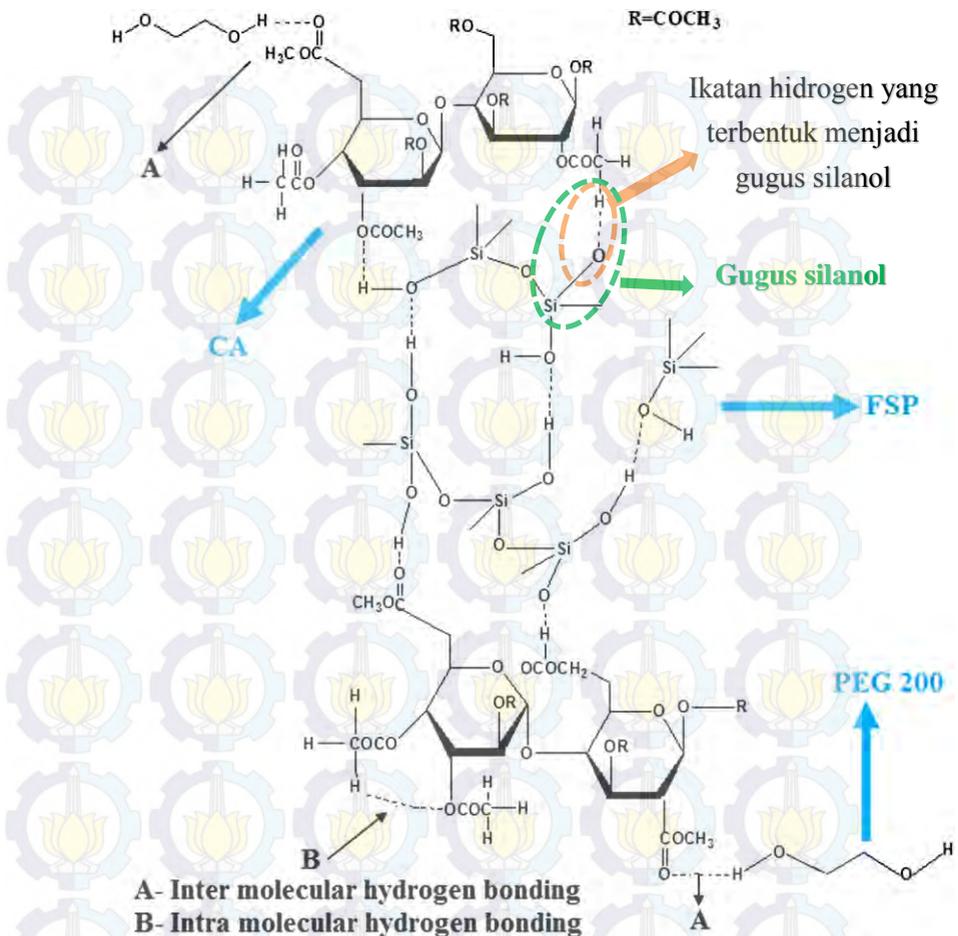
Secara keseluruhan, semakin tinggi penambahan konsentrasi silika dari ketiga jenis silika yang digunakan menunjukkan hasil yang sama. Yaitu terjadi peningkatan luas area gugus hidroksil pada *wavenumber* $3400\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$ sesuai dengan **Grafik IV.2**, yang menandakan semakin meningkatnya jumlah gugus hidroksil pada membran CA/PEG/silika jika dibandingkan dengan membran CA/PEG. Hal ini karena terjadi pembentukan gugus silanol antara silika dengan membran CA/PEG. Hal ini didukung dengan propertis *fumed* silika yang digunakan sebagaimana dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, bahwa luas permukaan pada silika dengan diameter $0,007 \mu\text{m}$ lebih besar daripada silika dengan diameter $0.2 \mu\text{m}$. Sehingga, jumlah gugus hidroksil pada silika dengan diameter $0,007 \mu\text{m}$ lebih banyak daripada silika dengan diameter $0.2 \mu\text{m}$.





Gambar IV.2 Grafik FTIR membran (a) CPS1, (b) CPS2, (c)CPS3

Peningkatan ikatan hidrogen yang terbentuk terjadi akibat interaksi yang kuat antara oksigen atau hidrogen pada gugus hidroksil CA dengan oksigen atau hidrogen pada gugus Si-O-Si silika seperti pada **Gambar IV.3**. Sehingga hal ini memungkinkan semakin kecilnya ukuran *fumed* silika yang digunakan, maka akan akan menghasilkan semakin meningkatnya pembentukan gugus silanol, yang membuat semakin meningkatnya hidrofilitas membran.



Gambar IV.3 Skema intermolekular dan intramolekular ikatan hidrogen pada CA/PEG/fumed silika (Aneela dkk, 2014).

IV.3 Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM)

Dengan menggunakan analisa SEM, dapat menunjukan semakin jelasnya struktur morfologi membran yang dilihat dari bagian permukaan (*top surface*) dan bagian patahan (*fracture*

surface) membran, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.4**. Sesuai dengan gambar hasil analisa SEM, **Gambar IV.4(a)** menunjukkan penampang *top surface* yang rapat dan **(e)** *fracture surface* membran CP4 yang menunjukkan rongga pori. Hal ini dimungkinkan dengan terbentuknya lapisan selektif *layer* oleh CA yang menutupi pori pada permukaan membran. Penambahan *fumed* silika pada membran, yang ditunjukkan pada sample CPS1-5, CPS2-5, dan silika gel pada CPS3-5 memberikan perubahan yang signifikan dengan terbentuknya pori yang jelas pada *top surface* membran. Sehingga ini memungkinkan penambahan silika pada membran menghilangkan terbentuk selektif *layer* pada permukaan membran.

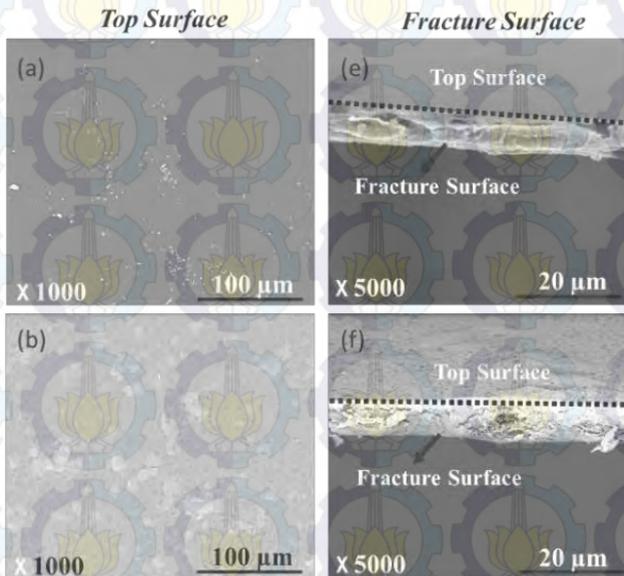
Gambar IV.4(b) dan **(c)** menunjukkan ukuran pori pada penambahan *fumed* silika $0.007 \mu\text{m}$ (CPS1-5) yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan *fumed* silika $0.2 \mu\text{m}$ (CPS2-5) dilihat dari *top surface* membran. Sedangkan penambahan silika gel $60 \mu\text{m}$ (CPS3-5) menunjukkan pori yang rapat pada *top surface* membran. Dan dilihat dari bagian *fracture surface* pada **Gambar IV.4(e-f)**, pori yang terbentuk pada CPS1-5 terlihat lebih banyak dibandingkan dengan CP4, CPS2-5, dan CP3-5. Namun pada CP4 dan CPS3-5, terlihat sangat sedikit terbentuknya pori dan ukuran rongga yang relatif besar.

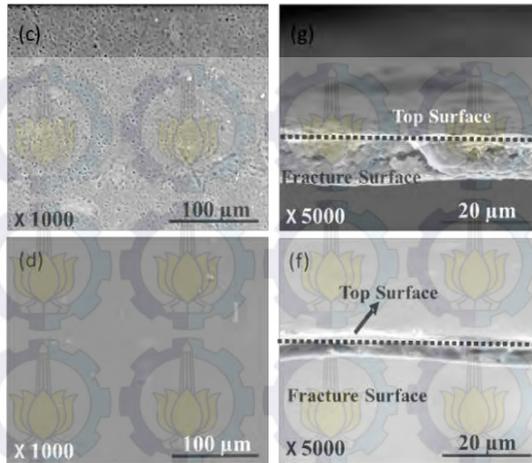
Dengan membandingkan pori yang terbentuk pada CPS1-5, terlihat relatif lebih banyak dibandingkan dengan pori pada CPS2-5, dapat dilihat bahwa dengan ukuran partikel *fumed* silika yang lebih kecil membuat semakin mudah terlarut dalam campuran CA/PEG dan luasan gugus hidroksil yang lebih besar membuat semakin besarnya peluang terbentuk gugus silanol pada membran. Sedangkan dengan membandingkan diameter pori yang terbentuk, dengan mengukur dari gambar analisa SEM pada membran CPS1-5 yang memperlihatkan pori yang lebih besar yaitu $2.26 \mu\text{m}$ dibandingkan CPS1-5 yaitu $0.8321 \mu\text{m}$ (dari *top surface*). Namun diameter pori pada CPS1-5 dan CPS3-5 tidak bisa diukur, karena pori yang sangat rapat dan gambar pori pada *top surface* yang

kurang jelas. Sehingga dapat dilihat membran CPS2-5 dan CPS3-5 memiliki *macropores* ($>0.05 \mu\text{m}$) dan termasuk dalam golongan mikrofiltrasi ($0.05 \mu\text{m}-10 \mu\text{m}$) (Fane dkk, 2011).

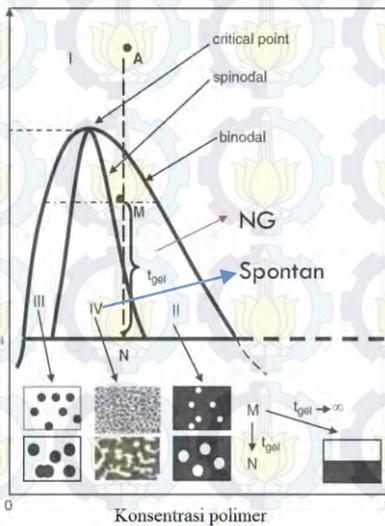
Gambar IV.5 menunjukkan skematik mekanisme pembentukan membran dengan proses TIPS. Saat larutan CA/PEG/ Aseton pada titik A dalam region I, larutan polimer berada dalam kondisi stabil dan homogen. Ketika temperatur secara seketika diturunkan (*quenching*) sampai menyentuh garis binodal maka larutan polimer akan mulai mengalami demixing menjadi dua phase yaitu *rich phase* (banyak mengandung polimer) dan *lean phase* (sedikit mengandung polimer) hingga mencapai region II pada kondisi metastabil seperti pada titik M, dimana secara perlahan polimer dan *solvent* akan terpisah dengan cara *nucleation and growth* (NG) yaitu pada *rich-phase* akan terbentuk *nucleus solvent* dan pada *lean-phase* akan terbentuk *nucleus* polimer yang secara perlahan antara *nucleus* polimer akan saling bergabung, terpisah dari *solvent* begitu juga pada *nucleus solvent* yang akan saling bergabung dan terpisah dari polimer. Dan ketika pendinginan mencapai garis spinodal pada region III yaitu area yang tidak stabil, maka demixing akan terjadi secara spontan. Antara polimer dan *solvent* akan langsung terpisah tanpa mengalami proses NG. Dan saat temperatur mencapai *glass transition* pada titik N maka larutan polimer akan mengalami proses *vetrification* dimana polimer akan berubah fase menjadi padat dan membran secara utuh akan terbentuk. Waktu yang diperlukan dari proses *demixing* (titik M) sampai mencapai *glass transition* (titik N) disebut t_{gel} . Sehingga dengan semakin besar t_{g} akan memberikan struktur membran yang rapat, akibat dari semakin lamanya proses *demixing* (memberikan pemisahan yang lebih sempurna) (Ren dkk, 2008). Dimana proses *demixing* ini sangat dipengaruhi oleh viskositas, dengan Viskositas yang rendah pada larutan polimer saat *phase separation*, akan mengakibatkan semakin mudahnya *solvent* terpisah dari polimer dan memberikan pembentukan droplet (rongga). (Chang dkk, 2015).

Jika dibandingkan konsentrasi polimer CA/PEG terhadap aseton yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebesar 14.7 % wt/v dengan konsentrasi optimal membran RO ≥ 20 % wt dari literatur (Baker dkk, 2004), memungkinkan membran CA/PEG yang terbentuk menjadi lebih rapat (tidak berpori) dan berongga dikarenakan viskositas yang terlalu rendah yang mengakibatkan lebih mudah dan cepatnya proses *demixing* yang mungkin terjadi (t_g semakin kecil). Sedangkan saat penambahan *fumed* silika, membran yang terbentuk menunjukkan, meningkatnya pori yang terbentuk, akibat interaksi *fumed* silika terhadap polimer CA dalam ikatan hidrogen yang membuat meningkatnya viskositas. Selain itu *rate* pendinginan (*quenching*) yang mungkin masih rendah, mengakibatkan t_g yang relatif besar, sehingga mengakibatkan proses *demixing* yang lebih lama dan sempurna.





Gambar IV.4 Penampang *top surface* membran (a) CP4, (b) CPS1-5, (c) CPS2-5, (d) CPS3-5 dan penampang *fracture Surface* (e) CP4, (f) CPS1-5, (g) CPS2-5, (h) CPS3-5



Gambar IV.5 Skema *phase diagram* dengan *thermally induced phase separation* (Ren dkk, 2008).

IV.4 Reverse Osmosis (RO) Test

Tabel IV.1 Perbandingan Performa kinerja membran CP4, CPS1, CPS2, CPS3

Variabel	Fluks permeat ($L.m^{-2}.jam^{-1}$)	Rijeksi Garam (%)	Permeabilitas ($L.m^{-2}.jam^{-1}.bar^{-1}$)
CP4	0.28	26.36	0.05
CPS1-5	1.04	29.87	0.21
CPS2-5	0.57	36.88	0.11
CPS3-5	0.45	27.68	0.09

Tabel IV.2 Performa kinerja membran CPS2

Variabel	Fluks permeat ($L.m^{-2}.jam^{-1}$)	Rijeksi Garam (%)	Permeabilitas ($L.m^{-2}.jam^{-1}.bar^{-1}$)
CPS2-1	0.15	29.87	0.02
CPS2-2	0.16	29.87	0.03
CPS2-3	0.22	34.25	0.04
CPS2-4	0.28	36.88	0.05
CPS2-5	0.56	36.88	0.11

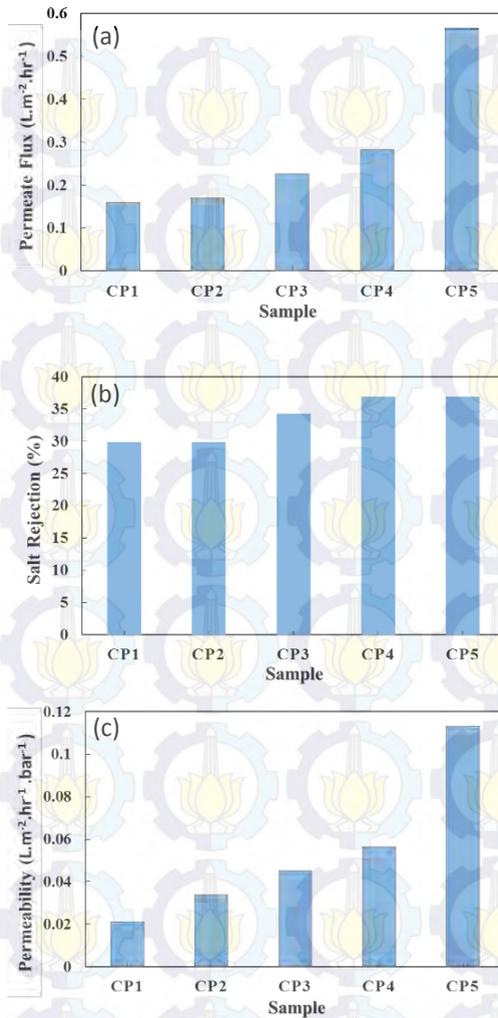
Pengukuran kinerja membran dilihat dari fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas membran. Pada RO test, air umpan yang digunakan adalah air payau sintesis dengan kadar garam 5000 ppm. Air umpan ditekan dengan gas nitrogen pada modul RO dengan tekanan 5 bar yang diamati selama 5 jam. Penggunaan tekanan 5 bar dipilih berdasarkan tekanan osmotik membran terhadap air payau 5000 ppm, yaitu sebesar 3.8 bar.

Dari data hasil eksperimen yang didapat pada **Tabel IV.1** terlihat bahwa perbandingan performa membran CP4, CPS1-5, CPS2-5, dan CPS3-5 menunjukkan fluks permeat dan permeabilitas yang paling besar didapatkan dari membran CPS1-5 yaitu sebesar $1.04 L.m^{-2}.jam^{-1}$, namun memiliki rijeksi garam yang lebih rendah dibandingkan membran CPS2-5 yang memiliki rijeksi garam paling tinggi yaitu sebesar 36.88 %. Sedangkan pada membran CP4 memberikan hasil fluks permeat ($0.28 L.m^{-2}.jam^{-1}$) dan rijeksi

garam (26.36 %) yang paling rendah serta permeabilitas ($0.05 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}.\text{bar}^{-1}$) yang paling rendah. Namun jika dibandingkan dengan performa membran komersil pada **Tabel IV.3**, membran hasil dari sintesis polimer menunjukkan performa membran yang jauh lebih rendah, dimana membran dari *Toyobo 16-in.HB10255* yang tersusun oleh *cellulose tri-acetate* dapat memberikan rijeksi garam sampai 99.6% dan fluks permeat sebesar $67 \text{ m}^3.\text{hari}^{-1}$.

Tabel IV.3 Perbandingan Performa kinerja membrane komersil
(Lee dkk, 2011)

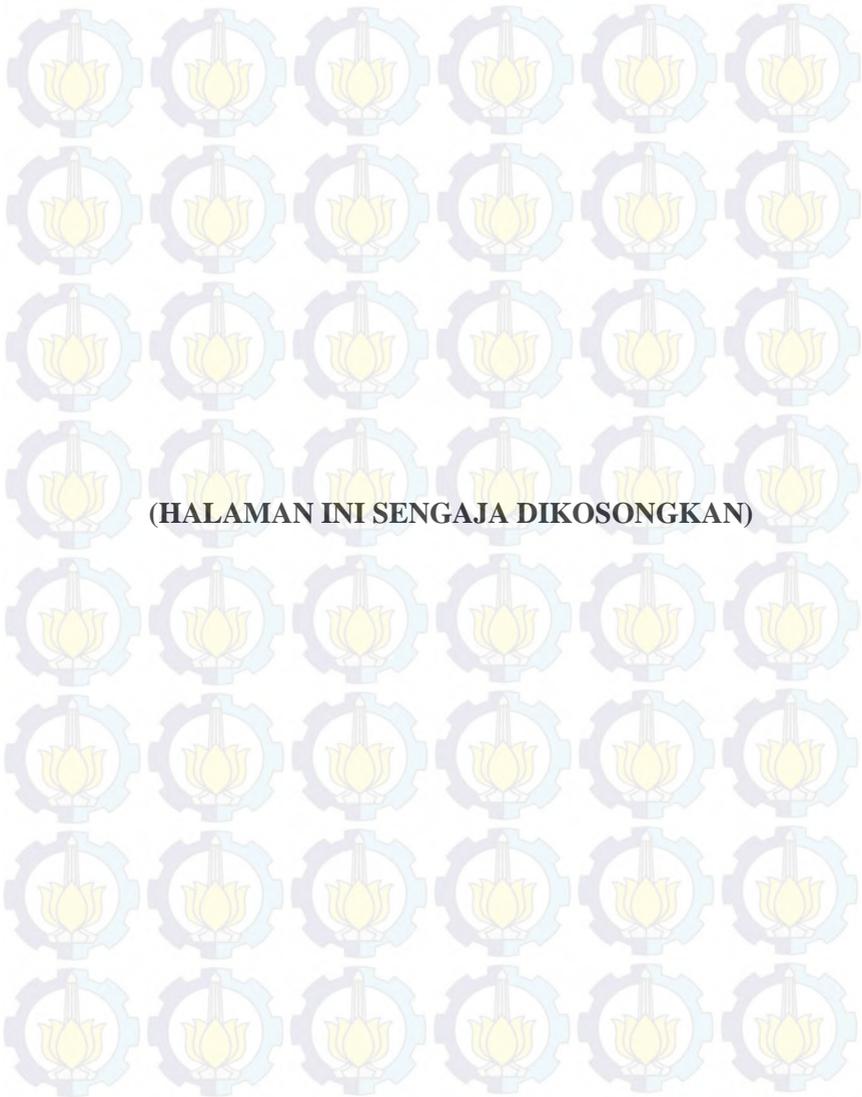
Membran modul Brand	Material & modul	Rijeksi Garam (%)	Fluks Permeat ($\text{m}^3.\text{hari}^{-1}$)
<i>DOWFILMTECTM 8-in. SW30HRLE</i>	<i>TFC cross linked fully aromatic polyamide spiral wound</i>	99.6-99.75	28
<i>Hydranautics 8in. SWC4+</i>	<i>TFC cross linked fully aromatic polyamide spiral wound</i>	99.7-99.8	24.6
<i>Toray 8-in.TM820C</i>	<i>TFC cross linked fully aromatic polyamide spiral wound</i>	99.5-99.75	19.7-24.6
<i>Toyobo 16- in.HB10255</i>	<i>Asymmetric cellulose tri-acetate hollow fibre</i>	99.4-99.6	60-67



Gambar. IV.6 Grafik performa kinerja membran CPS2, (a) Fluks Permeat, (b) Rijeksi Garam, (c) Permeabilitas membran

Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil analisa SEM pada membran CPS1-5 yang memperlihatkan pori yang besar yaitu $2.26 \mu\text{m}$ (pada *top surface*) dan jumlah yang relatif banyak (pada *fracture surface*) sehingga memberikan fluks permeat yang paling besar. Sedangkan pada membran CPS2-5 dengan rijeksi garam yang paling bagus dikarenakan ukuran pori yang lebih kecil dibandingkan CPS1-5 yaitu $0.8321 \mu\text{m}$ (pada *top surface*) yang memberikan pori paling optimal dibandingkan CPS1-5 dan CPS3-5. Sedangkan pada membran CPS3-5 menunjukan fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas yang paling rendah karena jumlah pori yang sedikit dan ukuran rongga pori yang besar seperti yang terlihat pada Gambar IV.4(d) dan (f).

Sedangkan peningkatan konsentrasi penambahan *fumed* silika $0.2 \mu\text{m}$, dimana peningkatan penambahan konsentrasi *fumed* silika dari 1%-5% dibandingkan membran CP4 (membran control), menunjukan peningkatan fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas membran seperti pada **Gambar IV.6(a-c)**. Dimana CPS2-1 menunjukkan fluks permeat terkecil yaitu $0.15 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$, rijeksi garam terkecil yaitu 29.87% dan permeabilitas membran terkecil yaitu $0.02 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}.\text{bar}^{-1}$ dan performa terbaik didapatkan dari CPS2-5 seperti penjelasan sebelumnya. Hal ini sesuai dengan teori dimana penambahan konsentrasi *fumed* silika memberikan peningkatan fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas membran karena interaksi silika terhadap CA/PEG mengganggu interaksi rantai polimer dengan membentuk mikropori *defect* antara partikel anorganik dan *interface* polimer (Adnan dkk, 2014) yang meningkatkan rijeksi garam. Seperti pada penjelasan sebelumnya, analisa FTIR yang menunjukan peningkatan konsentrasi *fumed* silika yang membuat meningkatnya luasan area gugus silanol pada membran yang membuat membran semakin hidrofilik yang memungkinkan peningkatan fluks permeat dan permeabilitas membran.



DAFTAR PUSTAKA

Abdulreza Tabe.M; Juan P. Garcia V.; Hyo J. Kim; Thereza Chan; Vanesa R. *Effects of Polymer Solvents on the Performance of Cellulose Acetate Membranes in Methanol/Methyl Tertiary Butyl Ether Separation.* **2001**

Adnan Ahmad; Sidra Waheed ; Shahzad Maqsood Khan; Sabad e-Gul; Muhammad Shafiq; Muhammad Farooq; Khairuddin Sanaullah; Tahir Jamil. *Effect of silica on the properties of cellulose acetate/polyethylene glycol membranes for reverse osmosis*, Desalination 355 , **2014**, 1–10.

Amy E. Childress; Jonathan A. Brant; Pawel Rempala; Donald W. Phipps Jr.; Pierre Kwan. *Evaluation of Membrane Characterization Methods*, Water Research Fondation. **2012**.

Andre´ Ayrat; Anne Julbe; Vincent Rouessac; Ste´phanie Roualdes; Jean Durand. *Microporous Silica Membrane: Basic Principles and Recent Advances*, Membrane Science and Technology Volume 13, **2008**.

Aneela Sabir ; Atif Islam ; Muhammad Shafiq ; Amir Shafeeq; Muhammad Taqi Zahid Butt ; Nasir M. Ahmad ; Khairuddin Sanaullah ; Tahir Jamil. *Novel polymer matrix composite membrane doped with fumed silica particles for reverse osmosis desalination* , Desalination, **2014**.

Boor Singh Lalia; Victor Kochkodan; Raed Hashaikeh; Nidal Hilal. *A review on membrane fabrication: Structure, properties, adn performance relationship*, Journal of desalination, **2013**.

Boussu, K., J. D. Baerdemaeker, C. Dauwe, M. Weber, K. G. Lynn, D. Depla, S. Aldea, I. F. J. Vankelecom, C. Vandecasteele and B. Van der Bruggen, *ChemPhysChem* **2007**, 8 (3), 370 - 379.

Boussu K.; B. Van der Bruggen; C. Vandecasteele. *Evaluation of self-made nanoporous polyethersulfone membranes, relative to commercial nanofiltration membranes*, Desalination 200,**2006**, 416–418.

Chou, W. L ; Yu, D. G; Chien, M; Yang, C. H. J. *Effect of molecular weight and concentration of PEG additives on morphology and permeation performance of cellulose acetate* , Sciencedirect Separation and Purification Technology, **2007**.

Hsu-Hsien Chang; Konstantinos G. Beltsios; Hsuan-Fu Yu, Yu-Hsuan Wu; Liao-Ping Cheng. *Novel phase inversion process for symmetric membrane formation through thermal quenching of polymer solution in same solvent*. Journal Applied Polymer Science, **2015**.

Dietrich Fengel; Gerd Wegener. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions* **1984**, 613pp

Dongmei Li a; William B. Krantz ; Alan R. Greenberg; Robert L. Sani. *Membrane formation via thermally induced phase separation (TIPS): Model development and validation*, Journal of Membrane Science 279, **2005**, 50–60

Ehsan Saljoughi; Mohtada Sadrzadeh; Toraj Mohammadi. *Effect of preparation variables on morphology and pure water permeation flux through asymmetric cellulose acetate membranes*, Journal of Membrane Science, **2008**.

Fane, AG; Tang, CY; Wang, R. *Membrane Technology for Water: Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, and Reverse Osmosis*, Nanyang Technological University, **2011**.

I. Pinnau; B.D. Freeman. *Formation and modification of polymeric membranes: overview*, Membr. Form. Modif. 744, **2000**, 1–22.

Kew-Ho Lee;Jeong-Hoon Kim. *Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion*, Journal of Membrane Science 138 ,**1997**,153-163.

M.A. Ashraf a; M.J. Maah a; A.K. Qureshi a; M. Gharibreza b & I. Yusoff .*Synthetic polymer composite membrane for the desalination of saline water*, Desalination and Water Treatment, **2013**.

Mulder, M. *Basic Principles of Membrane Technology 2nd ed.* Kluwer Academic Publishers: **1996**.

Müller, R. H. and W. Mehnert. *Particle and surface characterisation methods*. Medpharm Scientific Publishers: Stuttgart, **1997**.

Nugro Raharjo, P. *Masalah Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Tiga Desa di Kabupaten Ende JAI Vol.4*, **2008**.

Rajindar Singh. *MEMBRANE TECHNOLOGY AND ENGINEERING FORM WATER PURIFICATION*, Application Systems Design and Operation 2^{ed}, **2015**.

P. Radovanovic;S.W. Thiel; S.T. Hwang.*Formation of asymmetric polysulfone membranes by immersion precipitation* , Modeling mass-transport during gelation, J. Membr. Sci. 65, **1992**, 213–229

Shaheen Fatima Anis; Boor Singh Lalia; Raed Hashaikeh.*Controlling swelling behavior of poly (vinyl) alcohol via networked cellulose and its application as a reverse osmosis membrane*, Desalination, **2014**.

Salazar, Ana Catalina Duque. *Development of Silica Containing Materials for the Adsorption of Organic Compounds*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Ingeniería Química Manizales, Colombia, **2011**.

Ren. J ; Rong W. Preparation of Polymeric Membranes,**2008**.

R.F. Silva; M. De Francesco; A. Pozio. *Solution-cast Nafion® ionomer membranes:preparation and characterization*, Electrochim. Acta 49 ,**2004** ,3211–3219.

R.W. Baker. *Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, England, **2004**.

Tilak Gullinkala; Brett Digman; Colleen Gorey; Richard Hausman; Isabel C. Escobar. *Desalination: Reverse Osmosis and Membrane Distillation*, Sustainability Science and Engineering Vol. 2, **2010**.

W.Y. Chuang; T.H. Young, W.Y. Chiu; C.Y. Lin. *The effect of polymeric additives on the structure and permeability of poly(vinyl alcohol) asymmetric membranes*, Polymer 41, **2000**, 5633–5641.

http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_glycol, 15/01/2015, (21:35)

http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html, 14/06/2015, (19:05)

http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html, 18/06/2015, (20:08)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

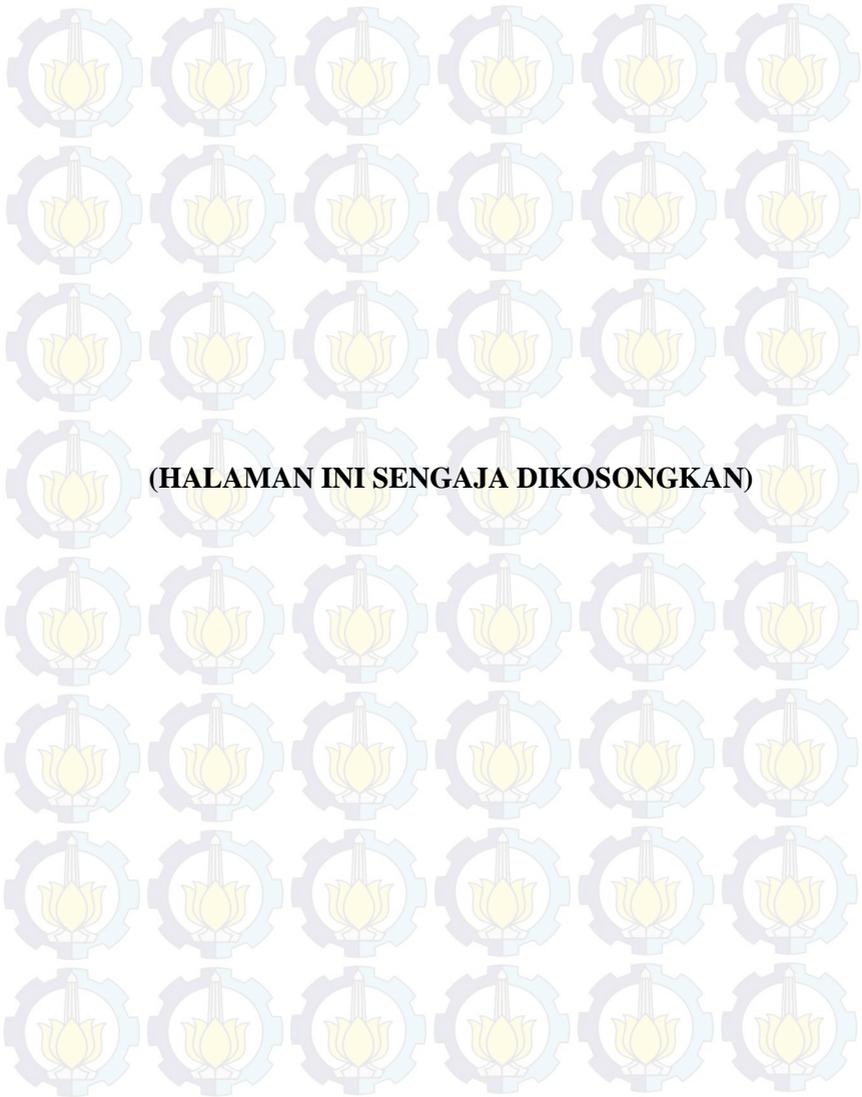
Dari hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin meningkat komposisi CA dan menurunnya komposisi PEG di dalam polimer membran membuat membran semakin *dense* dan hidrofilisitas yang semakin menurun.
2. Hidrofilisitas membran, fluks permeat, dan permeabilitas semakin meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel silika dan semakin besarnya konsentrasi silika yang ditambahkan ke membran CA/PEG. Dan rijeksi garam yang paling optimal ditunjukkan oleh penambahan ukuran silika 0.2 μm .
3. Membran yang paling optimal untuk proses desalinasi adalah pada komposisi CA/PEG 80/20 dengan penambahan silika 0.2 μm sebesar 5% dengan fluks permeat sebesar 0.56 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jam}^{-1}$, rijeksi garam sebesar 36,88%, dan permeabilitas sebesar 0.11 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jam}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$

V.2. Saran

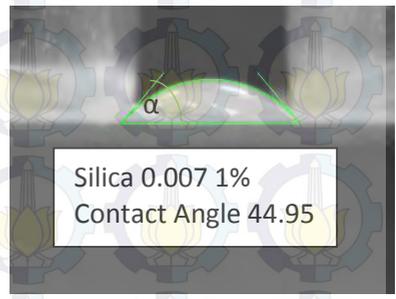
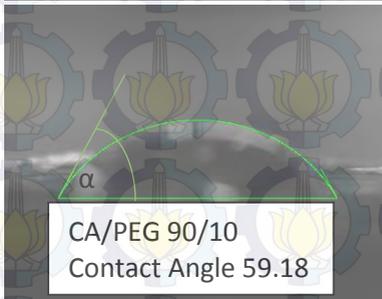
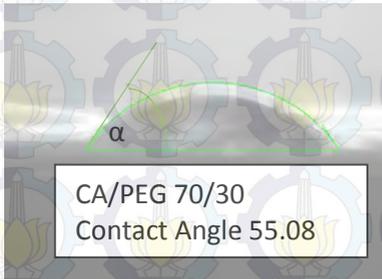
Dari hasil percobaan maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

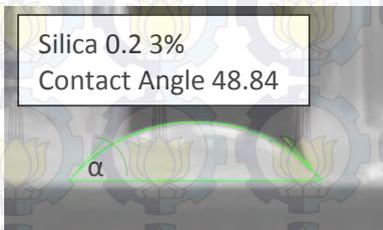
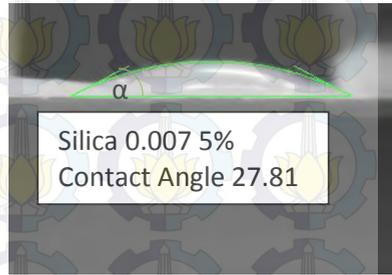
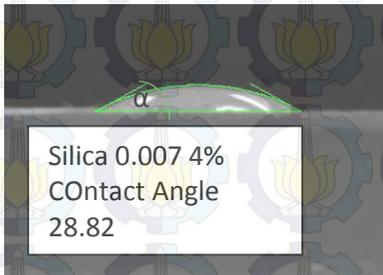
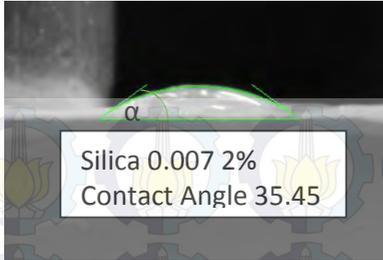
1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap range ukuran partikel silika gel yang dapat memberikan performa membran yang lebih baik dibandingkan dengan fumed silika.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap polimer/solven (w/v) untuk mendapatkan pori yang dapat mendukung optimalisasi kinerja membran.

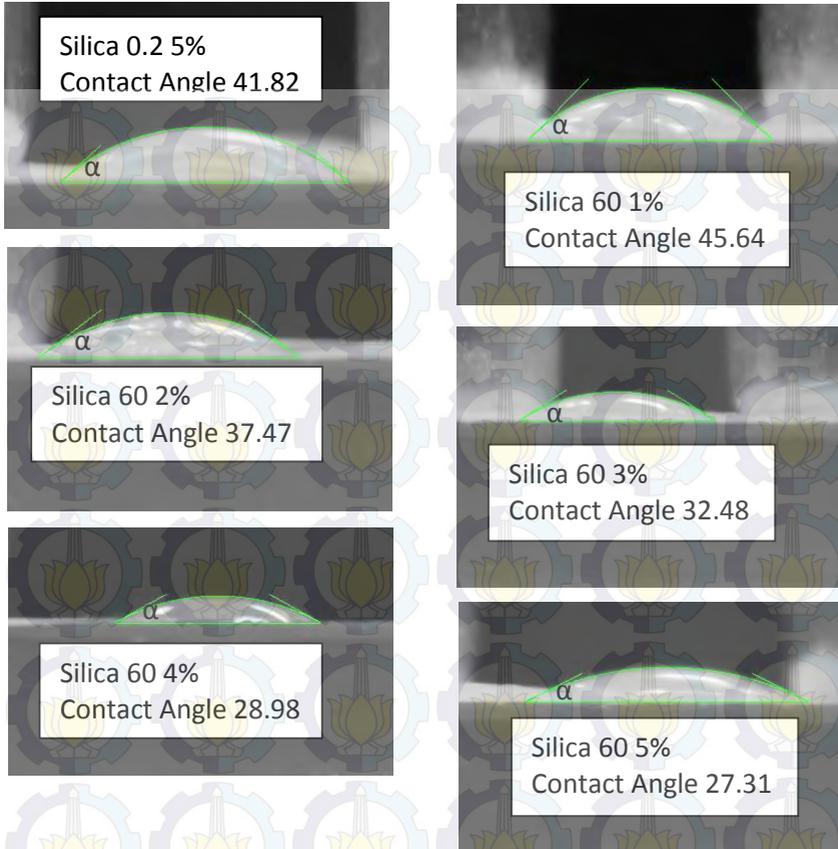


APPENDIKS A HASIL PERCOBAAN

A.1. Hasil Sudut Kontak



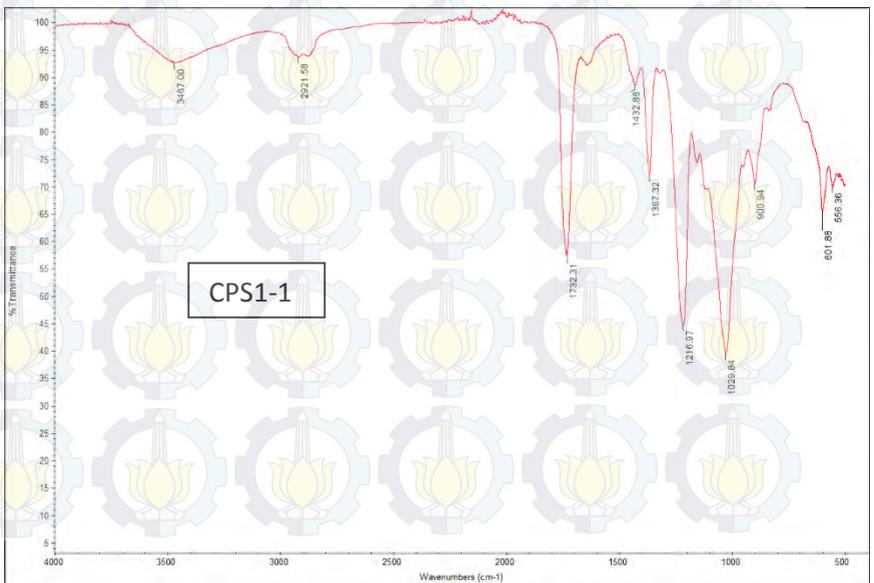
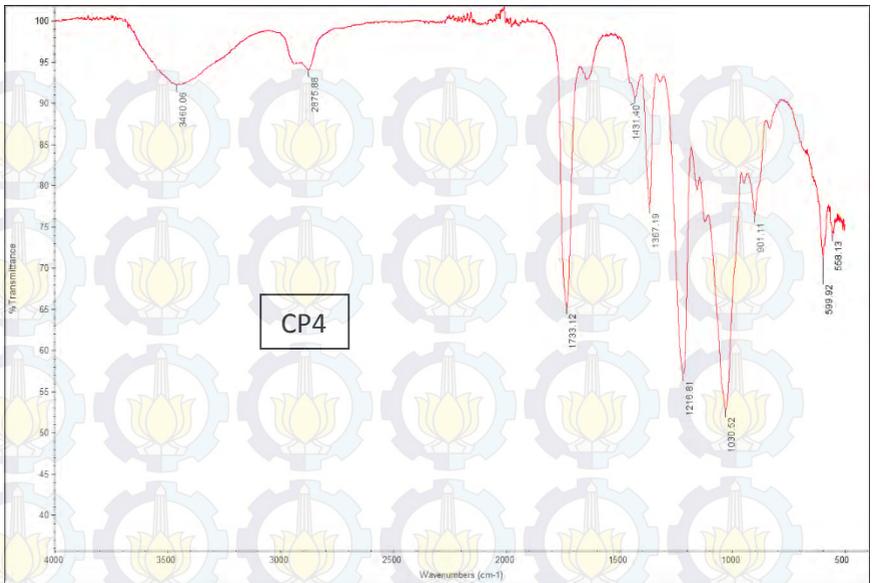


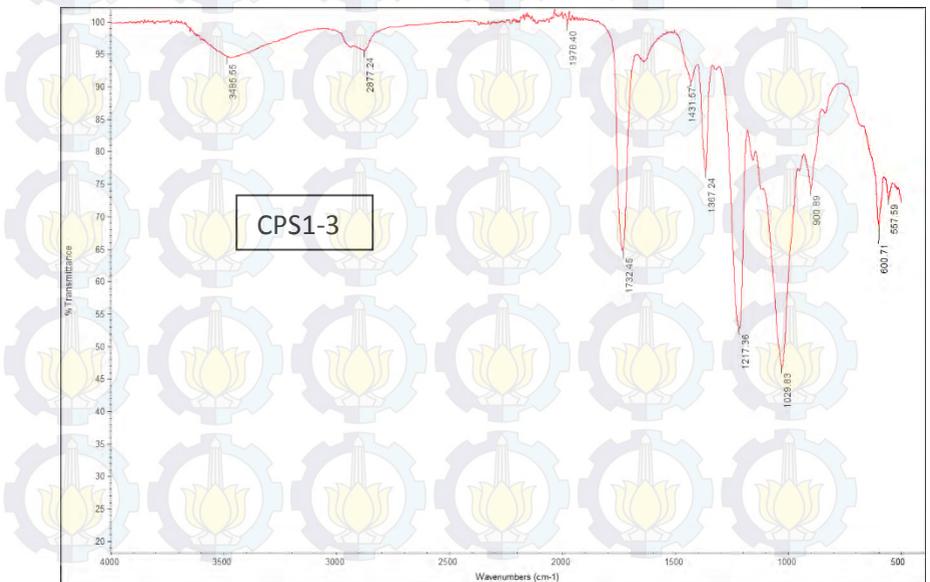
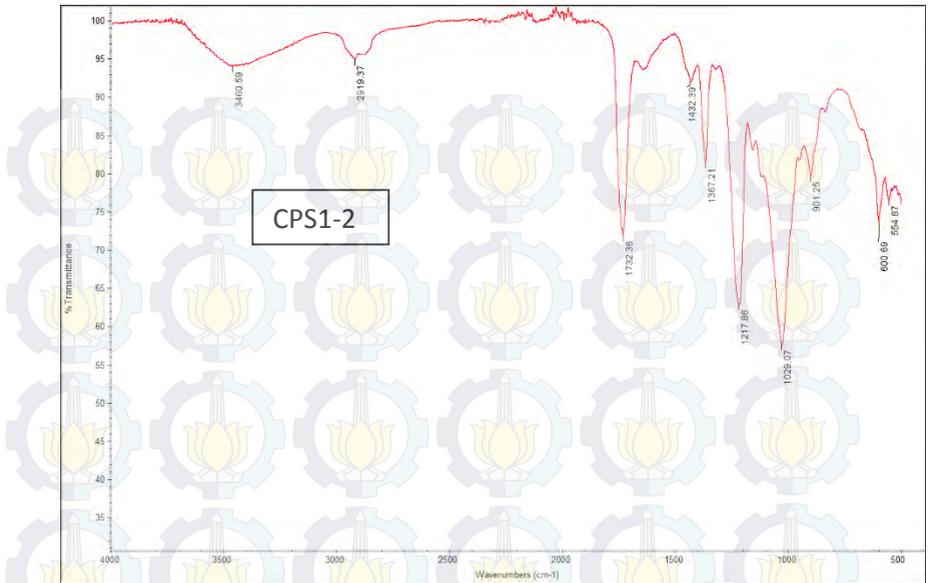


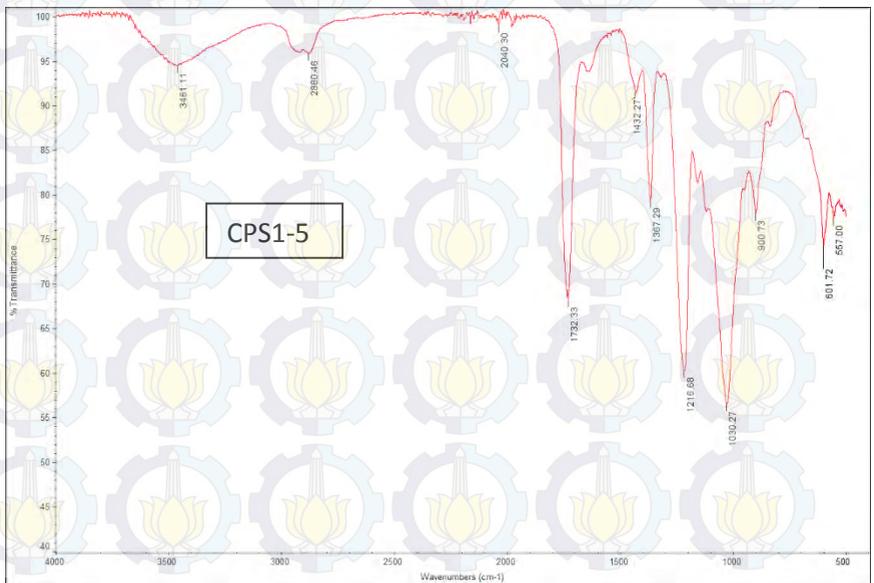
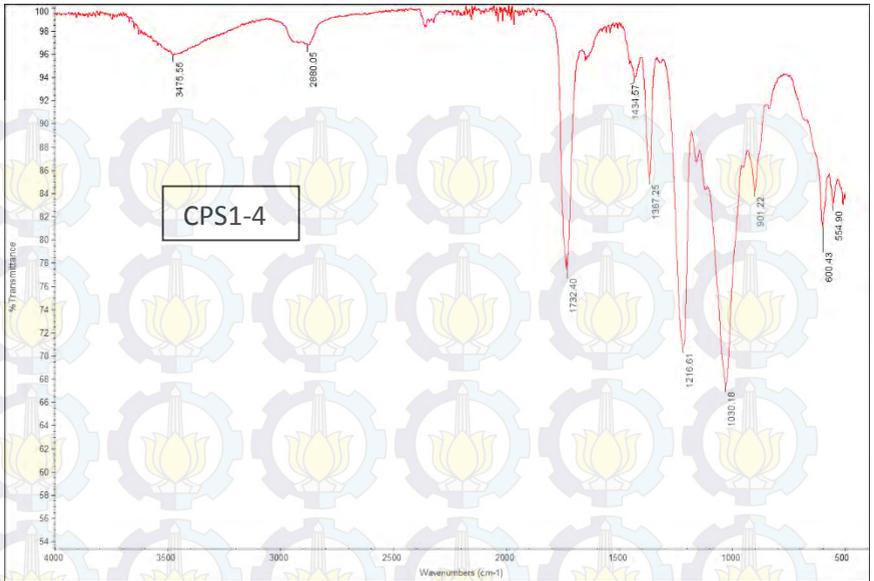
Tabel A.1 Hasil analisa sudut kontak membran

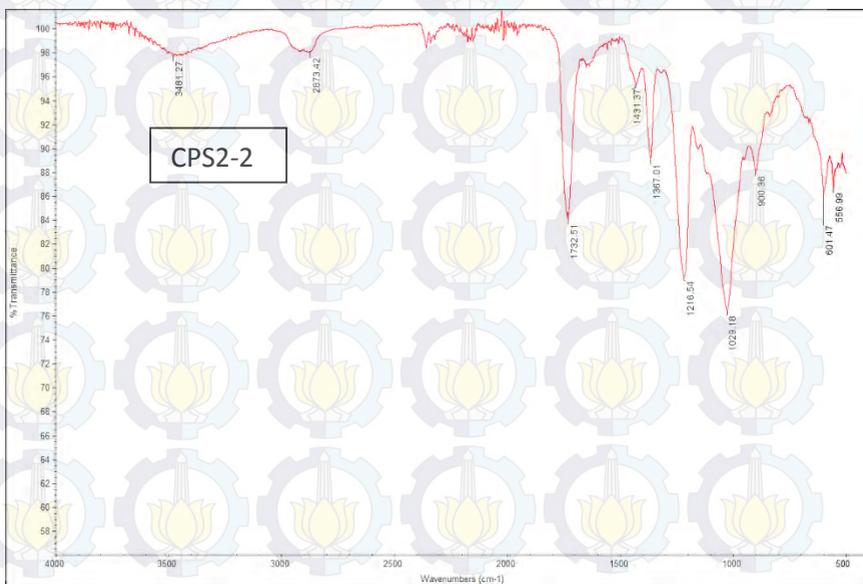
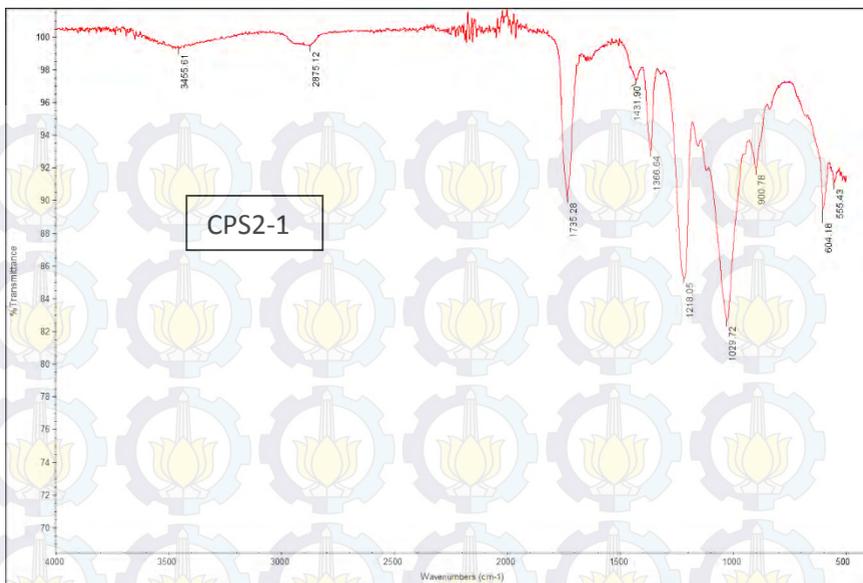
Variabel	Sudut Kontak (°)						
CP1	46.82	CPS1-1	52.56	CPS2-1	44.95	CPS3-1	45.64
CP2	50.17	CPS1-2	51.36	CPS2-2	35.45	CPS3-2	37.47
CP3	55.08	CPS1-3	48.84	CPS2-3	31.77	CPS3-3	32.48
CP4	56.74	CPS1-4	46.25	CPS2-4	28.82	CPS3-4	28.98
CP5	59.18	CPS1-5	41.85	CPS2-5	27.81	CPS3-5	27.31

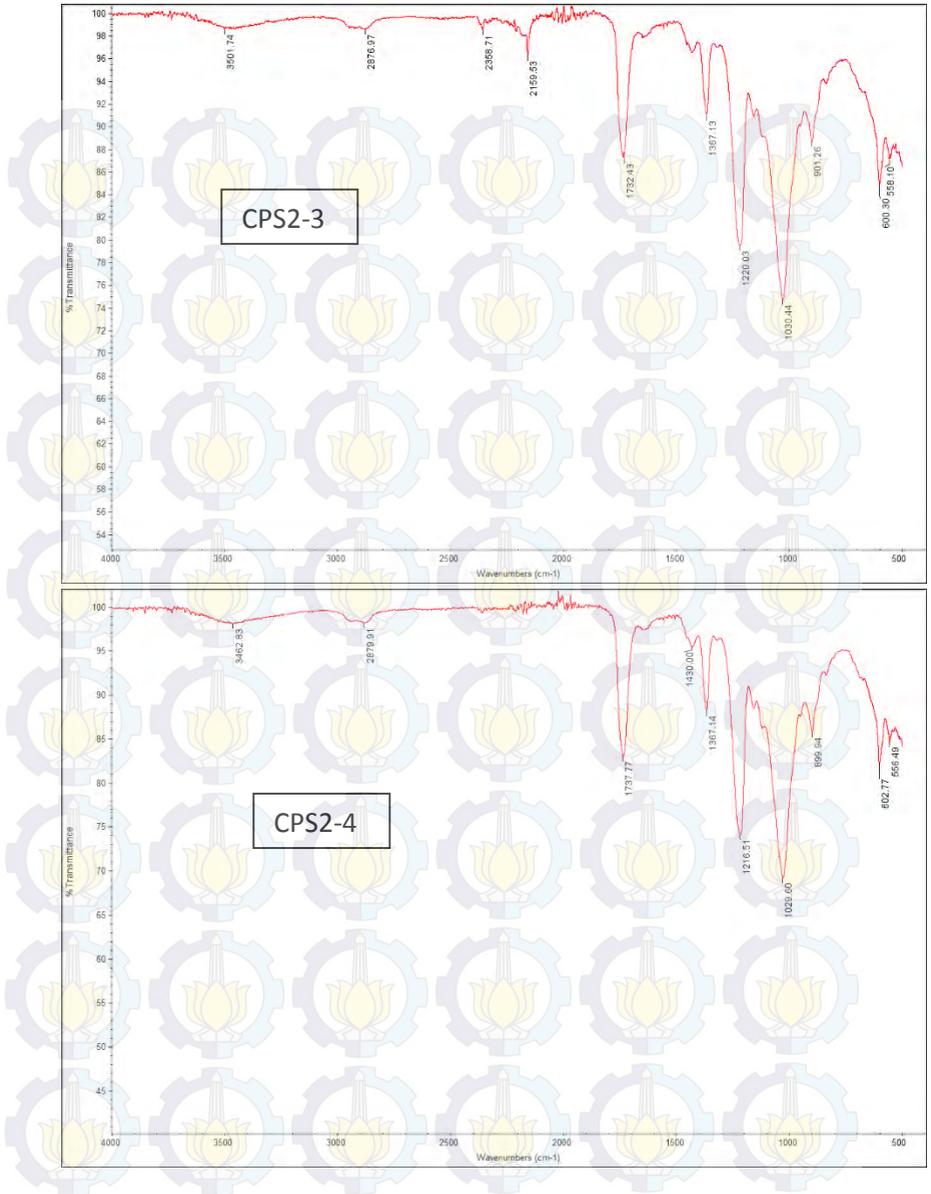
A.2. Hasil FTIR

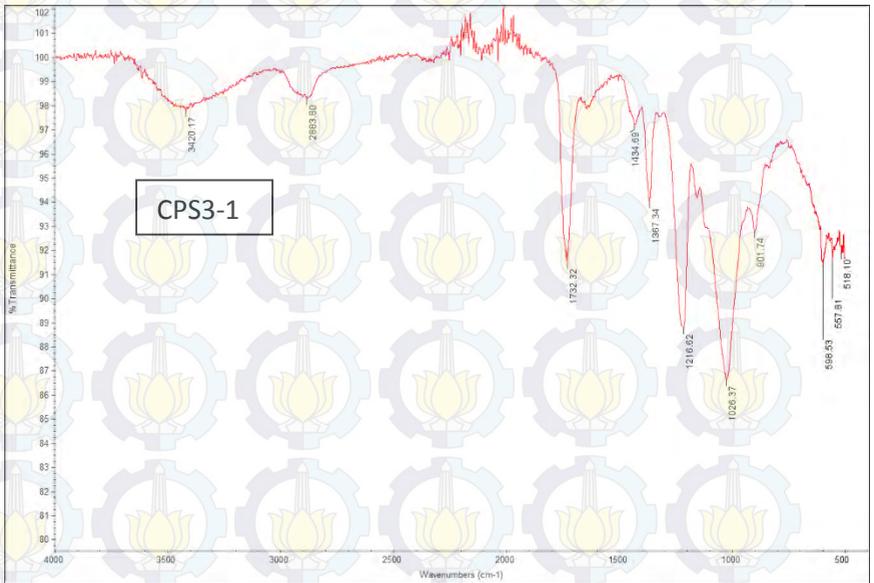
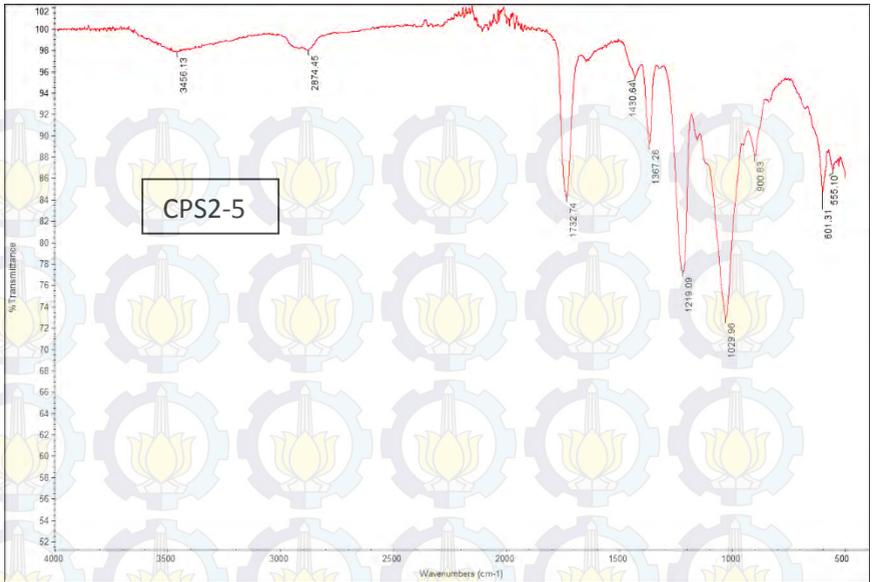


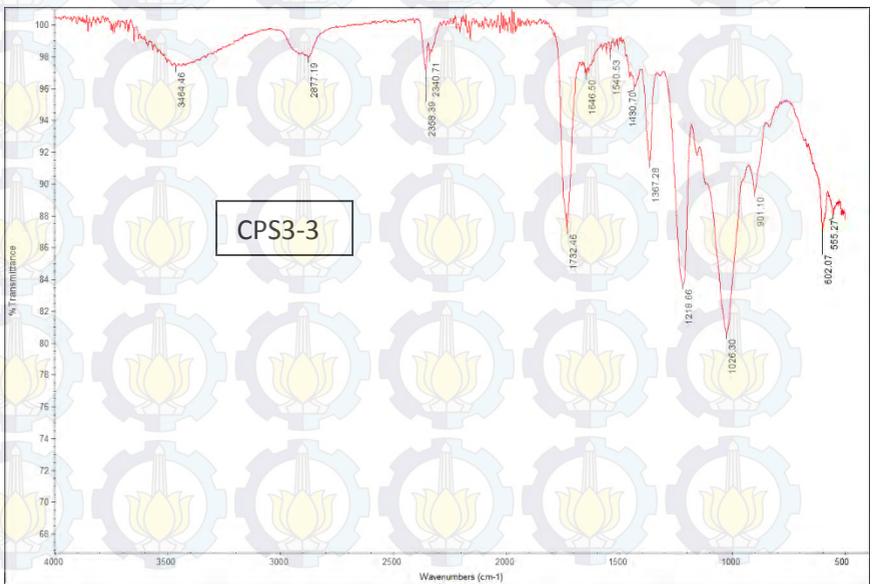
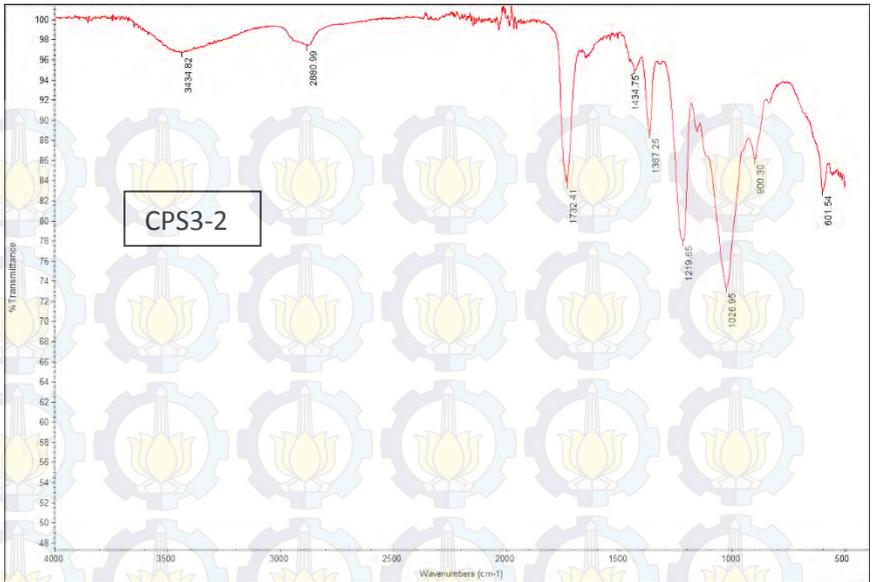


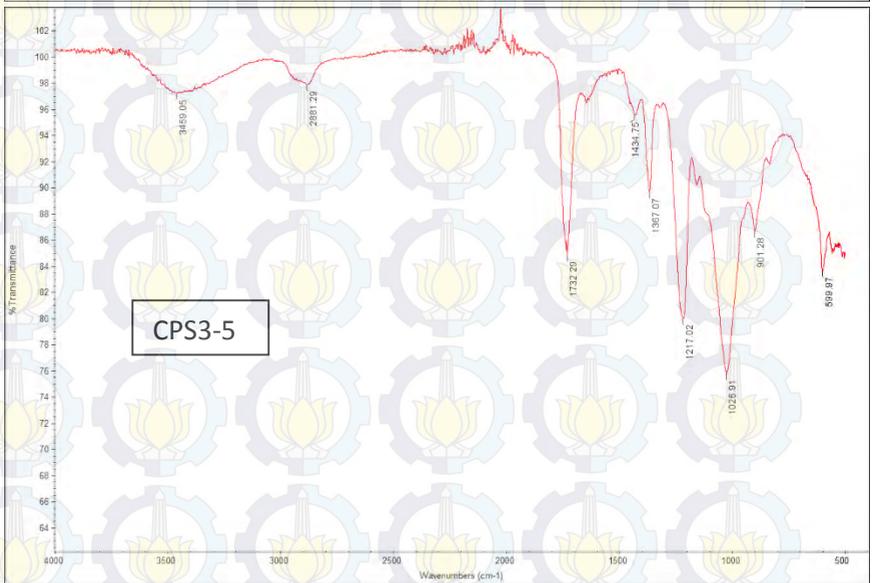
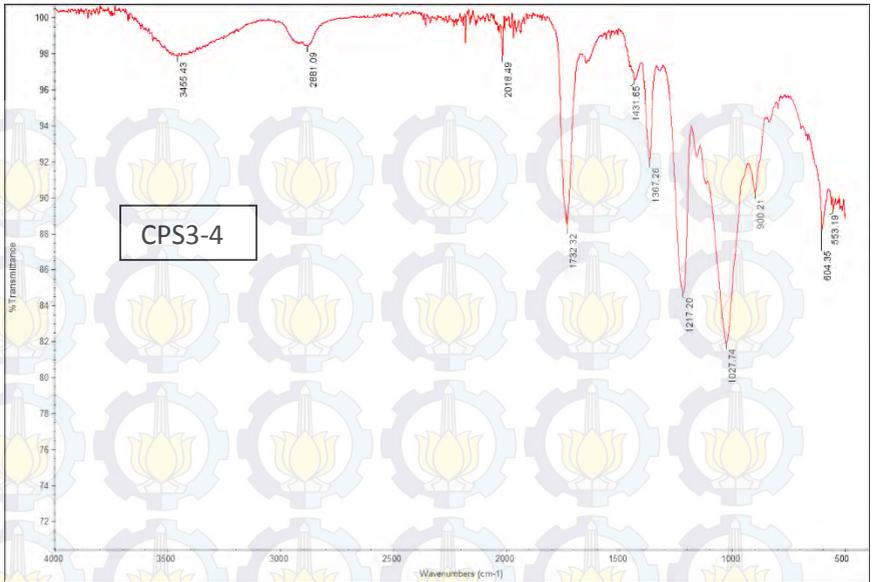




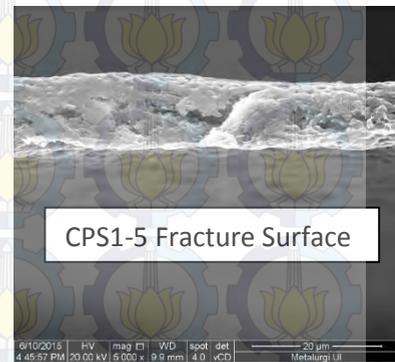
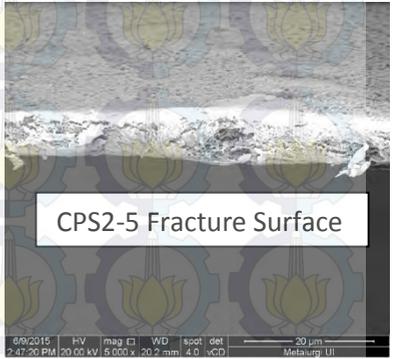
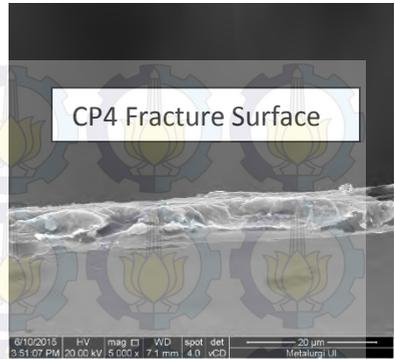
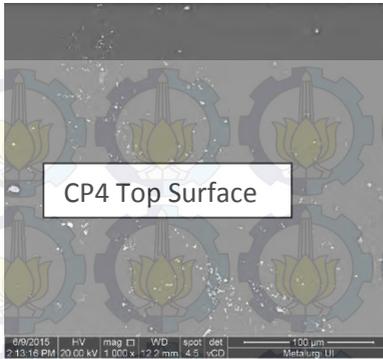


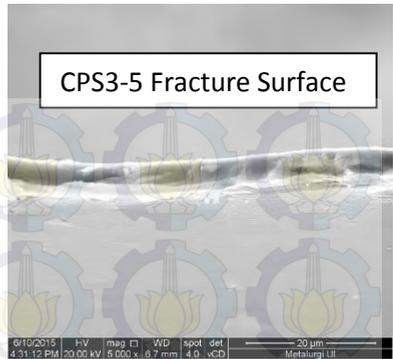
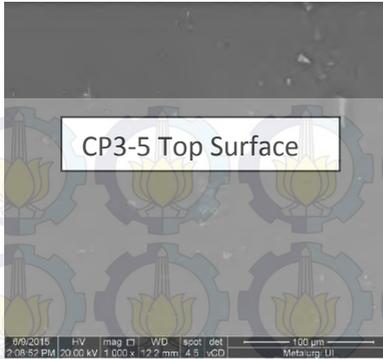






A.3. Hasil SEM





A.4. Hasil *Reverse Osmosis*

Tabel A.2 Hasil uji *reverse osmosis*

Variabel	Tekanan (bar)	Diameter membrane (cm)	Luas membrane (m ²)
CP1	5	2.7	5.72
CP2	5	2.7	5.72
CP3	5	2.7	5.72
CP4	5	2.7	5.72
CP4	5	2.7	5.72
CPS1-5	5	3	7.06
CPS2-1	5	3	7.06
CPS2-2	5	3	7.06
CPS2-3	5	3	7.06
CPS2-5	5	3	7.06
CPS2-5	5	3	7.06
CPS3-5	5	3	7.06

Variabel	Permeat (ml)	Waktu (jam)	Volume Titran (ml)	TDS Awal (ppm)
CP1	-	5	-	5000
CP2	-	5	-	5000
CP3	-	5	-	5000
CP4	1	5	0.7	5000
CP5	-	5	-	5000
CPS1-5	3	5	2	5000
CPS2-1	1.8	16	1.2	5000
CPS2-2	0.6	5	0.4	5000
CPS2-3	0.8	5	0.5	5000
CPS2-4	2	5	1.5	5000
CPS2-5	2	5	1.2	5000
CPS3-5	1.6	5	1.1	5000

APPENDIKS B

METODE ANALISA

B.1. Metode analisa kadar garam

Metode analisa garam yang digunakan pada percobaan ini adalah titrasi pengendapan. Adapun langkahnya sebagai berikut :

- Ukur 3 ml permeal yang didapatkan dari uji RO
- Teteskan 5 tetes larutan K_2CrO_4
- Menitrasi permeal yang telah ditambahkan K_2CrO_4 menggunakan larutan $AgNO_3$ 0.09 M hingga terbentuk endapan berwarna merah bata
- Hitung jumlah larutan $AgNO_3$ yang terpakai. Lalu hitung kadar garam dengan rumus sebagai berikut

$$n AgNO_3 = V AgNO_3 \times M AgNO_3$$

$$n NaCl = n AgNO_3$$

$$m NaCl = n NaCl \times BM NaCl$$

$$\text{Kadar garam} = m NaCl / V \text{ permeal} \times 1000$$

Keterangan : $n AgNO_3$ = mol $AgNO_3$ (mmol)

$V AgNO_3$ = volume $AgNO_3$ (ml)

$M AgNO_3$ = molaritas $AgNO_3$ (molar)

$n NaCl$ = mol $NaCl$ (mmol)

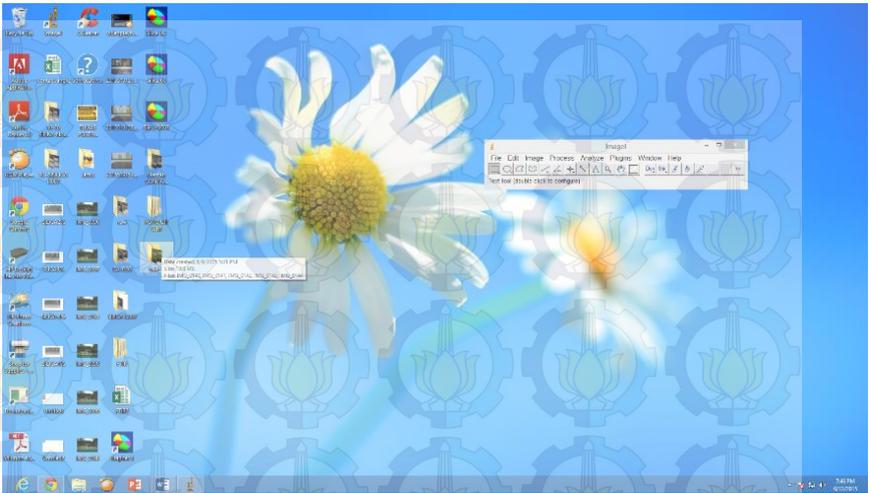
$BM NaCl$ = berat molekul $NaCl$ (g/mol)

$V \text{ permeal}$ = volume permeal (ml)

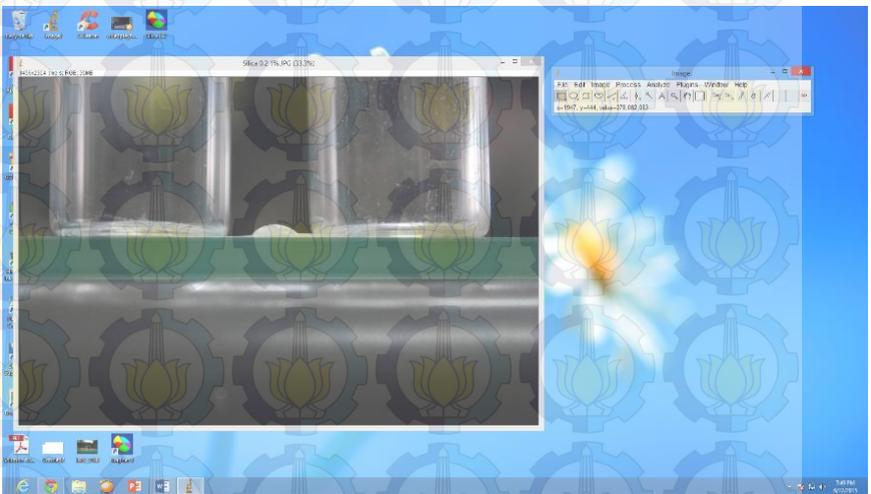
B.2. Metode Analisa Sudut Kontak

Metode analisa sudut kontak yang digunakan menggunakan program *ImageJ* dengan metode *Drop Analysis LB-ADSA*. Langkah-langkahnya sebagai berikut

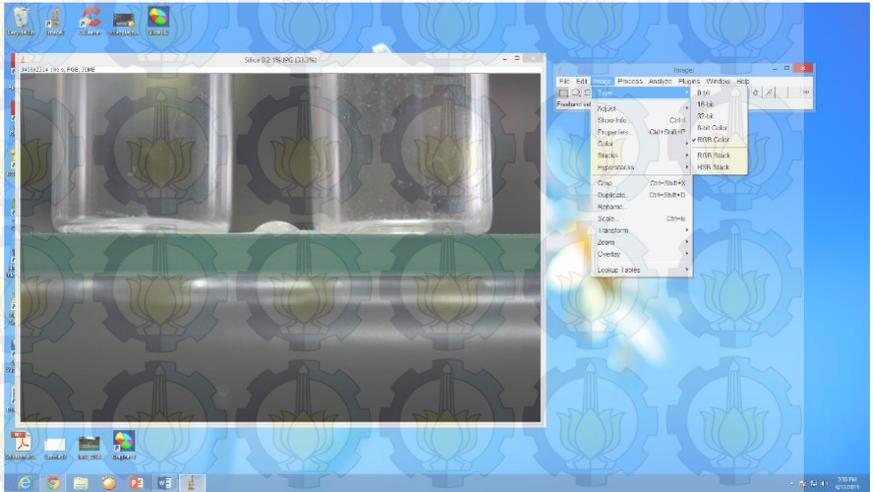
- Membuka software *ImageJ*



- Membuka gambar yang ingin dianalisa



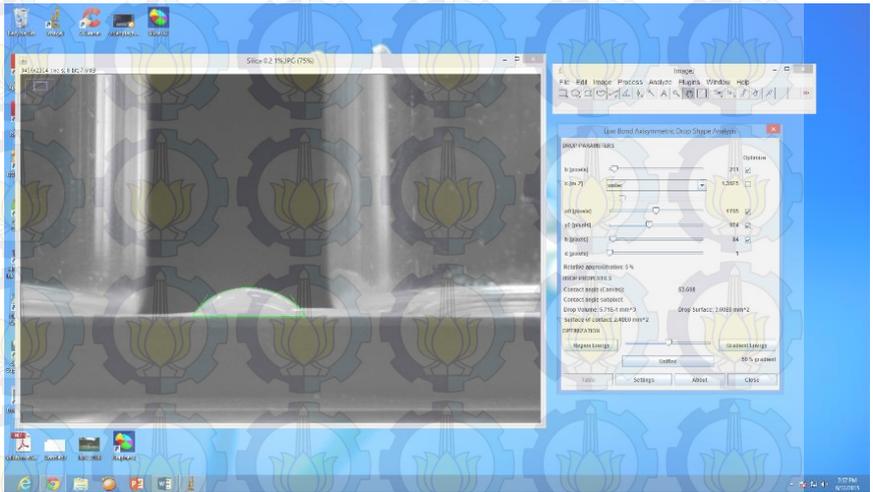
- Pada task bar Image pilih type lalu pilih 8 bit untuk mengubah gambar menjadi dalam bentuk grayscale agar dapat dianalisa



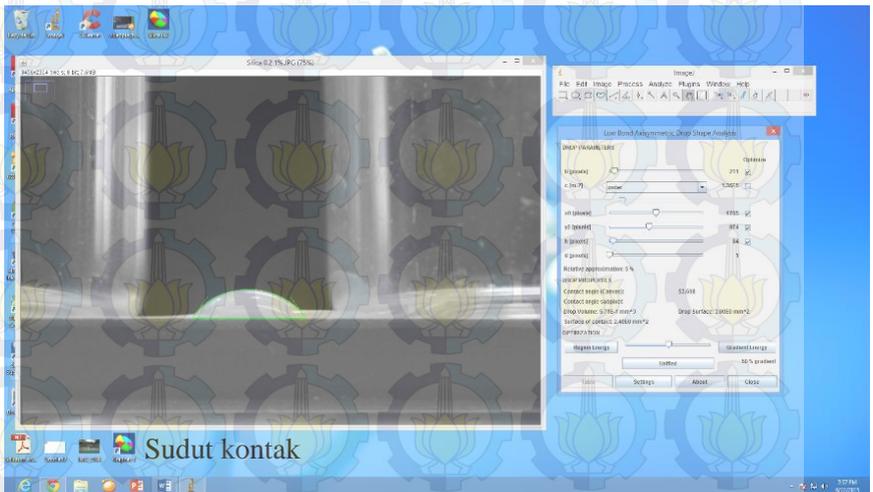
- Setelah pada task bar plugin pilih drop analysis lalu pilih Drop Analysis LB-ADSA

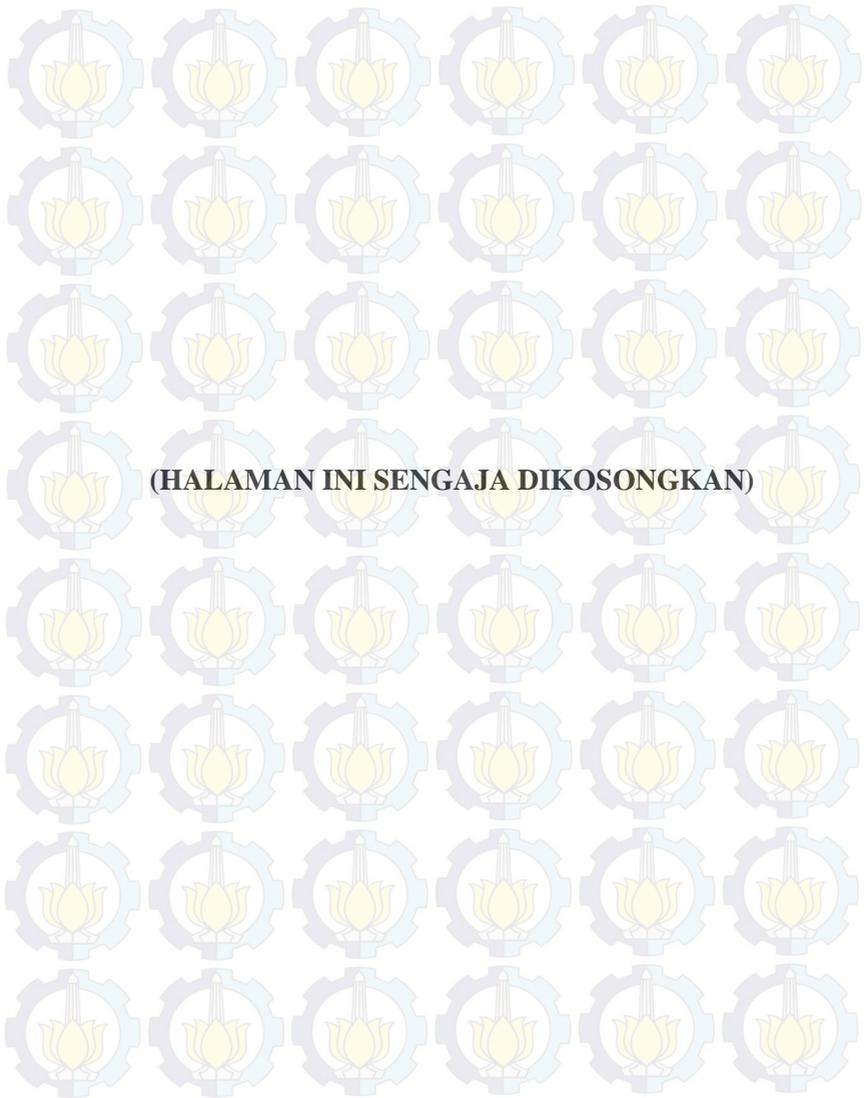


- Kemudian atur sedemikian rupa hingga lingkaran hijau pas pada tetesan air seperti ini



- Pada bagian bawah window analysis kemudian baca sudut kontak yang terhitung





APPENDIKS C CARA PERHITUNGAN

C.1. Perhitungan kadar air garam sintesis

Untuk pembuatan air garam dengan kadar 5000 ppm langkah-langkahnya sebagai berikut:

Contoh perhitungan kadar air garam

Kadar garam = 5000 ppm = 5000 mg/L, jadi di dalam 1 L air ada 5000 mg garam (NaCl) yang terlarut, sehingga untuk membuat misalkan 20 L air garam dengan kadar 5000 ppm dibutuhkan garam sebanyak :

$$m \text{ NaCl} = V \text{ air} \times \text{kadar garam}$$

$$m \text{ NaCl} = 20 \text{ L} \times 5000 \text{ mg/L}$$

$$m \text{ NaCl} = 100000 \text{ mg} = 100 \text{ g}$$

Keterangan : m NaCl = massa NaCl

V air = volume air

C.2. Perhitungan komposisi CA/PEG

Contoh perhitungan komposisi CA/PEG 50/50

Pada percobaan ini digunakan konsentrasi polimer 15% w/v (Volume aseton sebanyak 17 ml)

$$m \text{ CA+PEG} = V \text{ aseton} \times 15\%$$

$$m \text{ CA+PEG} = 17 \text{ ml} \times 15\% = 2.5 \text{ g}$$

Komposisi yang digunakan 50/50

$$m \text{ CA} = 0.5 \times m \text{ CA+PEG}$$

$$m \text{ CA} = 0.5 \times 2.5 \text{ g} = 1.25 \text{ g}$$

$$m \text{ PEG} = m \text{ CA+PEG} - m \text{ CA}$$

$$m \text{ PEG} = 2.5 \text{ g} - 1.25 \text{ g} = 1.25 \text{ g}$$

Keterangan : m CA = massa CA

m PEG = massa PEG

V pelarut = volume pelarut

Tabel C.1 Massa CA dan PEG berbagai komposisi

Variabel CA/PEG	Massa CA (gram)	Massa PEG (gram)
CP1	1.25	1.25
CP2	1.50	1.00
CP3	1.75	0.75
CP4	2.00	0.50
CP5	2.25	0.25

C.3. Perhitungan konsentrasi silika

Contoh perhitungan konsentrasi silika 0.007 1% w/v NaOH
 Pada percobaan ini jumlah NaOH yang digunakan sebesar 15%
 v/v aseton

$$V \text{ NaOH} = 0.15 \times V \text{ aseton}$$

$$V \text{ NaOH} = 0.15 \times 17 \text{ ml} = 2.5 \text{ ml}$$

$$m \text{ silika} = 0.01 \times V \text{ NaOH}$$

$$m \text{ silika} = 0.01 \times 2.5 \text{ ml} = 0.025 \text{ g}$$

Keterangan : V NaOH = volume NaOH

V aseton = volume aseton

m silika = massa silika

Tabel C.2 Massa silika 0.007 μm , 0.2 μm , dan 60 μm berbagai konsentrasi

Silika $D_{\text{silika}}=0.007 \mu\text{m}$		Silika $D_{\text{silika}}=0.2 \mu\text{m}$		Silika $D_{\text{silika}}=60 \mu\text{m}$	
Variabel % silika	Massa (gram)	Variabel % silika	Massa (gram)	Variabel % silika	Massa (gram)
1%	0.025	1%	0.025	1%	0.025
2%	0.050	2%	0.050	2%	0.050
3%	0.075	3%	0.075	3%	0.075
4%	0.100	4%	0.100	4%	0.100
5%	0.125	5%	0.125	5%	0.125

C.4. Perhitungan Fluks Permeat

Contoh perhitungan fluks permeat membran CPS1-5

$$J = \frac{Q}{A \times t}$$
$$= 3 \text{ ml} / [(3.14 \times 0.25 \times 2.7^2) \text{ cm}^2 \times 5 \text{ jam}]$$
$$= 0.1048 \text{ ml.cm}^{-2}.\text{jam}^{-1} = 1.048 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$$

(Data dari appendiks A)

Keterangan: J = Fluks permeat ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)

Q = Jumlah permeat (L)

A = Luas membran (m^2)

t = waktu (jam)

Tabel C.3 Hasil fluks permeat

Variabel	Fluks ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)
CA/PEG	
CP1	-
CP2	-
CP3	-
CP4	0.28
CP5	-
CPS1-5	1.04
CPS2-1	0.15
CPS2-2	0.16
CPS2-3	0.22
CPS2-4	0.57
CPS2-5	0.57
CPS3-5	0.45

C.5. Perhitungan Rijeksi Garam

Contoh perhitungan rijeksi garam membran CPS1-5

$$R = \left[1 - \frac{Cp}{Cf} \right] \times 100\%$$
$$= [1 - 3506.4\text{ppm}/5000\text{ppm}] \times 100\% = 28.87\%$$

(Data dari appendiks A)

Keterangan : R = Rijeksi garam (%)

Cp = kadar garam pada permeat (ppm)

Cf = kadar garam pada *feed* (ppm)

Tabel C.4 Hasil rijeksi garam

Variabel CA/PEG	Rijeksi Garam (%)
CP1	-
CP2	-
CP3	-
CP4	26.36
CP5	-
CPS1-5	29.87
CPS2-1	29.87
CPS2-2	29.87
CPS2-3	34.22
CPS2-4	21.10
CPS2-5	36.88
CPS3-5	27.68

C.6. Permeabilitas Membran

Contoh perhitungan permeabilitas membran CPS1-5

$$Pm = \frac{J}{\Delta P}$$
$$= 1.048 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1} / 5 \text{ bar}$$

(Data dari appendiks A)

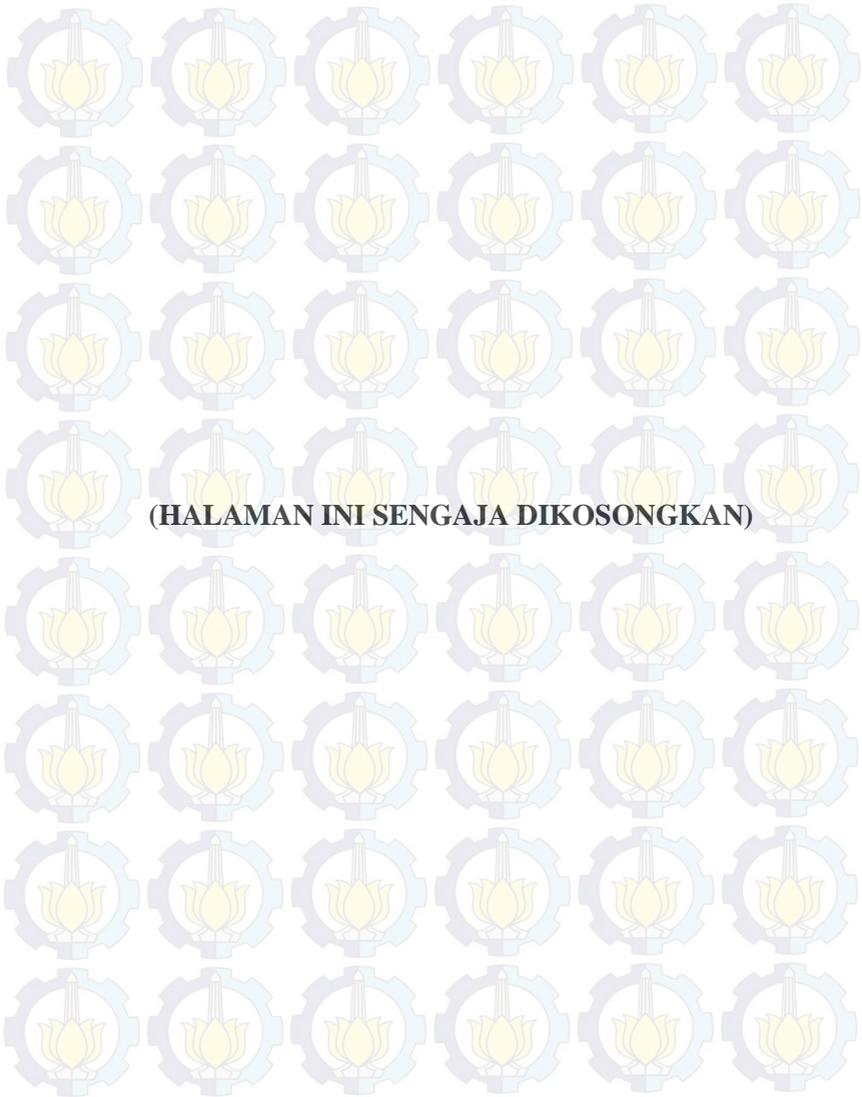
Keterangan : Pm = permeabilitas membran (L.m⁻².jam⁻¹.bar⁻¹)

ΔP = perbedaan tekanan (bar)

Tabel C.5 Hasil permeabilitas membran

Variabel CA/PEG **Permeabilitas ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1} \cdot bar^{-1}$)**

CP1	-
CP2	-
CP3	-
CP4	0.05
CP5	-
CPS1-5	0.21
CPS2-1	0.02
CPS2-2	0.03
CPS2-3	0.04
CPS2-4	0.11
CPS2-5	0.11
CPS3-5	0.09





FINAL PROJECT – TK141581

**SYNTHESIS POLYMER MEMBRANE OF
CELLULOSE ACETATE AND POLYETHYLENE
GLYCOL WITH NANOPARTICLE SILICA AS
ADDITIVE TO REVERSE OSMOSIS**

By:

I Made Pendi Adi Merta

NRP. 2311100033

Deffry Danius Dwi Putra

NRP. 2311100088

Advisor 1:

Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D

NIP. 1984 05 08 2009 12 2004

Advisor 2:

Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS POLIMER MEMBRAN SELULOSA ASETAT DAN POLIETILEN GLIKOL DENGAN NANOPARTIKEL SILIKA SEBAGAI BAHAN ADITIF UNTUK *REVERSE OSMOSIS*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

I Made Pendi Adi Merta

2311100033

Deffry Danius Dwi Putra

2311100088

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D (Pembimbing 1)
2. Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT (Pembimbing 2)
3. Prof. Dr.Ir.Ali Altway ,MS (Penguji 1)
4. Dr.Ir. Susjanto, DEA (Penguji 2)
5. Juwari, ST, M.Eng, Ph.D (Penguji 3)



Surabaya,
Juli 2015

SINTESIS POLIMER MEMBRAN SELULOSA ASETAT DAN POLIETILEN GLIKOL DENGAN NANOPARTIKEL SILIKA SEBAGAI BAHAN ADITIF UNTUK *REVERSE OSMOSIS*

Nama Mahasiswa : 1. I Made Pendi Adi Merta
: 2. Deffry Danius Dwi Putra
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D
: 2. Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

ABSTRAK

Air adalah salah satu kebutuhan utama manusia. Dari ketersediaan air di dunia, hanya 2.5% dari jumlah air di dunia yang merupakan air tawar. Dalam keadaan, seperti ini teknologi membran diprediksi menjadi alternatif dalam pengolahan air laut untuk menyuplai kebutuhan air manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan membran RO dengan menggunakan polimer selulosa asetat (CA), polietilen glikol (PEG) dan nanopartikel silika sebagai bahan aditif serta mempelajari pengaruh variasi ukuran partikel dan konsentrasi silika terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut. Penelitian ini menggunakan metode *thermal induces phase separation*. Pertama pembuatan polimer membran, percobaan dilakukan dengan mencampurkan 1.25 g CA dan 1.25 g PEG di dalam 80 ml aseton pada suhu 80°C dengan pengadukan hingga homogen. Mencetak membran di atas mold dengan mengatur ketebalan membran pada suhu 25°C, mengquench membrane ke suhu 5°C selama 15 menit. Mengeringkan membran pada suhu 60°C selama 24 jam. Membran yang telah terbentuk kemudian dilepaskan dari kaca untuk kemudian dianalisa.

Membuat kembali membran CA/PEG dengan komposisi 60/40;70/30;80/20;90/10. Membran dengan komposisi CA/PEG 80/20 akan dimodifikasi menggunakan silika nanopartikel. Kedua modifikasi membran dengan nanopartikel silika, percobaan dilakukan dengan melarutkan 1 g nanopartikel silika ($0.007 \mu\text{m}$) di dalam 10 ml NaOH. Tahapan selanjutnya sama seperti pada pembuatan polimer membran. Kemudian membuat kembali membran dengan cara yang sama menggunakan konsentrasi partikel silika berbeda (2%, 3%, 4%, 5%) dan ukuran partikel yang berbeda ($0.2 \mu\text{m}$ dan $60 \mu\text{m}$). Menganalisa morfologi membran, ikatan gugus fungsional, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran. Kenaikan CA di dalam CA/PEG membran membuat membran semakin *dense* dan hidrofilitas membran semakin menurun. Hidrofilitas membran, fluks permeat, permeabilitas, dan rijeksi garam semakin meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel silika dan semakin besarnya konsentrasi silika yang ditambahkan ke membran CA/PEG. Jika ditinjau dari nilai rijeksi garam yang diperoleh dari hasil percobaan, maka membran CA/PEG/silika yang optimal untuk proses desalinasi adalah pada komposisi CA/PEG 80/20 dengan penambahan silika $0.2 \mu\text{m}$ sebesar 5%.

Kata kunci: *reverse osmosis*, hidrofilitas, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam

FABRICATION OF POLYMER MEMBRANE OF CELLULOSE ACETATE AND POLYETHYLENE GLYCOL WITH SILICA NANOPARTICLE AS ADDITIVE FOR REVERSE OSMOSIS

Nama Mahasiswa : 1. I Made Pendi Adi Merta
: 2. Deffry Danius Dwi Putra
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D
: 2. Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT

ABSTRACT

Water is one of primary need of human being. In the future to fulfill clean water needs, need to find another alternative because there are just 2.5% from all of water in the world is clean water. In this condition membrane technology predicted be alternative in sea water treatment to supply needs of water. In desalination in reverse osmosis method using membrane, quality and quantity of product very affected by used membrane. The objective of this study is to study fabrication of reverse osmosis membrane with cellulose acetate (CA), polyethylene glycol (PEG), and silica nanoparticle as additive and to study effect of particle size of silica and concentration of silica to characterization and performance of reverse osmosis membrane for sea water desalination. This study using thermal induced phase separation method. First fabrication of polymer membrane, Experiment carried out by mixing 1.25 g of CA and 1.25 g of PEG in 80 ml of acetone at 80°C with constant stirred until homogeneous. Casting polymer solution on mold at 25°C, quenching membrane to 5°C for 15 minutes then drying membrane at 60°C for 24 hours. Formed membrane is

analyzed. Make another CA/PEG membrane with composition 60/40; 70/30; 80/20; 90/10. Membrane with composition 80/20 CA/PEG will be modified with nanoparticle silica. Second modifying membrane with silica nanoparticle, experiment carried out by mixing 1 g of silica nanoparticle (14nm) in 10 ml NaOH. Next step is same with fabrication of polymer membrane. Next making another membrane using different concentration of silica (2%-5% w/v NaOH) and different particle size of silica (0.007 μm , 0.2 μm , 60 μm). Analyzing of membrane morphology, functional chemical bond in membrane, contact angel, permeate flux, salt rejection, and membrane permeability. Increasing of CA in CA/PEG membrane make membrane more dense and hydrophilicity of membrane decrease. Membrane hydrophilicity, permeate flux, permeability, and salt rejection increase with decreasing of silica particle size and increasing of silica concentration in CA/PEG membrane. IF review from salt rejection that got from experiment, so membrane with optimal for desalination process is CAS/PEG with 80/20 composition with adding 5% of silica 0.2 μm .

Keywords: reverse osmosis, hydrophilicity, contact angle, permeate flux, salt rejection

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan Alhamdulillah, puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Sintesis Polimer Membran Selulosa Asetat dan Polietilen Glikol dengan Nanopartikel Silika sebagai bahan aditif untuk Reverse Osmosis”** tepat pada waktunya. Tugas akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya. Penulis menyadari laporan ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MS, Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, atas bimbingan dan saran yang diberikan.
3. Ibu Siti Nurkhamidah, ST, MS, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan saran yang diberikan.
4. Ibu Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan saran yang diberikan
5. Bapak Setyo Gunawan, ST, PhD selaku koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
6. Dosen-dosen Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis
7. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), khususnya teman-teman K-51, Pooche, dan

Anggota Keren-keren Perpanmas serta LTD mania atas dukungannya

8. Berbagai pihak yang telah membantu proses terselesaikannya Tugas Akhir kami.

Kami menyadari penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharap saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 30 Juni 2015

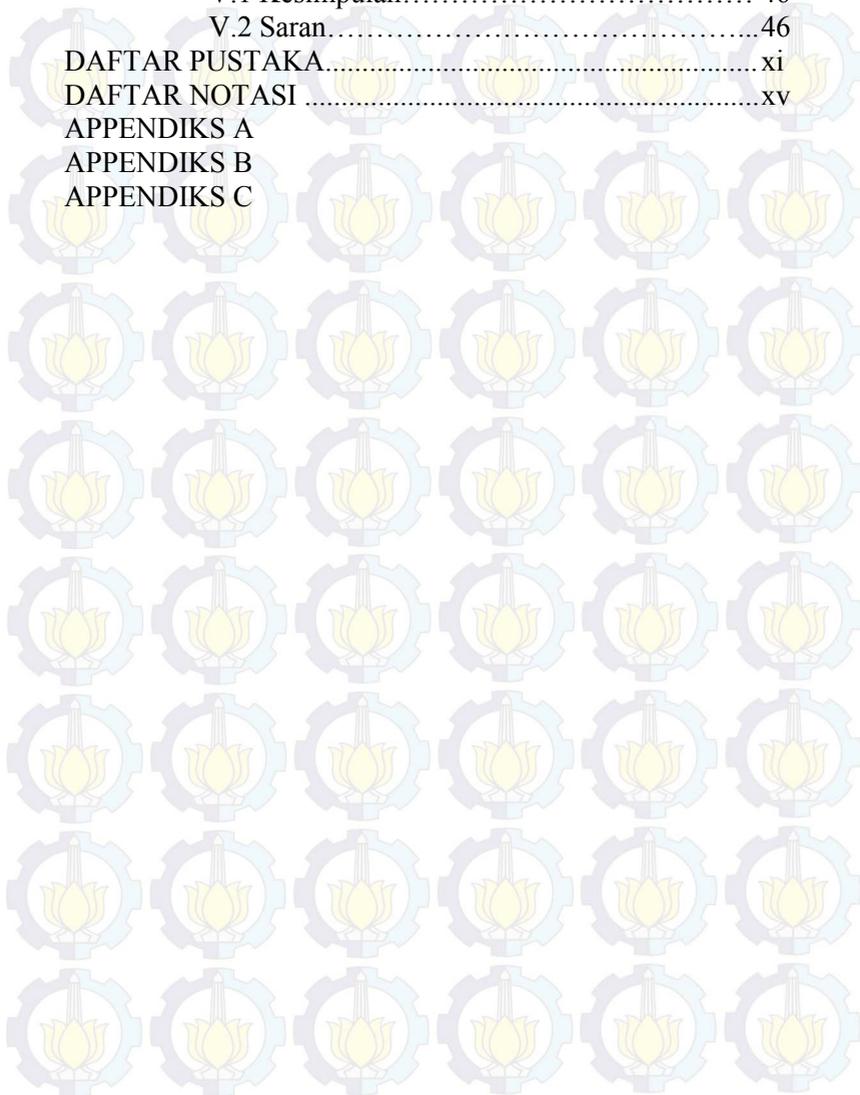
Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Batasan Masalah.....	4
I.4 Tujuan.....	4
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Membran.....	5
II.2 Reverse Osmosis.....	6
II.3 Bahan Baku Pembuatan Membran.....	7
II.4 Teknik Pembuatan Membran.....	15
II.5 Karakterisasi dan Uji Kinerja Membran.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Garis Besar Penelitian.....	23
III.2 Bahan yang Digunakan.....	24
III.3 Alat yang Digunakan.....	25
III.4 Prosedur Penelitian.....	25
III.5 Variabel Penelitian.....	28
BAB IV PEMBAHASAN	
IV.1 Sudut Kontak.....	31
IV.2 Analisa <i>Fourier Transform</i> <i>Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	33
IV.3 Analisa <i>Scanning Electron</i> <i>Microscopy</i> (SEM).....	37
IV.4 <i>Reverse Osmosis (RO) Test</i>	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	46
V.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xv
APPENDIKS A	
APPENDIKS B	
APPENDIKS C	



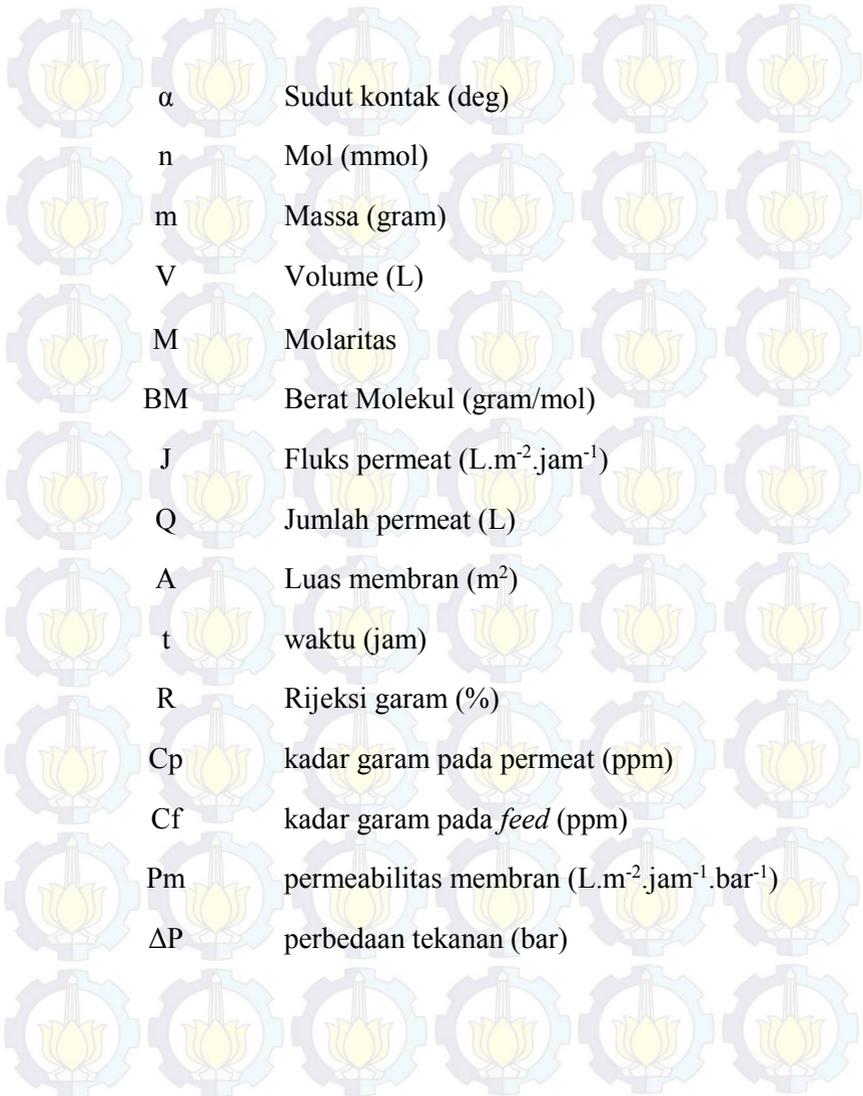
DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Sifat Fisis <i>Cellulose Acetate</i>	7
Tabel II.2	Kelebihan dan Kekurangan Membran <i>Cellulose Acetate</i>	8
Tabel II.3	Hubungan antara derajat substitusi, kadar asetil, pelarut, dan aplikasinya.....	9
Tabel II.4	Perbandingan besarnya luasan permukaan terhadap ukuran partikel <i>fumed</i> silika	13
Tabel II.5	Propertis aseton, DMF, dan NMP.....	13
Tabel II.6	Hasil Analisa Komposisi air laut payau Kenjeran.....	14
Tabel III.1	Penamaan sampel pada berbagai variable	28
Tabel IV.1	Perbandingan Performa kinerja membrane.. CP4, CPS1, CPS2, CPS3	41
Tabel IV.2	Performa kinerja membran CPS2.....	42
Tabel IV.3	Perbandingan Performa kinerja membran komersil.....	42

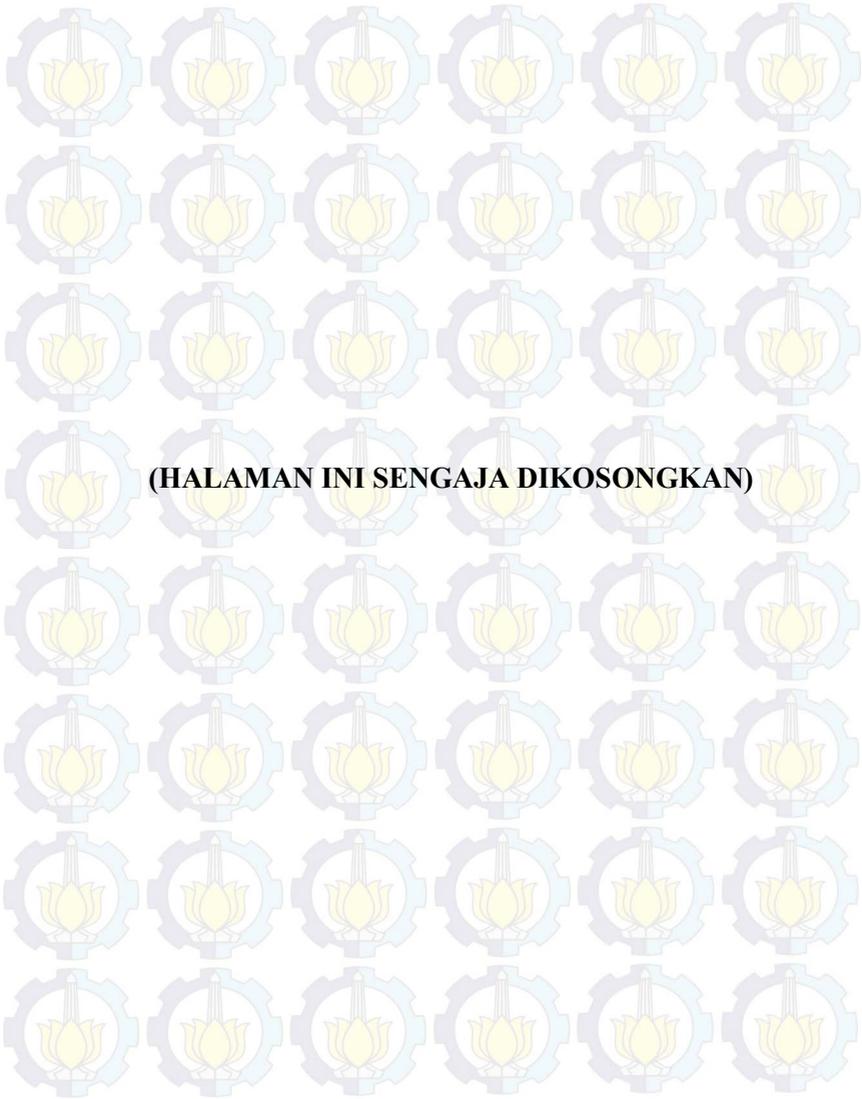
DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Kalsifikasi Penggunaan Membran	5
Gambar II.2	Mekanisme <i>Reverse Osmosis</i>	6
Gambar II.3	Skema permukaan hidrofilik silika gel.....	12
Gambar II.4	Bentuk struktur molekul air.....	15
Gambar II.5	Skema <i>Immersion Precipitation</i>	16
Gambar II.6	Contoh hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan FTIR.....	19
Gambar II.7	Contoh Hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan SEM.....	20
Gambar II.8	Contoh Pengukuran Sudut Kontak.....	22
Gambar III.1	Langkah-langkah penelitian.....	23
Gambar III.2	Skema Alat <i>Reverse Osmosis</i>	27
Gambar IV.1	Perbandingan sudut kontak membran CA/PEG pada berbagai komposisi, (b) Perbandingan sudut kontak membran CP4 dengan penambahan silika 0.007 μm , 0.2.....	31
Gambar IV.2	μm , dan 60 μm pada berbagai konsentrasi Grafik FTIR membran (a) CPS1, (b) CPS2, (c) CPS3.....	35
Gambar IV.3	Skema intermolekular dan intramolekular ikatan hidrogen pada CA/PEG/ <i>fumed</i> silika...	36
Gambar IV.4	Penampang <i>top surface</i> membran (a) CP4, (b) CPS1-5, (c) CPS2-5, (d) CPS3-5 dan penampang <i>fracture Surface</i> (e) CP4, (f).....	40
Gambar IV.5	CPS1-5, (g) CPS2-5, (h) CPS3-5 Skema <i>phase diagram</i> dengan <i>thermally induced phase separation</i>	41
Gambar IV.6	Grafik performa kinerja membran CPS2, (a) Fluks Permeat, (b) Rijeksi Garam, (c) Permeabilitas membran.....	42

DAFTAR NOTASI



α	Sudut kontak (deg)
n	Mol (mmol)
m	Massa (gram)
V	Volume (L)
M	Molaritas
BM	Berat Molekul (gram/mol)
J	Fluks permeat ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1}$)
Q	Jumlah permeat (L)
A	Luas membran (m^2)
t	waktu (jam)
R	Rijeksi garam (%)
Cp	kadar garam pada permeat (ppm)
Cf	kadar garam pada <i>feed</i> (ppm)
Pm	permeabilitas membran ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1} \cdot bar^{-1}$)
ΔP	perbedaan tekanan (bar)



RIWAYAT HIDUP PENULIS

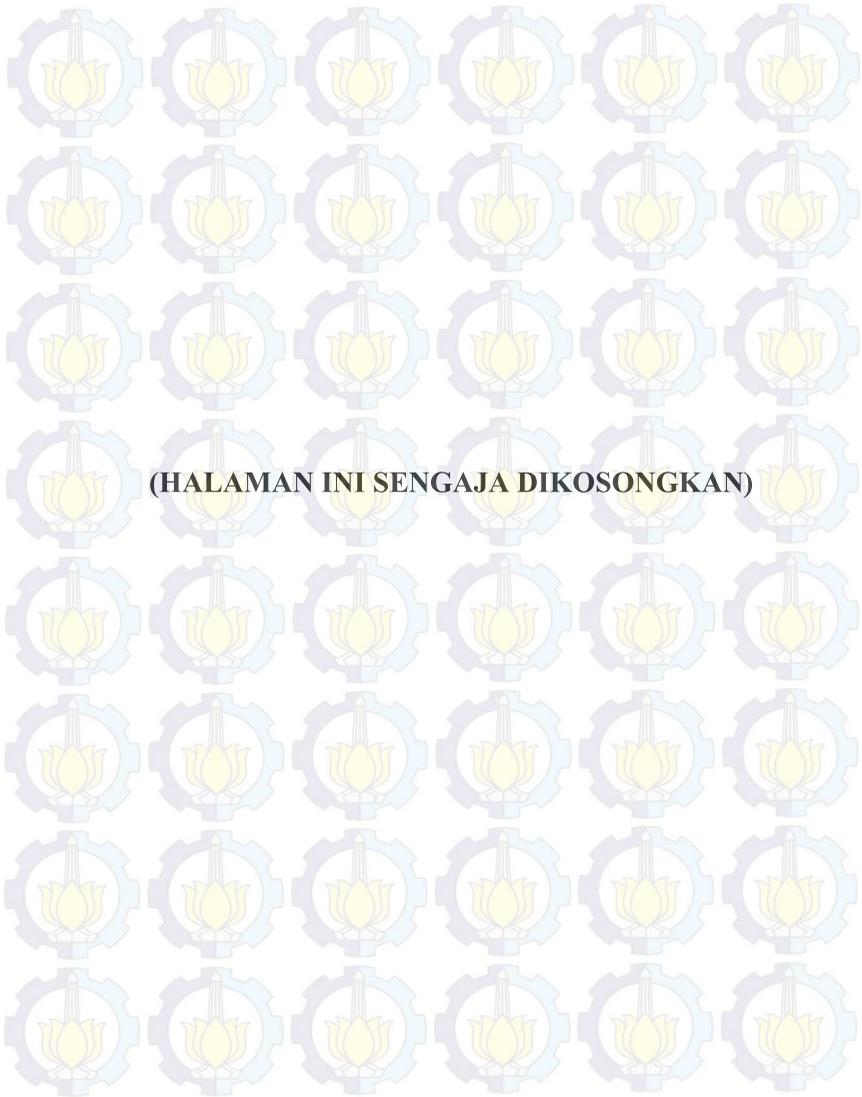


I Made Pendi Adi Merta, penulis dilahirkan di Tabanan yang terletak di propinsi Bali pada tanggal 11 Mei 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SD Nasional 1 Mundeh Kangin, SMP Nasional 1 Selemadeg, dan SMA Negeri 4 Denpasar. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan S-1 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa perkuliahan penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa FTI sebagai staff departemen

Pengembangan Sumber Daya Manusia, TPKH ITS sebagai staff Hubungan luar, dan Ketua Pooche Club Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia ITS. Penulis aktif mengikuti kaderisasi manajerial mahasiswa baru Teknik Kimia ITS sebagai Koordinator OC kaderisasi, serta aktif di beberapa event besar Teknik Kimia ITS seperti Colloit 2011, Chernival 2013 dan Chernival 2014. Penulis berpengalaman kerja praktek di PT Pupuk Kaltim pada tahun 2014. Pada tahap penelitian, penulis memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk pengerjaan skripsi dengan judul, “**Sintesis Polimer Selulosa Asetat dan Polietilen Glikol dengan Penambahan Nanopartikel Silika sebagai Aditif untuk Reverse Osmosis**”.

Data Pribadi Penulis

Nama	: I Made Pendi Adi Merta
TTL	: Mundeh, 11 Mei 1993
Alamat	: Jl. Mulyosari Tengah 5 no 110, Sukolilo, Surabaya
No.HP	: 0877702443598
Email	: jafrandananjaya@gmail.com



RIWAYAT HIDUP PENULIS

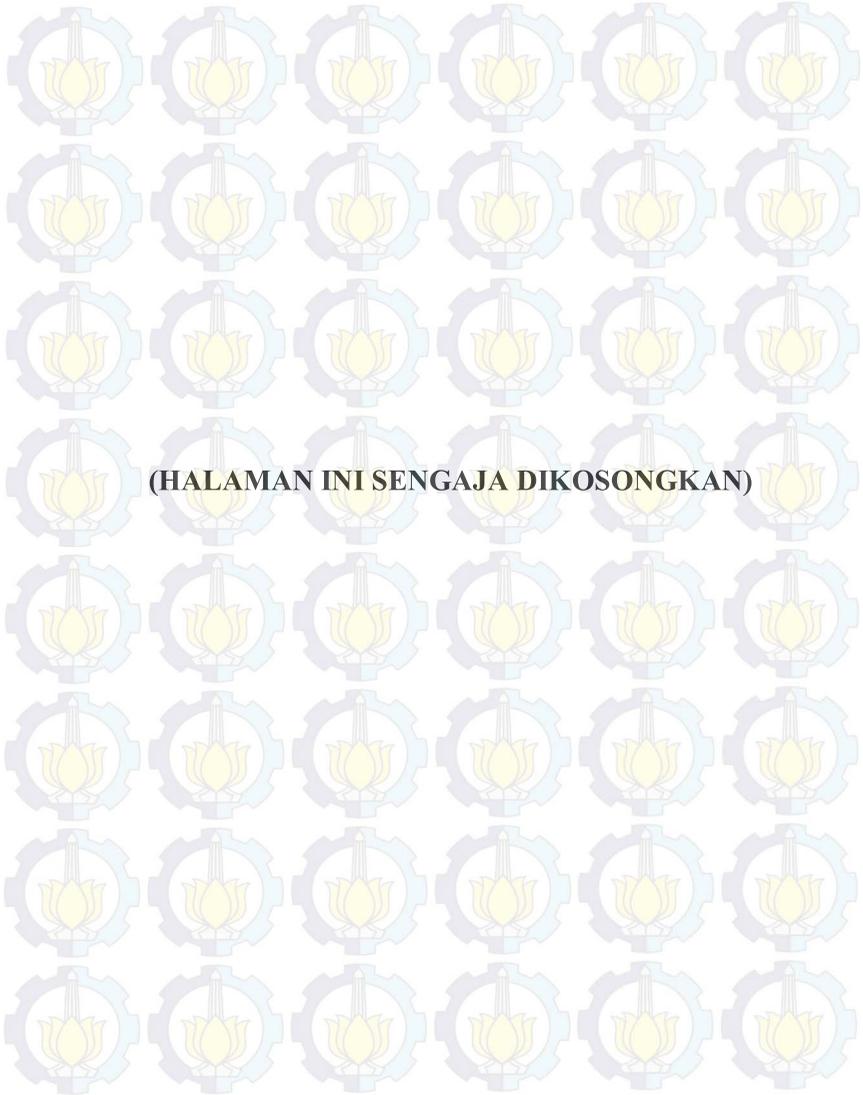


Deffry Danius Dwi Putra, penulis dilahirkan di Palembang yang terletak di propinsi Sumatera Selatan pada tanggal 6 Februari 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SD Negeri 43 Palembang, SMP Negeri 19 Palembang, dan SMA Plus Negeri 17 Palembang. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan S-1 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa perkuliahan penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa

Teknik Kimia FTI-ITS sebagai staff *Student Resources Development*, dan anggota dari Lingkup Mahasiswa Sumatera Selatan se-Surabaya. Pada tahap penelitian, penulis memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk pengerjaan skripsi dengan judul, **“Sintesis Polimer Selulosa Asetat dan Polietilen Glikol dengan Penambahan Nanopartikel Silika sebagai Aditif untuk Reverse Osmosis”**.

Data Pribadi Penulis

Nama : Deffry Danius Dwi Putra
TTL : Palembang, 6 Februari 1993
Alamat : Jalan Kelapa Hijau Raya Blok 7 No. 836
Perumnas Talang Kelapa Palembang
No.HP : 085648083213
Email : deffrydanius@gmail.com



(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Later belakang

Air adalah salah satu kebutuhan utama manusia. Hal ini dikarenakan manusia tidak hanya membutuhkan air untuk kebutuhan tubuh (minum) tetapi juga membutuhkan air untuk berbagai kebutuhan lain, seperti mencuci, memasak, dan lainnya. Tapi pada beberapa keadaan, manusia sering dihadapkan pada situasi yang sulit ketika sumber air tawar sangat terbatas dan di lain pihak terjadi peningkatan kebutuhan. Seperti pada propinsi NTT yang mengalami masalah kebutuhan air bersih, dimana kondisi alam yang kering dan curah hujan yang terbilang kecil di bandingkan daerah lain di Indonesia menyebabkan sulitnya pemenuhan kebutuhan air bersih. (Raharjo, 2008)

Dalam perkembangannya untuk memenuhi kebutuhan air bersih, perlu dicari alternatif lain karena melihat dari ketersediaan air di dunia, hanya 2.5% dari jumlah air di dunia yang merupakan air tawar dan dari jumlah itu, 2/3 nya berada dalam gletser dan lapisan es. Menurut UN Water PBB, pada tahun 2025 sebesar 3.4 milyar penduduk dunia akan hidup dalam daerah yang kekurangan air bersih. Dalam keadaan seperti ini teknologi membran diprediksi menjadi alternatif dalam pengolahan air laut untuk menyuplai kebutuhan air manusia. Seperti di daerah Timur tengah, telah memanfaatkan air laut sebagai penyuplai utama kebutuhan air bersih melalui proses desalinasi *reverse osmosis* (RO) (Peinemann dkk, 2007). Dimana, desalinasi merupakan proses pemisahan, yang di gunakan untuk mengurangi kandungan garam dan impuritis terlarut dari air garam sampai konsentrasi tertentu, sehingga air dapat di gunakan sebagai air bersih baik untuk di konsumsi maupun untuk kebutuhan lainnya.

Proses desalinasi dalam perkembangannya, meliputi pemurnian air seperti pada air limbah, air payau, hingga air laut. Teknik membran dengan prinsip RO saat ini yang paling cepat berkembang dalam industri, daripada desalinasi termal dengan

proses evaporasi (Peinemann dkk, 2007). Dilihat dari segi ekonomis metode desalinasi termal membutuhkan energi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan metode RO dimana pada prinsipnya RO berlangsung karena adanya perbedaan tekanan yang diberikan untuk, melawan tekanan osmotik. Sehingga kebutuhan energi utama hanya untuk memberi tekanan pada air umpan.

Pada desalinasi dengan metode *reverse osmosis* dengan menggunakan membran, kualitas dan kuantitas produk (*permeate*) sangat dipengaruhi oleh membran yang digunakan, dimana dapat dilihat dari fluks, rijeksi garam, porositas, ketahanan membran (*mechanical stability*) dan lainnya. Semua parameter tersebut dipengaruhi oleh jenis dan komposisi bahan pembentuk membran yang digunakan (Lee dkk, 2010).

Seperti jenis dan komposisi membran dengan polisulfon (Psf)/N-metil-2-pirolidon (NMP)/ polietilen glikol (PEG), dimana penggunaan berat molekular PEG yang semakin besar menyebabkan meningkatnya fluks dan menurunnya rejeksi garam, dikarenakan semakin meningkatnya porositas membran. Meningkatnya porositas membran ini dipengaruhi oleh meningkatnya ukuran pori yang terbentuk pada permukaan membran, dimana pembentukan pori bergantung pada jumlah dan berat molekul PEG yang ditambahkan (Lee dkk,1997). Selain itu konsentrasi bahan baku pembentuk membran akan sangat mempengaruhi properti membran, seperti pembentukan membran dengan selulosa asetat (CA)/polietilen glikol (PEG), dimana CA memiliki sifat sangat hidrofilik dan dengan komposisi CA/PEG (80/20 %berat) memberikan hasil yang paling optimal yang dilihat dari fluks, rijeksi garam dan *membrane hydraulic resistance* (Sidra dkk, 2014). Tidak hanya itu, dalam studi pengembangan membran akhir-akhir ini mengarah pada penambahan nanopartikel, seperti penambahan nanopartikel silika yang memberikan pengaruh peningkatan fluks, rijeksi garam dan *mechanical stability* pada membran. Ini disebabkan oleh silika yang membantu pembentukan lapisan asimetrik dengan

mengurangi pembentukan *macrovoid* dan meningkatkan pembentukan mikropori pada permukaan membran (Adnam dkk, 2014). Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Aneela dkk, 2014 yang menyatakan penambahan partikel silika berukuran 1 μm terbukti meningkatkan fluks, rijeksi garam, ketahanan termal dan ketahanan mekanik membran. Namun demikian, sampai saat ini masih belum ada penelitian tentang pengaruh ukuran partikel silika terhadap performa membran yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel dan konsentrasi silika tersebut. Sehingga, studi ini diharapkan dapat memberikan pemilihan ukuran dan komposisi penambahan silika yang optimal, yang dapat meningkatkan performa membran.

1.2 Rumusan masalah

Penelitian yang menggunakan nanopartikel silika sebagai bahan tambahan (zat aditif) dalam pembuatan membran untuk proses *reverse osmosis* (RO), dalam tujuan meningkatkan performa membran, masih belum diteliti ukuran partikel dan konsentrasi penambahan silika yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut terhadap ukuran partikel dan konsentrasi penambahan silika yang optimal, sebagai bahan tambahan dalam pembuatan membran untuk meningkatkan performa membran, yang ditinjau dari fluks, rijeksi garam dan selektivitas membran yang dihasilkan.

1.3 Batasan masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pembuatan membran *reverse osmosis* dengan menggunakan polimer CA dan PEG dengan nanopartikel silika sebagai bahan aditif.
2. Air yang digunakan untuk uji kinerja membran adalah air payau laut di pantai Kenjeran, Kec.Sukolilo, Surabaya.

3. Berat molekul PEG yang digunakan adalah 200 Da atau disebut PEG 200 dan berat molekul CA yang digunakan adalah 30000 Da

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pembuatan membran *reverse osmosis* (RO) dengan menggunakan polimer CA, PEG dan nanopartikel silika sebagai bahan aditif dengan memvariasikan komposisi CA dan PEG serta ukuran nanopartikel dan konsentrasi silika.
2. Mempelajari pengaruh variasi komposisi CA dan PEG terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut payau.
3. Mempelajari pengaruh variasi ukuran partikel dan konsentrasi silika terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut payau.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai data referensi penentuan komposisi CA/PEG yang optimum serta ukuran partikel dan konsentrasi silika yang ditambahkan, untuk dapat meningkatkan performa membran desalinasi RO, sehingga didapatkan kualitas dan kuantitas produk (permeat) yang optimal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Membran

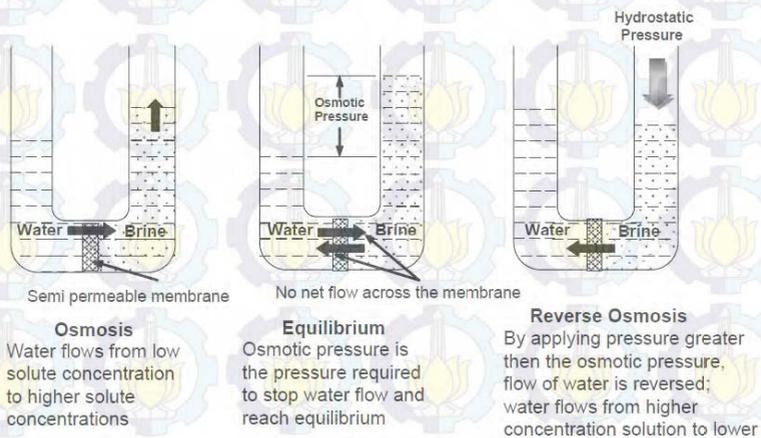
Membran yang digunakan untuk pemurnian dan pemisahan dapat didefinisikan sebagai film tipis semipermeabel. Properti semipermeabel berarti bahwa membran dapat dilewati air tetapi tidak bakteri (*microfilters*) atau garam (*reverse osmosis*, RO). Teknologi membran digunakan dalam industri air untuk meningkatkan kualitas air untuk pemakaian, digunakan kembali, atau dibuang ke lingkungan. Keuntungan dari teknologi membran termasuk sifat modular, yang memungkinkan diaplikasikan dalam skala sangat besar atau kecil, kualitas air produk yang relatif tinggi, dan dalam beberapa kasus, energi penggunaannya yang lebih rendah (Fane dkk, 2011). Klasifikasi penggunaan membran digambarkan pada **Gambar II.1**, berdasarkan jenis, ukuran pori dan contoh bahan yang dipisahkan oleh membran.



Gambar II.1 Klasifikasi penggunaan membran (Singh, 2015)

II. 2 Reverse Osmosis (RO)

Reverse osmosis (RO) adalah proses filtrasi dengan menggunakan membran untuk menghilangkan pelarut dari larutan dengan meninggalkan larutan terkonsentrasi. Ketika membran semipermeabel memisahkan antara larutan encer dan larutan pekat, terjadi aliran pelarut dari larutan encer ke larutan pekat membran dalam upaya menyamakan konsentrasi. Aliran pelarut, dapat dicegah dengan memberikan tekanan hidrostatik dari sisi larutan pekat (Tilak dkk, 2010)



Gambar II.2 Mekanisme *Reverse Osmosis* (Tilak dkk, 2010)

Untuk menggunakan RO sebagai proses pemurnian air, digunakan air umpan bertekanan pada satu sisi membran semipermeabel. Tekanan harus cukup tinggi melebihi tekanan osmotik untuk membuat osmosis balik aliran air. Jika membran sangat permeabel terhadap air dan kedap terhadap zat-zat terlarut, air murni akan mudah melintasi membran dan dikenal sebagai permeat (produk air). Sebagai produk air melintasi membran, konsentrasi impurities meningkat didekat permukaan membran, menyebabkan kondisi yang dikenal sebagai konsentrasi polarisasi. Konsentrasi polarisasi adalah akumulasi partikel zat terlarut pada permukaan membran, sehingga konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi di permukaan

membran , yang mengakibatkan meningkatkan tekanan osmotik dari sistem yang diperlukan (Tilak dkk, 2010).

II.3 Bahan Baku Pembuatan Membran

1. *Cellulose Acetate* (CA)

Akhir-akhir ini, perkembangan proses teknologi yang mengarah ke penggunaan bahan baku ramah lingkungan lebih sering digunakan. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan penghasil polimer membran. Bahan bakar fosil memiliki persamaan sifat polimer dengan *cellulose* dari biomassa. Salah satu polimer yang banyak digunakan adalah CA. CA adalah polimer pertama yang secara spesifik memenuhi, untuk proses desalinasi di antara bahan polimer lain seperti polivinil pirolidon (PVP), polivinil alkohol (PVA), dan poliamida (PA) .CA membran memiliki efisiensi desalinasi tinggi, mudah dalam ketersediaannya, biaya yang relatif rendah, non toksisitas, hidrofilitas, kelarutan yang baik dalam pelarut organik dan potensi fluks tinggi (Fane dkk, 2011) . Dimana sifat fisis *Cellulose Acetate* dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

Tabel II.1 Sifat fisis (Lee dkk, 2011)

Properti	Cellulose Acetate
Struktur	
Fluks ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$)	0.35
Rijeksi garam (%)	99
Test	>100 bar, larutan 4% NaCl

Tabel II.2 Kelebihan dan kekurangan membran *Cellulose Acetate* (Fane dkk, 2011)

Parameter	Membran Selulosa Asetat
Permeabilitas	Rendah
<i>Surface hydrophilicity</i>	Sangat hidrofilik
<i>Surface roughness</i>	Halus
Maksimum temperatur	30 °C
pH operasi	4.5-6.5
Ketahanan terhdap hidrolisis	Rendah, tidak stabil pada
Ketahanan terhadap biodegradasi	Rendah
Ketahanan terhadap klorin	Stabil (klorin < 1 ppm)

Tapi CA memiliki beberapa kekurangan seperti ketahanan yang rendah terhadap hidrolisis, oksidasi, kimia panas dan biodegradasi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel II.2**. Karena itu , CA perlu di kombinasikan dengan polimer lain untuk dapat meningkatkan kinerja membran, permibilitas dan selektivitasnya. Menurut Sidra dkk, 2014, penambahan aditif PEG (berat molekul 600) pada CA (berat molekul 30000) membran, dengan penambahan PEG 20% berat yaitu dengan komposisi CA/PEG : 16/4 gr memberikan hasil yang optimal (dilihat dari fluks permeat dan kestabilan mekanis) dibandingkan dengan komposisi CA/PEG yang lainnya (10/10 gr, 12/8 gr, 14/6 gr).

Sebuah membran hidrofilik didefinisikan “suka air” dimana memiliki afinitas yang kuat ke permukaan dan memiliki kecenderungan untuk membasahi permukaan. Sebaliknya, membran hidrofobik tidak berinteraksi baik dengan air. Sifat hidrofilisitas dan hidrofobisitas dapat ditentukan dengan pengukuran sudut kontak. Secara umum, membran hidrofilik lebih

disukai karena cenderung meningkatkan permeabilitas air dan cenderung mengurangi membran *fouling*. Sedangkan membran hidrofobik lebih disukai untuk beberapa aplikasi khusus (seperti MD dan beberapa kontaktor membran) di mana transmisi air (cair) melalui membran perlu dicegah.

Sifat teknis CA komersial yang penting adalah derajat substitusi (DS). Derajat substitusi dan kadar asetil suatu CA menunjukkan kemampuan larut dalam jenis pelarut tertentu (Fengel dan Wegener, 1984). Hubungan antara derajat substitusi, kadar asetil, serta pelarut yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel II.3**. Pemilihan pelarut yang tepat akan memberi hasil yang baik pada hasil aplikasi. Pada pembuatan membran, polimer CA dilarutkan dalam suatu pelarut dengan kelarutan yang tinggi. Jenis pelarut yang digunakan sangat menentukan struktur membran yang terbentuk (Fane dkk, 2011).

Tabel II.3 Hubungan antara derajat substitusi, kadar asetil, pelarut, dan aplikasinya (Fengel dan Wegener, 1984)

Derajat Substitusi	Kadar Asetil (%)	Larut di dalam	Tidak larut di dalam	Aplikasi
0,6 – 0,9	13 – 18,6	Air	Aseton	-
1,2 – 1,8	22,2 – 32,2	2-metoksi etanol	Aseton	Plastik, pernis
2,2 – 2,7	36,5 – 42,2	Aseton, Dimetilformami da	Dikloromet an	Serat , film
2,3 – 2,8	≥43,0	Kloroform, Diklorometan	Aseton	Serat lembaran

2. *Polyethylene glycol*(PEG)

PEG merupakan salah satu diantara zat aditif yang sering ditambahkan pada pembuatan membran yang berfungsi sebagai agen pembentuk pori untuk meningkatkan keteraturan bentuk pori-pori pada membran sehingga struktur pori lebih rapat dan membran yang dihasilkan semakin bagus. Aneela S. dkk, 2014, telah meneliti bahwa PEG dengan berat molekular 200 (PEG 200) dapat meningkatkan hidrofilitas dan stabilitas termal dan membran polimer yang digabungkan dengan silika (SiO_2), titania (TiO_2), alumina (Al_2O_3) dan zirconia (ZrO_2) dapat meningkatkan sifat mekanis, *fouling resistance* dan permeabilitas membran.

PEG adalah senyawa hasil kondensasi dari oksietilen dan air dengan rumus molekul $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$, dimana n merupakan bilangan (jumlah) rata-rata pengulangan grup oksietilen mulai dari 4 sampai 180. Bilangan yang mengiringi dibelakang PEG menunjukkan berat molekular rata-rata daripada PEG, seperti PEG dengan $n = 80$ akan mempunyai berat molekular rata-rata sekitar 3500 Dalton dan dicantumkan sebagai PEG 3500. Sedangkan senyawa dengan berat molekular rendah terdiri dari $n = 2$ sampai $n = 4$ seperti *diethylene glycol*, *triethylene glycol*, dan *tetraethylene glycol*, merupakan senyawa-senyawa murni. Senyawa dengan berat molekular rendah sampai 700 bersifat cairan kental, tidak berwarna, tidak berbau dengan titik beku $-10\text{ }^\circ\text{C}$ (*diethylene glycol*), sementara senyawa-senyawa hasil polimerisasi dengan berat molekular yang lebih tinggi yaitu sampai 1000 berbentuk padat seperti lilin dengan titik didih mencapai $67\text{ }^\circ\text{C}$ untuk $n = 180$. Keistimewaan dari PEG adalah senyawa tersebut bersifat larut dalam air (Chou dkk, 2007). PEG juga larut dalam berbagai pelarut organik dari golongan hidrokarbon aromatik, seperti metanol, benzen, *dichlorometane* dan tidak larut dalam dietil eter dan heksan. Sifat-sifat lain daripada PEG adalah merupakan senyawa yang tidak beracun, netral, tidak mudah menguap dan tidak iritasi.

Pelarut PEG banyak digunakan sebagai emulsifier dan detergen, humectants, dan pada bidang farmasi.

3. Silika

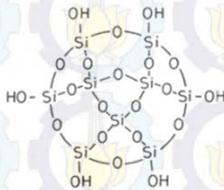
Penambahan nanopartikel silika mempengaruhi permukaan dan karakteristik transport membran. Studi tentang silika dalam penggunaannya dengan berat molekul PEG yang rendah menunjukkan bahwa silika berinteraksi dengan PEG melalui ikatan hidrogen antara oksigen dalam rantai PEG dan kelompok silanol (-Si-OH) pada silika (Aneela dkk, 2014).

Menurut Andre dkk, 2008, silika (SiO_2) menunjukkan sifat unik yang berkaitan dengan kemampuan elemental seperti SiO_4 tetrahedra, yang dihubungkan untuk menimbulkan padatan amorf atau mengkristal yang mungkin mikroporous, mesopori, dan berpori. Dibandingkan dengan oksida lain seperti alumina (Al_2O_3), titania (TiO_2), atau zirconia (ZrO_2), silika dapat lebih mudah disiapkan sebagai ultra atau lapisan tipis amorf super mikro. Dalam pengaruh penambahan silika terhadap morfologi dan struktur membran, secara umum menunjukkan peningkatan kestabilan termal dan propertis mekanis membran juga meningkat dengan penambahan silika dibandingkan dengan membran tanpa penambahan silika (Aneela dkk, 2014)

Kadar air dan membran permeabilitas membran meningkat dengan meningkatnya jumlah silika. Kadar air yang meningkat mungkin karena peningkatan membran hidrofilitas sehingga hidrofilitas tinggi memfasilitasi difusi air molekul dalam membran. Demikian pula, fluks untuk semua membran yang dimodifikasi, juga meningkat dengan meningkatnya kadar silika. Dan dengan penambahan silika membuat terganggunya rantai penyambung antar polimer dengan membuat mikro pori diantara partikel inorganik dan *interface* polimer. Sehingga dengan penggabungan silika akan meningkatkan rijeksi garam juga (Adnan dkk, 2014).

Sifat hidrofilik silika, berkaitan dengan adanya gugus silanol (Si-OH) dimana air dapat teradsorpsi pada silika melalui

ikatan hidrogen antarmolekul antara molekul air dan gugus silanol (hidroksil) pada silika. Dalam penyerapan air, peran terpenting dipegang oleh gugus silanol yang berada pada silika gel. Pada permukaan silika gel, gugus (-OH) menghadap luar. Ketika ada air yang melewati permukaan silika gel, maka air akan diikat oleh gugus silanol (Si-OH) dengan ikatan hidrogen (Salazar dkk, 2011).



Gambar II.3 Skema permukaan hidrofilik silika gel (Salazar dkk, 2011)

Fumed Silika tersusun atas bola yang berukuran submikron, yang 40-60% menyatu menjadi rantai pendek, sangat bercabang, dengan 0.1-0.2 μm . Ukuran bola yang cukup seragam untuk produk tertentu, tetapi panjang rantai cukup bervariasi, 10 sampai 30 unit panjang. Luas permukaan, yang bervariasi dengan ukuran partikel, memberikan pendekatan yang baik dari diameter bola. Semakin kecil partikel, semakin besar luas permukaan (*Fumed Silica-Sigma Aldrich Properties*).

Tabel II.4 Perbandingan besarnya luasan permukaan terhadap ukuran partikel *fumed* silika (*Fumed Silica -Sigma Aldrich Properties*)

Ukuran Partikel (μm)	Luas permukaan (m^2/gram)
0.007	390
0.008	325
0.011	255
0.012	200
0.014	200

4. Aseton

Penggunaan *solvent* (pelarut) pada polimer membran, terhadap struktur morfologi membran yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh sifat pelarut itu sendiri. Abdulreza dkk, 2001 , telah meneliti dan membandingkan pelarut aseton, dimetil formamid (DMF), dan *N*-metilpirolidon (NMP) terhadap performa membran selulosa asetat. Perbandingan propertis dari ketiga pelarut tersebut dapat dilihat pada **Tabel II.6**.

Tabel II.5 Propertis Aseton, DMF, dan NMP (Abdulreza dkk, 2001)

Properti	Aseton	DMF	NMP
Rumus kimia	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	$\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$	$\text{CH}_4\text{-N-CH}_8$
Berat molekul	58.08	73.10	85.15
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	56	153	80-81
Titik beku ($^{\circ}\text{C}$)	-94	-61	-61
Densitas (pada 20°C)	0.791	0.944	0.819

Dari data pada **Tabel II.5**, terlihat bahwa aseton memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan DMF dan NMP. Namun dilihat dari performa, CA-DMF memiliki selektivitas yang lebih besar dibandingkan CA-aseton tapi disisi lain menyebabkan semakin sulitnya menghilangkan pelarut dari polimer membran. Ini disebabkan karena titik didih dari pelarut tersebut. Dengan semakin tingginya titik didih DMF dibandingkan dengan aseton dan NMP, maka volatilitas bahan akan semakin rendah. Sehingga dengan rendahnya volatilitas , menyebabkan lebih stabilnya rantai ikatan antara polimer yang dapat menghasilkan struktur yang lebih stabil pada membran, yang pada akhirnya berakibat pada, bentuknya membran yang lebih rapat (*dense*). Sedangkan CA-Aseton membran memiliki porositas yang lebih tinggi dikarenakan titik didih aseton yang

lebih rendah, sehingga lebih mudah untuk dipisahkan dari larutan polimer. Sehingga dengan semakin porousnya membran maka daya serap membran akan lebih besar dan fluks akan lebih besar (Abdulreza dkk, 2001).

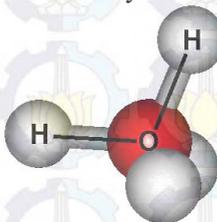
5. Air laut Kenjeran

Air umpam untuk uji kinerja membran disesuaikan dengan TDS air laut payau pada daerah pantai Kenjeran dengan analisa komposisi yang dapat dilihat pada **Tabel II.6**.

Tabel II.6 Hasil Analisa Komposisi air laut payau Kenjeran (Lab. Teknologi Air Industri-Teknik Kimia ITS)

Parameter	Hasil Analisa (ppm)
NaCl	2923
TDS	4859

Molekul air merupakan molekul yang kecil, berbentuk V-shaped dengan rumus mekul H_2O dan dimeter 2.75 \AA . Dalam keadaan cair, meskipun 80% dari elektron dalam H_2O yang berkaitan dengan ikatan, tiga atom tidak selamanya bersama diman atom hidrogen terus bertukar antara molekul air, karena proses protonasi /deprotonasi. Kondisi asam dan basa mengkatalisis pertukaran ini dan bahkan ketika kondisi mendekati netral (pada pH 7), rata-rata waktu untuk atom dalam molekul H_2O untuk tetap bersama-sama hanya sekitar satu milidetik.



Gambar II.4 Bentuk struktur mekul air (http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html)

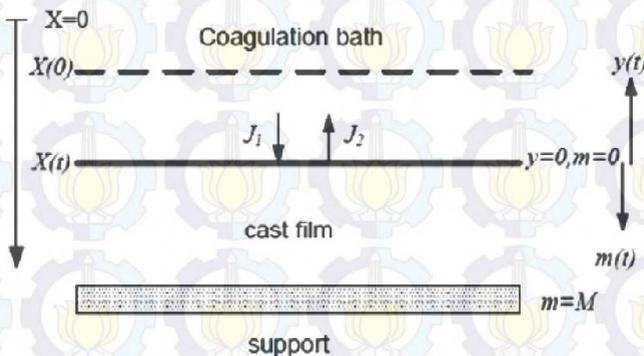
II.4 Teknik Pembuatan Membran

Pemilihan teknik untuk pembuatan polimer membran tergantung dari pemilihan polimer dan produk membran yang diinginkan. Teknik yang paling banyak digunakan dalam pembuatan polimer membran meliputi *phase inversion*, *interfacial polymerization*, *stretching*, *track-etching*, dan *electrospinning*.

Phase inversion dapat dideskripsikan sebagai proses pemisahan dimana larutan polimer yang homogen ditransformasikan dari fase *liquid* ke fase *solid*. Proses ini dapat dicapai dengan beberapa cara sebagai berikut :

- *Immersion precipitation*.

Larutan polimer dimasukkan ke dalam bak pengendapan yang berisi larutan *non-solvent*. Pemisahan dan pengendapan terjadi karena terjadi pertukaran dari *solvent* (dari larutan polimer) dan *non-solvent* (dari bak pengendapan), seperti pada **Gambar II.5**. Larutan *solvent* dan *non-solvent* harus *miscible*. (Bousoo, dkk. 2006)



Gambar II.5 Skema *Immersion precipitation* (Radovanovic dkk, 1992)

- *Thermally induced phase separation*

Metode ini terdiri dari lima tahap. Pertama larutan polimer dicampur dengan menaikkan suhu, polimer yang

digunakan yang memiliki titik didih tinggi, berat molekul yang rendah. Kedua larutan polimer yang panas dicetak diatas permukaan dingin. Ketiga larutan polimer yang telah dicetak didinginkan untuk menginduksi pemisahan fase dan solidifikasi. Keempat pelarut yang terperangkap di dalam matriks polimer dipisahkan untuk membentuk pori-pori membran. Kelima proses *post-treatment* seperti *stretching* untuk meningkatkan karakteristik dari membran. (Dongmei dkk, 2005)

•*Evaporation-induced phase separation*

Larutan polimer dibuat di dalam *solvent* atau di dalam campuran *volatile non-solvent*. *Solvent* kemudian diuapkan untuk membuat terjadi proses pengendapan. Teknik ini juga dikenal sebagai *solution casting method*. (Silva dkk, 2004)

Konsentrasi polimer sangat penting pembuatan membran. Meningkatkan konsentrasi polimer di dalam larutan menghasilkan membran dengan porositas yang rendah (Baker dkk, 2004). Pemilihan *solvent/non-solvent* juga sangat berpengaruh morfologi dan properti dari membran yang terbentuk. *Miscibility* yang rendah dari polimer di dalam *solvent* akan menghasilkan membran yang *non-porous* (Pinnau, dkk. 2000). Untuk meningkatkan morfologi dan properti berbagai macam bahan inorganik digunakan seperti LiCl, polipiril pirolidon (PVP), dan *Polyethylene glycol*(PEG). Bahan aditif dapat berfungsi sebagai pembentuk pori dan meningkatkan viskositas larutan (Chuang dkk, 2000). Selain itu modifikasi penambahan nanopartikel juga sangat mempengaruhi performa membran, seperti penambahan nanopartikel fumed silika yang dilakukan Aneela S. dkk, 2014 seperti pada penjelasan sebelumnya. Sehingga pada penelitian ini, metode *Thermally induced phase separation (TIPS)* digunakan dalam pembuatan membran CA/PEG dengan aseton sebagai *solvent* dan modifikasi penambahan *fumed* silika. Penggunaan metode TIPS ini dikarenakan kelarutan *fumed* silika pada air yang baik, sehingga

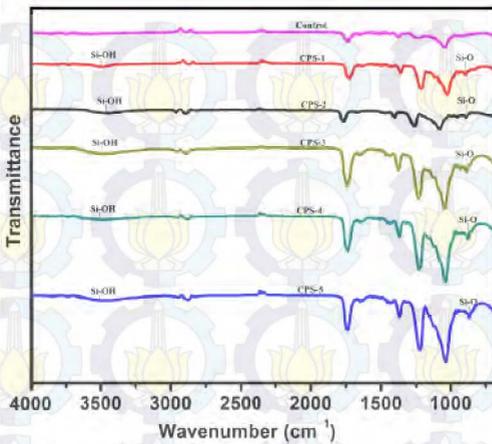
penggunaan *Immersion precipitation* dengan menggunakan air sebagai non-solvent pada proses pengendapan akan memungkinkan silika ikut terlarut dan terlepas dari polimer membran. Sedangkan dibandingkan *Evaporation-induced phase separation* yang memerlukan energi pemanasan yang lebih tinggi untuk menguapkan *solvent* pada campuran CA/PEG. Sehingga metode TIPS lebih mendukung dalam pembuatan membran CA/PEG dengan aseton sebagai *solvent* dan modifikasi penambahan *fumed* silika.

II.5 Karakterisasi dan Uji kinerja membran

1. Karakterisasi membran

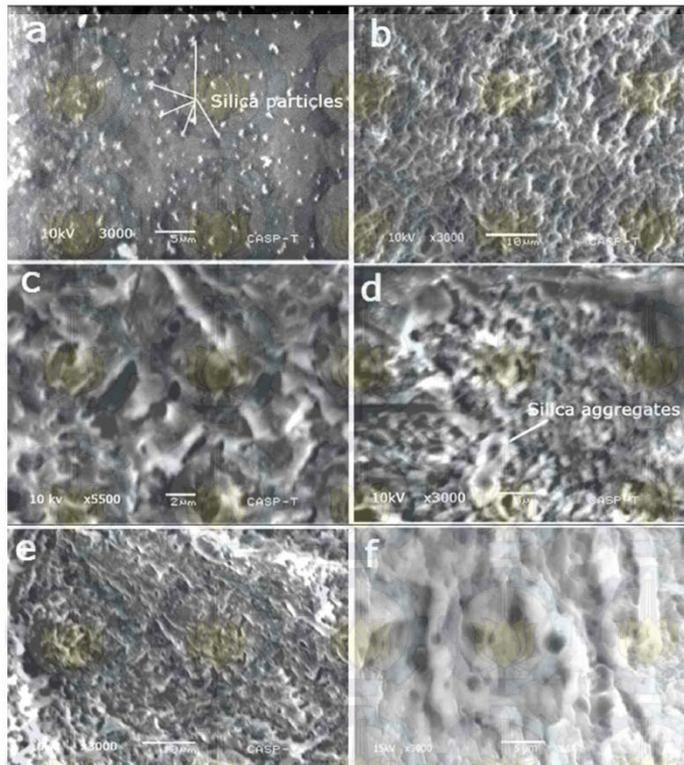
Karakterisasi membran didasarkan pada morfologi fisis membran, yang dapat dilihat dari :

- Ikatan gugus fungsional pada membran, yang dapat diketahui dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), memungkinkan untuk inframerah (IR) menganalisis permukaan. Spektrum IR dapat memberikan penentuan frekuensi getaran dan intensitas transisi molekul (dengan pengecualian diatomik seperti N₂ dan O₂), termasuk frekuensi gugus fungsional. Radiasi IR biasanya menembus 1 μm ke permukaan tapi lebih dalam dari ketebalan lapisan aktif yang membran komposit, sehingga lapisan atas belum tentu terisolasi (Boussu dkk, 2007). Kedalaman ini dapat dikurangi dengan hati-hati memilih kristal dan sudut tembak. Pengoperasian FTIR didasarkan pada total fenomena refleksi internal. Sebuah blok bahan dengan densitas optik lebih besar dari sampel dimasukkan ke dekat kontak dengan permukaan sampel. Gelombang menembus permukaan sampel, meskipun tidak ada sinar yang dibiarkan muncul, karena jumlah refleksi internal. (Childress dkk, 2012). Seperti contoh pada **Gambar II.6**, hasil analisa morfologi membran dengan FTIR



Gambar II.6 Contoh hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan FTIR (Adnan.A dkk, 2015)

- Struktur morfologi membran. Untuk mengetahui struktur morfologi membran salah satu metode yang sering digunakan adalah dengan *Scanning electron microscopy* (SEM). Pengukuran permukaan sampel dilakukan dengan menembakan sinar elektron dalam ruang hampa. Elektron sekunder akan terlepas dari permukaan dan terdeteksi. Kondisi ini memerlukan persiapan sampel, pengeringan dan pelapisan permukaan dengan lapisan konduktif. Persiapan sampel mempengaruhi struktur dalam gambar yang diamati (Mulder, 1996). Resolusi 10 nm atau lebih baik dapat dicapai, namun bervariasi dengan peralatan yang tersedia. Ukuran pori, porositas permukaan, dan geometri pori dapat divisualisasikan dan porositas dan distribusi ukuran pori dapat diperkirakan (Childress dkk, 2012). Seperti pada contoh **Gambar II.7**, hasil uji morfologi membran dengan menggunakan SEM.



Gambar II.7 Contoh Hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan SEM (Adnan dkk, 2015)

2. Uji kinerja membran

- Rijeksi garam

Dalam reverse osmosis, rijeksi garam didefinisikan sebagai rasio perbedaan konsentrasi *solute* pada *feedwater* dan permeat yang melewati membran yang dinyatakan sebagai :

$$R = \left(1 - \frac{C_P}{C_F} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

dimana R adalah rijeksi garam (%), C_P adalah konsentrasi *solute* pada produk dan C_F adalah konsentrasi *solute* dalam *feedwater*. (Anis dkk, 2014)

- Fluks permeat

Fluks permeat (J) merupakan jumlah *purewater* terkumpul per satuan waktu dan per satuan luas pada tekanan tertentu. Hal ini dihitung dengan:

$$J = \frac{Q}{A \times t} \dots\dots\dots(2)$$

dimana J adalah Fluks permeat (L / jam.m²), Q adalah jumlah permeat (L), t adalah waktu (jam) dan A adalah luas membran m². (Saljoughi dkk, 2008)

- Permeabilitas membran

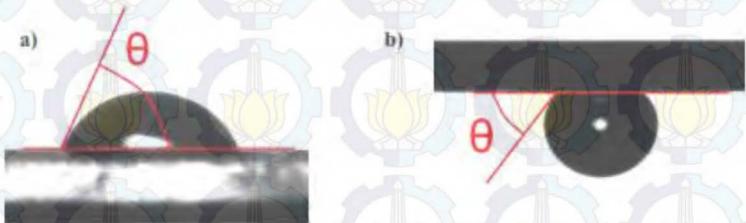
Permeabilitas membran menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrolis. Untuk menentukan P_m , fluks diukur pada tekanan tras membran yang berbeda (ΔP). Permeabilitas membran dievaluasi dari *slope* yang diperoleh dengan memplot fluks permeat terhadap perbedaan tekanan membran (ΔP), menggunakan persamaan:

$$P_m = \frac{J}{\Delta P} \dots\dots\dots(3)$$

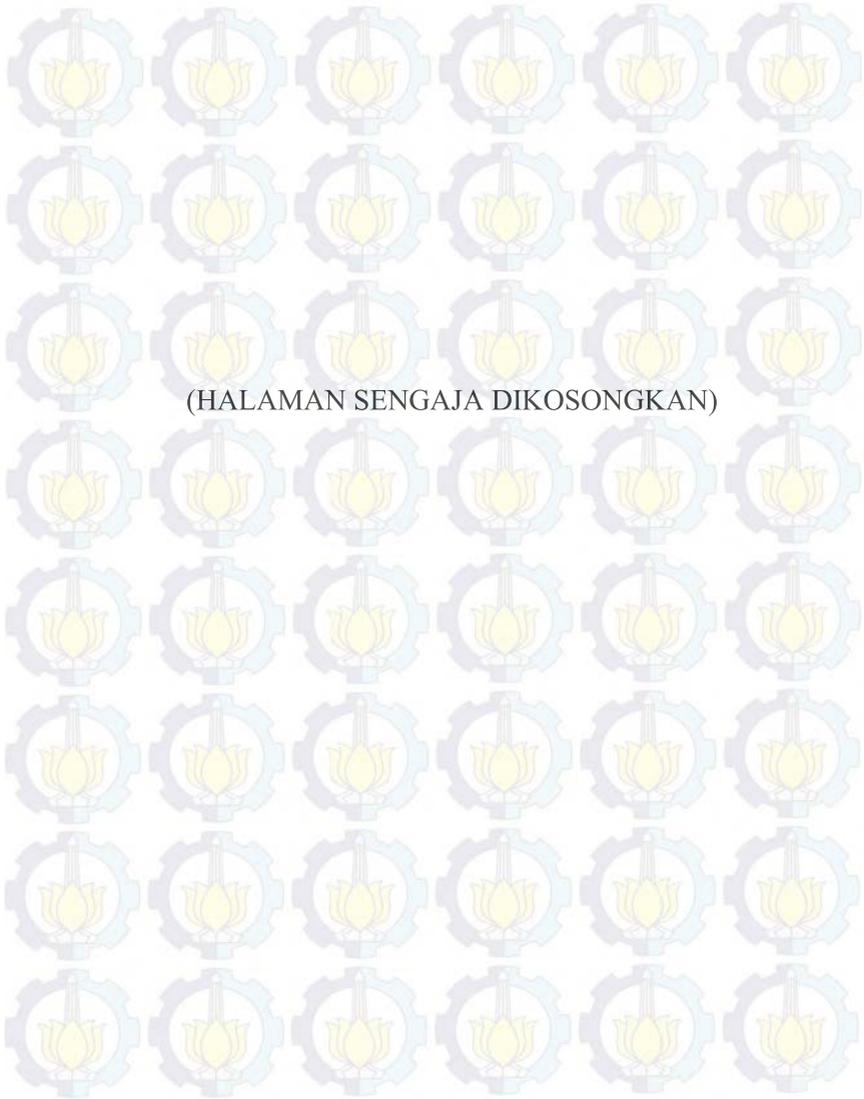
di mana P_m adalah permeabilitas membran hidrolis (L .jam⁻¹m⁻² / kPa) dan ΔP adalah perbedaan tekanan, kPa (Adnan dkk, 2014).

- Sudut kontak (θ) yang terbentuk pada tiga fase antarmuka antara padat, cairan fase gas / uap seperti pada **Gambar II.8**, dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai

karakteristik permukaan membran. Ada dua teknik yang dapat digunakan untuk mengukur sudut kontak yaitu *sessile drop* dan *captive bubble*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.6a dan II.6b. Informasi yang dikumpulkan dari analisis sudut kontak dapat digunakan untuk menilai secara kualitatif hidrofobik atau hidrofilitas dari permukaan membran. Pengukuran dengan *sessile drop* dilihat dari penyebaran tetes cairan di atas permukaan membrane yang kering. Sebaliknya *captive bubble*, gelembung udara ditempatkan pada permukaan yang direndam dalam air dimana air akan surut dari volume yang ditempati oleh gelembung udara (**Gambar II.8b**) (Childress dkk, 2012).



Gambar II.8 Contoh pengukuran sudut kontak dengan metode (a) *sessile drop* dan (b) *captive bubble* pada larutan polimer (Childress dkk, 2012).



BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Secara garis besar pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara eksperimen. Bahan baku yang akan digunakan adalah *cellulose acetate* (CA), *polyethylene glycol* (PEG), silika, aseton, dan NaOH.

Eksperimen ini dilakukan secara bertahap yaitu dengan pembuatan membran *reverse osmosis* (RO) dan karakterisasi performa membran (RO). Pembuatan membran (RO) menggunakan metode *thermal induced phase separation*, sedangkan uji karakterisasi dan kinerja membran meliputi analisa morfologi membran, ikatan gugus fungsional, sudut kontak, fluks permeal, rijeksi garam, dan permeabilitas membran. Analisa morfologi membran bertujuan untuk melihat bentuk pori dan struktur permukaan membran yang telah dibuat, analisa ini menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisa ikatan gugus fungsional bertujuan untuk mengetahui adanya ikatan hidrogen antara CA dan PEG serta ikatan hidrogen CA dan silika, analisa ini menggunakan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Analisa sudut kontak bertujuan untuk mengetahui hidrofilitas dari membran. Uji fluks permeal bertujuan untuk mengetahui jumlah air murni yang didapat per satuan waktu dan per unit area pada tekanan tertentu. Uji rijeksi garam bertujuan untuk mengetahui rasio dari perbedaan konsentrasi garam yang dapat melalui membran. Uji permeabilitas membran bertujuan untuk menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrolis.

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian maka ditempuh langkah-langkah penelitian sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar III.1**.

Berat molekul : 60.08 g/mol

5. Aseton (99.5%)
6. NaOH (1%)

III.3 Alat yang digunakan

1. Botol sampel
2. Heater
4. Magnetic Stirrer
5. Timbangan
7. Thermometer
8. Mold
9. Alat uji *reverse osmosis*

III.4 Prosedur Penelitian

III.4.1 Prosedur Pembuatan Membran

1. Pembuatan Membran CA/PEG 50/50
 - Mencampurkan CA sebanyak 1.25 gram dan PEG sebanyak 1.25 gram di dalam 17 ml aseton dengan pendukan konstan pada suhu 80°C hingga homogen
 - Mencetak membran di atas mold dengan mengatur ketebalan membran pada suhu 25°C
 - Mengquench membran pada suhu 5°C selama 15 menit
 - Mengeringkan membran pada suhu 60°C selama 24 jam di dalam oven
 - Membran yang telah terbentuk kemudian dilepaskan dari kaca untuk kemudian dianalisa
 - Membuat kembali membran dengan komposisi 60/40; 70/30; 80/20; 90/10 CA/PEG
 - Membran dengan komposisi CA/PEG 80/20 akan dimodifikasi menggunakan silika nanopartikel
2. Modifikasi membran CA/PEG 80/20 menggunakan *silica nanoparticle*
 - Melarutkan 0.025 gram partikel silika (0.007 μm) di dalam 2.5 ml NaOH

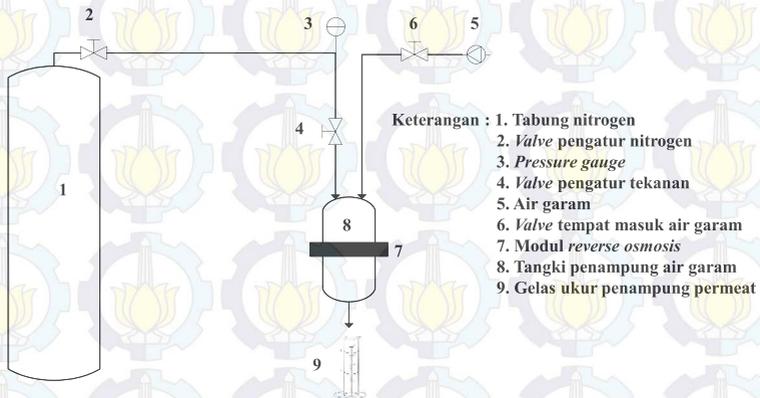
- Mencampurkan larutan partikel silika ke dalam larutan CA/PEG dengan pengadukan konstan pada suhu 80°C hingga homogen
- Mencetak membran di atas mold dengan mengatur ketebalan membran pada suhu 25°C
- Mengquench membran pada suhu 5°C selama 15 menit
- Mengeringkan membran pada suhu 60°C selama 24 jam di dalam oven
- Membran yang telah terbentuk kemudian dilepaskan dari kaca untuk kemudian dianalisa
- Membuat kembali membran dengan cara yang sama menggunakan konsentrasi partikel silika yang berbeda (2%, 3%, 4%, 5%) dan ukuran partikel yang berbeda (0.2 μm dan 60 μm)

III.4.2 Prosedur Analisa

1. Analisa struktur morfologi
 - Membran dicelupkan ke dalam nitrogen cair selama beberapa detik
 - Membran dipotong kecil-kecil dan dipatahkan
 - Sampel kemudian dimasukkan ke dalam alat SEM
2. Analisa ikatan hidrogen
 - Membran dimasukkan ke dalam alat FTIR
 - Membaca grafik yang terbentuk
3. Analisa sudut kontak
 - Aquadest diteteskan di atas permukaan membran
 - Aquadest yang telah diteteskan di atas membran difoto kemudian diukur sudut kontakanya
4. Analisa fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran
 - Memasukkan air garam 5000 ppm ke dalam modul RO
 - Kemudian mengalirkan nitrogen ke tabung penampung air garam hingga mencapai tekanan 5 bar, tekanan dijaga selama 5 jam

- Air garam yang dapat melewati modul RO ditampung di dalam gelas ukur, kemudian diukur kadar garamnya menggunakan metode titrasi pengendapan (appendiks B)
- Menghitung fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran (appendiks C)

Skema alat uji kinerja membran RO ditunjukkan pada **Gambar III.2**



Gambar III.2 Skema Alat Reverse Osmosis

III.5 Variabel Penelitian

1. Kondisi yang Ditetapkan

- Volume aseton : 17 mL
- Suhu pencampuran : 80°C
- Volume NaOH : 2.5 mL
- Ketebalan membran : 200 μm
- Suhu *casting* membran : 25°C
- Suhu *quenching* : 5 °C (selama 15 menit)
- Suhu pengeringan : 60 °C

2. Variabel Berubah

- Komposisi CA/PEG (50/50; 60/40; 70/30; 80/20; 90/10)
- Konsentrasi silika partikel di dalam 2.5 ml NaOH (1%; 2%; 3%; 4%; 5% wt/v)
- Ukuran partikel silika partikel (0.007; 0.2; 60 μm)

Tabel III.1 Penamaan sampel pada berbagai variabel

CA/PEG		CA/PEG/Silika 80/20/silika $D_{\text{silika}}=0.007 \mu\text{m}$		CA/PEG/Silika 80/20/silika $D_{\text{silika}}=0.2 \mu\text{m}$		CA/PEG/Silika 80/20/silika $D_{\text{silika}}=60 \mu\text{m}$	
Variabel	Kode	Variabel % silika	Kode	Variabel % silika	Kode	Variabel 1% silika	Kode
50/50	CP1	1%	CPS1-1	1%	CPS2-1	1%	CPS3-1
60/40	CP2	2%	CPS1-2	2%	CPS2-2	2%	CPS3-2
70/30	CP3	3%	CPS1-3	3%	CPS2-3	3%	CPS3-3
80/20	CP4	4%	CPS1-4	4%	CPS2-4	4%	CPS3-4
90/10	CP5	5%	CPS1-5	5%	CPS2-5	5%	CPS3-5

3. Variabel Respon

- Struktur morfologi membran
- Ikatan gugus fungsional
- Sudut kontak
- Fluks permeat
- Rijeksi garam
- Permeabilitas membran

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

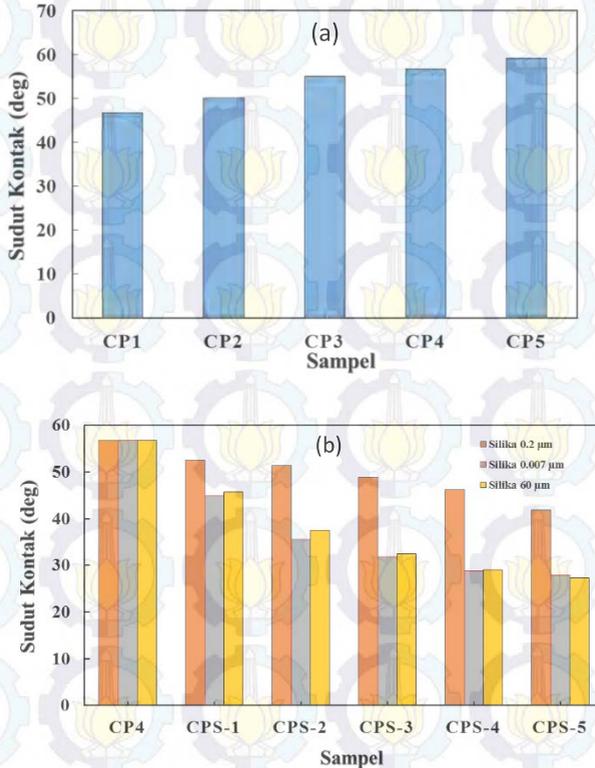
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan membran *Reverse Osmosis* (RO) dengan menggunakan polimer *Cellulose Acetate* (CA) , *Polyethylene Glycol* (PEG) dan nanopartikel silika sebagai bahan aditif dengan memvariasikan komposisi CA dan PEG serta ukuran nanopartikel dan konsentrasi silika, mempelajari pengaruh variasi komposisi CA dan PEG terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut, serta mempelajari pengaruh variasi ukuran partikel dan konsentrasi silika terhadap karakterisasi dan kinerja membran RO untuk desalinasi air laut.

Air laut yang digunakan pada eksperimen ini adalah air laut sintesis dengan kadar garam 5000 ppm. Pemilihan konsentrasi air laut didasarkan pada kandungan air laut (payau) pada daerah Kenjeran dengan TDS 4859 dengan kandungan NaCl sebesar 2923 ppm (Analisa Lab. Pengolahan Air Industri Teknik Kimia ITS. Dan penggunaan air laut sintesis, bertujuan agar dapat memperlihatkan performa membran yang spesifik terhadap rijeksi garam.

Eksperimen ini dilakukan secara bertahap yaitu dengan pembuatan dan karakterisasi performa membran RO. Pembuatan membran RO menggunakan metode *thermal induced phase separation*, sedangkan uji karakterisasi dan kinerja membran meliputi analisa morfologi membran, ikatan gugus fungsional, sudut kontak, fluks permeat, rijeksi garam, dan permeabilitas membran.

Komposisi CA dan PEG yang digunakan pada penelitian ini yaitu 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, dan 90/10. Sedangkan konsentrasi silika yang digunakan yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% massa/volume terhadap NaOH. Suhu *casting* larutan CA/PEG dan CA/PEG/Silika dilakukan pada suhu ruangan, lalu di-*quenching* ke suhu 5 °C selama 15 menit, kemudian dikeringkan dalam oven pada 60 °C selama 24 jam.

IV.1 Sudut Kontak



Gambar IV.1(a) Perbandingan sudut kontak membran CA/PEG pada berbagai komposisi, (b) Perbandingan sudut kontak membran CP4 dengan penambahan silika 0.007 μm , 0.2 μm , dan 60 μm pada berbagai konsentrasi.

Pengukuran sudut kontak merupakan parameter yang penting untuk menentukan hidrofilisitas permukaan membran.

Gambar IV.1(a) menunjukkan sudut kontak membran CA/PEG pada berbagai komposisi, dimana hidrofilitas membran menurun dengan meningkatnya penambahan CA dan menurunnya penambahan PEG. Peningkatan jumlah komposisi CA pada membran membuat hidrofilitas membran menurun yang dimungkinkan oleh pembentukan selektif *layer* pada permukaan membran, dikarenakan permukaan membran semakin rapat (*dense*), sehingga membuat air sulit untuk melewati membran. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori dimana penambahan PEG sebagai agen pembentuk pori, sehingga dengan berkurangnya penambahan PEG menyebabkan berkurangnya keteraturan pembentukan pori pada membran yang akhirnya membuat berkurangnya sifat hidrofilitas membran (Aneela dkk, 2014).

Sedangkan pada **Gambar IV.1(b)** dilakukan pengukuran sudut kontak dengan membandingkan penambahan tiga jenis ukuran partikel silika (silika 0.007 μm , 0.2 μm , dan 60 μm) pada membran CP4. Penambahan silika dilakukan dengan menambahkan 1%, 2%, 3%, 4% dan 5 % w/v yang berurut disebut sample CPS-1, CPS-2, CPS-3, CPS-4, dan CPS-5 untuk masing-masing jenis silika. Dari grafik terlihat bahwa, ketiga jenis silika menunjukkan kesesuaian hasil, dimana peningkatan penambahan konsentrasi silika membuat semakin menurunnya sudut kontak, yang menunjukkan semakin hidrofiliknya membran. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori, bahwa penambahan silika pada membran CA/PEG akan menghasilkan interaksi yang kuat, melalui ikatan hidrogen antara oksigen atau hidrogen pada silika dengan oksigen atau hidrogen dalam rantai CA yang membentuk gugus silanol (-Si-OH) yang menyebabkan semakin hidrofiliknya membran (Aneela dkk, 2014).

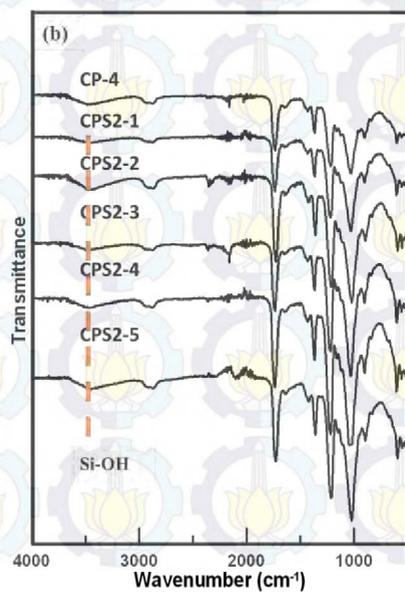
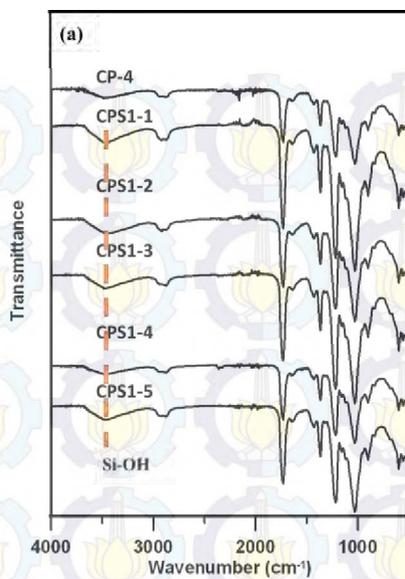
Dari ketiga jenis ukuran silika yang digunakan, penambahan *fumed* silika 0.007 μm menunjukkan sifat yang lebih hidrofilik dibandingkan dengan penambahan *fumed* silika 0.2 μm . Hal ini dikarenakan, semakin kecil ukuran partikel silika maka semakin besar luas permukaannya, yaitu *fumed* silika 0.007 μm

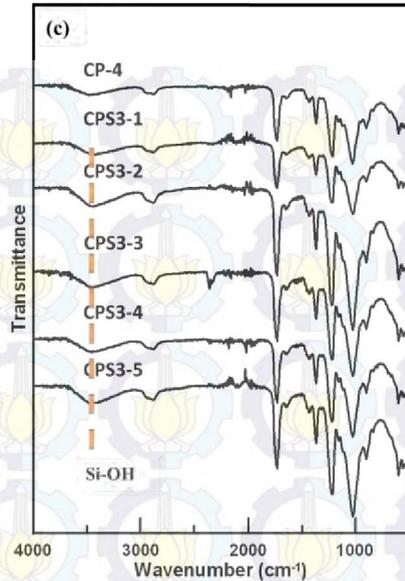
memiliki luasan 390 m²/ gram. Dimana terdapat 3.5-4.5 gugus hidroksil/μm² permukaan silika (*Sigma Aldrich Properties*). Sehingga, semakin besar luas permukaan silika maka semakin banyak gugus hidroksilnya. Dengan semakin banyaknya gugus hidroksil, maka akan semakin besarnya peluang pembentukan gugus silanol saat berinteraksi dengan CA/PEG, sehingga hidrofilisitas daripada membran akan semakin besar.

IV.2 Analisa Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Analisa FTIR sangat menentukan dalam penentuan karakterisasi polimer, yang ditunjukkan dengan ikatan intermolekular dan intramolekular hidrogen antara silika dan CA/PEG, seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar IV.2(a-c)**. Pada **Gambar IV.2(b-c)**, membran CA/PEG (sebagai kontrol) menunjukkan ikatan O-H pada peak 3460.06 cm⁻¹. Sedangkan secara keseluruhan pada ketiga grafik, analisa FTIR menunjukkan terdapatnya ikatan Si-O-Si *asymmetric* pada 1026 cm⁻¹ dan Si-O-Si *symmetric* pada *wavenumber* 802 cm⁻¹ dan ikatan gugus silanol (Si-OH) terdapat pada peak disekitaran 3400-3500 cm⁻¹.

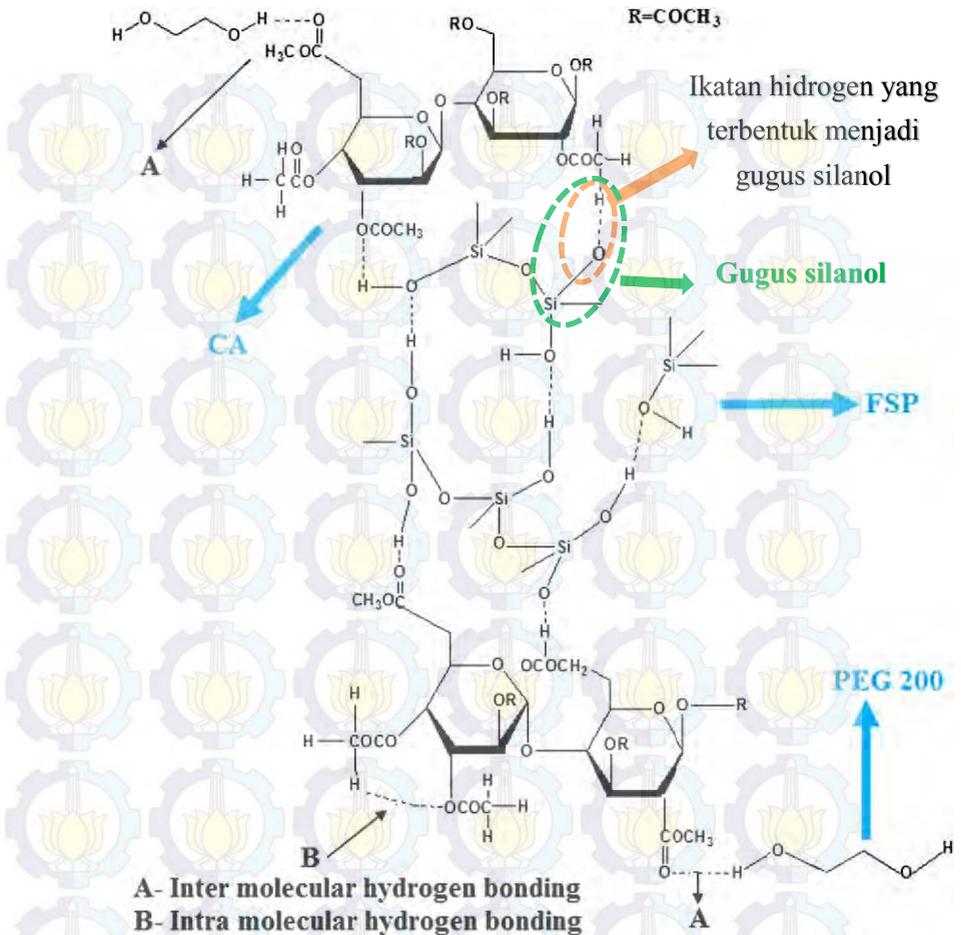
Secara keseluruhan, semakin tinggi penambahan konsentrasi silika dari ketiga jenis silika yang digunakan menunjukkan hasil yang sama. Yaitu terjadi peningkatan luas area gugus hidroksil pada *wavenumber* 3400-3500 cm⁻¹ sesuai dengan **Grafik IV.2**, yang menandakan semakin meningkatnya jumlah gugus hidroksil pada membran CA/PEG/silika jika dibandingkan dengan membran CA/PEG. Hal ini karena terjadi pembentukan gugus silanol antara silika dengan membran CA/PEG. Hal ini didukung dengan propertis *fumed* silika yang digunakan sebagaimana dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, bahwa luas permukaan pada silika dengan diameter 0,007 μm lebih besar daripada silika dengan diameter 0.2 μm. Sehingga, jumlah gugus hidroksil pada silika dengan diameter 0,007 μm lebih banyak daripada silika dengan diameter 0.2 μm.





Gambar IV.2 Grafik FTIR membran (a) CPS1, (b) CPS2, (c) CPS3

Peningkatan ikatan hidrogen yang terbentuk terjadi akibat interaksi yang kuat antara oksigen atau hidrogen pada gugus hidroksil CA dengan oksigen atau hidrogen pada gugus Si-O-Si silika seperti pada **Gambar IV.3**. Sehingga hal ini memungkinkan semakin kecilnya ukuran *fumed* silika yang digunakan, maka akan akan menghasilkan semakin meningkatnya pembentukan gugus silanol, yang membuat semakin meningkatnya hidrofilitas membran.



Gambar IV.3 Skema intermolekular dan intramolekular ikatan hidrogen pada CA/PEG/fumed silika (Aneela dkk, 2014).

IV.3 Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Dengan menggunakan analisa SEM, dapat menunjukkan semakin jelasnya struktur morfologi membran yang dilihat dari bagian permukaan (*top surface*) dan bagian patahan (*fracture*

surface) membran, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.4**. Sesuai dengan gambar hasil analisa SEM, **Gambar IV.4(a)** menunjukkan penampang *top surface* yang rapat dan **(e)** *fracture surface* membran CP4 yang menunjukkan rongga pori. Hal ini dimungkinkan dengan terbentuknya lapisan selektif *layer* oleh CA yang menutupi pori pada permukaan membran. Penambahan *fumed* silika pada membran, yang ditunjukkan pada sample CPS1-5, CPS2-5, dan silika gel pada CPS3-5 memberikan perubahan yang signifikan dengan terbentuknya pori yang jelas pada *top surface* membran. Sehingga ini memungkinkan penambahan silika pada membran menghilangkan terbentuk selektif *layer* pada permukaan membran.

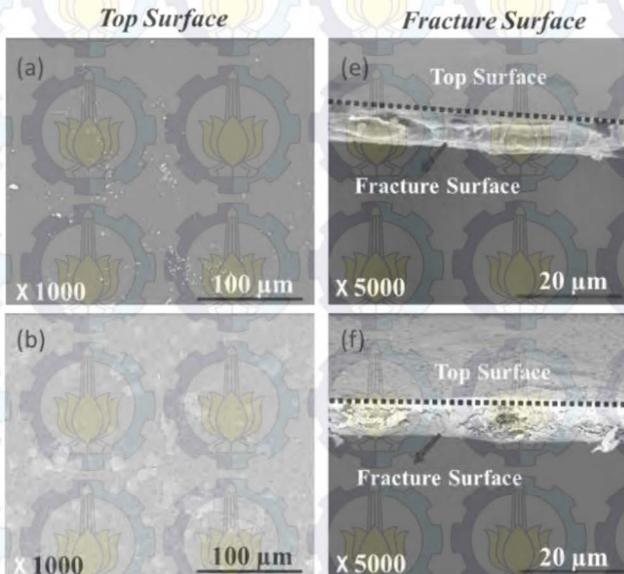
Gambar IV.4(b) dan **(c)** menunjukkan ukuran pori pada penambahan *fumed* silika $0.007\ \mu\text{m}$ (CPS1-5) yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan *fumed* silika $0.2\ \mu\text{m}$ (CPS2-5) dilihat dari *top surface* membran. Sedangkan penambahan silika gel $60\ \mu\text{m}$ (CPS3-5) menunjukkan pori yang rapat pada *top surface* membran. Dan dilihat dari bagian *fracture surface* pada **Gambar IV.4(e-f)**, pori yang terbentuk pada CPS1-5 terlihat lebih banyak dibandingkan dengan CP4, CPS2-5, dan CP3-5. Namun pada CP4 dan CPS3-5, terlihat sangat sedikit terbentuknya pori dan ukuran rongga yang relatif besar.

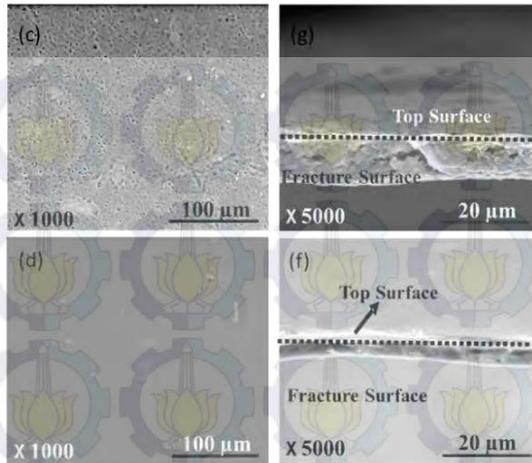
Dengan membandingkan pori yang terbentuk pada CPS1-5, terlihat relatif lebih banyak dibandingkan dengan pori pada CPS2-5, dapat dilihat bahwa dengan ukuran partikel *fumed* silika yang lebih kecil membuat semakin mudah terlarut dalam campuran CA/PEG dan luasan gugus hidroksil yang lebih besar membuat semakin besarnya peluang terbentuk gugus silanol pada membran. Sedangkan dengan membandingkan diameter pori yang terbentuk, dengan mengukur dari gambar analisa SEM pada membran CPS1-5 yang memperlihatkan pori yang lebih besar yaitu $2.26\ \mu\text{m}$ dibandingkan CPS1-5 yaitu $0.8321\ \mu\text{m}$ (dari *top surface*). Namun diameter pori pada CPS1-5 dan CPS3-5 tidak bisa diukur, karena pori yang sangat rapat dan gambar pori pada *top surface* yang

kurang jelas. Sehingga dapat dilihat membran CPS2-5 dan CPS3-5 memiliki *macropores* ($>0.05 \mu\text{m}$) dan termasuk dalam golongan mikrofiltrasi ($0.05 \mu\text{m}-10 \mu\text{m}$) (Fane dkk, 2011).

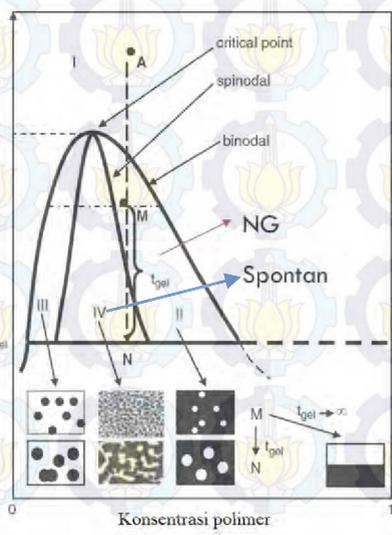
Gambar IV.5 menunjukkan skematik mekanisme pembentukan membran dengan proses TIPS. Saat larutan CA/PEG/ Aseton pada titik A dalam region I, larutan polimer berada dalam kondisi stabil dan homogen. Ketika temperatur secara seketika diturunkan (*quenching*) sampai menyentuh garis binodal maka larutan polimer akan mulai mengalami demixing menjadi dua phase yaitu *rich phase* (banyak mengandung polimer) dan *lean phase* (sedikit mengandung polimer) hingga mencapai region II pada kondisi metastabil seperti pada titik M, dimana secara perlahan polimer dan *solvent* akan terpisah dengan cara *nucleation and growth* (NG) yaitu pada *rich-phase* akan terbentuk *nucleus solvent* dan pada *lean-phase* akan terbentuk *nucleus* polimer yang secara perlahan antara *nucleus* polimer akan saling bergabung, terpisah dari *solvent* begitu juga pada *nucleus solvent* yang akan saling bergabung dan terpisah dari polimer. Dan ketika pendinginan mencapai garis spinodal pada region III yaitu area yang tidak stabil, maka demixing akan terjadi secara spontan. Antara polimer dan *solvent* akan langsung terpisah tanpa mengalami proses NG. Dan saat temperatur mencapai *glass transition* pada titik N maka larutan polimer akan mengalami proses *vetrification* dimana polimer akan berubah fase menjadi padat dan membran secara utuh akan terbentuk. Waktu yang diperlukan dari proses *demixing* (titik M) sampai mencapai *glass transition* (titik N) disebut t_{gel} . Sehingga dengan semakin besar t_{g} akan memberikan struktur membran yang rapat, akibat dari semakin lamanya proses *demixing* (memberikan pemisahan yang lebih sempurna) (Ren dkk, 2008). Dimana proses *demixing* ini sangat dipengaruhi oleh viskositas, dengan Viskositas yang rendah pada larutan polimer saat *phase separation*, akan mengakibatkan semakin mudahnya *solvent* terpisah dari polimer dan memberikan pembentukan droplet (rongga). (Chang dkk, 2015).

Jika dibandingkan konsentrasi polimer CA/PEG terhadap aseton yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebesar 14.7 % wt/v dengan konsentrasi optimal membran RO ≥ 20 % wt dari literatur (Baker dkk, 2004), memungkinkan membran CA/PEG yang terbentuk menjadi lebih rapat (tidak berpori) dan berongga dikarenakan viskositas yang terlalu rendah yang mengakibatkan lebih mudah dan cepatnya proses *demixing* yang mungkin terjadi (t_g semakin kecil). Sedangkan saat penambahan *fumed* silika, membran yang terbentuk menunjukkan, meningkatnya pori yang terbentuk, akibat interaksi *fumed* silika terhadap polimer CA dalam ikatan hidrogen yang membuat meningkatnya viskositas. Selain itu *rate* pendinginan (*quenching*) yang mungkin masih rendah, mengakibatkan t_g yang relatif besar, sehingga mengakibatkan proses *demixing* yang lebih lama dan sempurna.





Gambar IV.4 Penampang *top surface* membran (a) CP4, (b) CPS1-5, (c) CPS2-5, (d) CPS3-5 dan penampang *fracture Surface* (e) CP4, (f) CPS1-5, (g) CPS2-5, (h) CPS3-5



Gambar IV.5 Skema *phase diagram* dengan *thermally induced phase separation* (Ren dkk, 2008).

IV.4 Reverse Osmosis (RO) Test

Tabel IV.1 Perbandingan Performa kinerja membran CP4, CPS1, CPS2, CPS3

Variabel	Fluks permeat ($L.m^{-2}.jam^{-1}$)	Rijeksi Garam (%)	Permeabilitas ($L.m^{-2}.jam^{-1}.bar^{-1}$)
CP4	0.28	26.36	0.05
CPS1-5	1.04	29.87	0.21
CPS2-5	0.57	36.88	0.11
CPS3-5	0.45	27.68	0.09

Tabel IV.2 Performa kinerja membran CPS2

Variabel	Fluks permeat ($L.m^{-2}.jam^{-1}$)	Rijeksi Garam (%)	Permeabilitas ($L.m^{-2}.jam^{-1}.bar^{-1}$)
CPS2-1	0.15	29.87	0.02
CPS2-2	0.16	29.87	0.03
CPS2-3	0.22	34.25	0.04
CPS2-4	0.28	36.88	0.05
CPS2-5	0.56	36.88	0.11

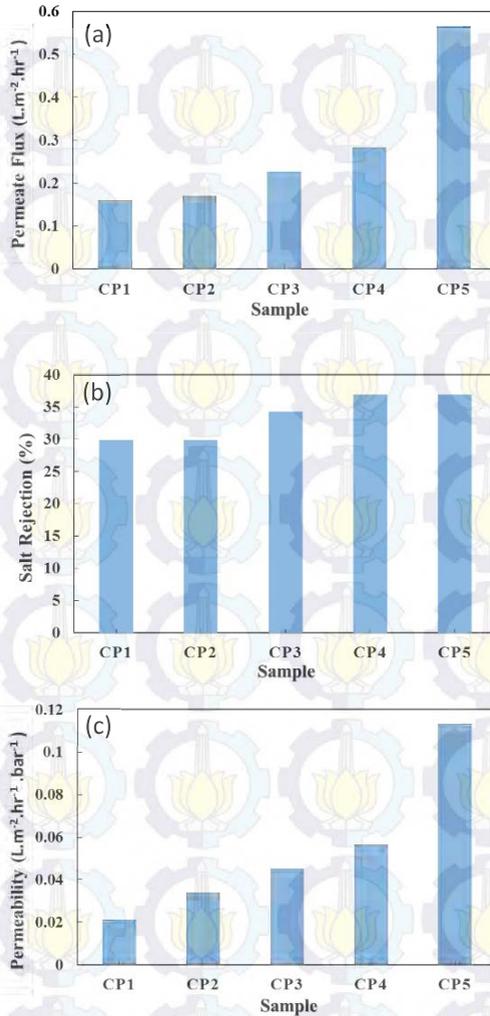
Pengukuran kinerja membran dilihat dari fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas membran. Pada RO test, air umpan yang digunakan adalah air payau sintesis dengan kadar garam 5000 ppm. Air umpan ditekan dengan gas nitrogen pada modul RO dengan tekanan 5 bar yang diamati selama 5 jam. Penggunaan tekanan 5 bar dipilih berdasarkan tekanan osmotik membran terhadap air payau 5000 ppm, yaitu sebesar 3.8 bar.

Dari data hasil eksperimen yang didapat pada **Tabel IV.1** terlihat bahwa perbandingan performa membran CP4, CPS1-5, CPS2-5, dan CPS3-5 menunjukkan fluks permeat dan permeabilitas yang paling besar didapatkan dari membran CPS1-5 yaitu sebesar $1.04 L.m^{-2}.jam^{-1}$, namun memiliki rijeksi garam yang lebih rendah dibandingkan membran CPS2-5 yang memiliki rijeksi garam paling tinggi yaitu sebesar 36.88 %. Sedangkan pada membran CP4 memberikan hasil fluks permeat ($0.28 L.m^{-2}.jam^{-1}$) dan rijeksi

garam (26.36 %) yang paling rendah serta permeabilitas ($0.05 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jam}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$) yang paling rendah. Namun jika dibandingkan dengan performa membran komersil pada **Tabel IV.3**, membran hasil dari sintesis polimer menunjukkan performa membran yang jauh lebih rendah, dimana membran dari *Toyobo 16-in.HB10255* yang tersusun oleh *cellulose tri-acetate* dapat memberikan rijeksi garam sampai 99.6% dan fluks permeat sebesar $67 \text{ m}^3\cdot\text{hari}^{-1}$.

Tabel IV.3 Perbandingan Performa kinerja membrane komersil (Lee dkk, 2011)

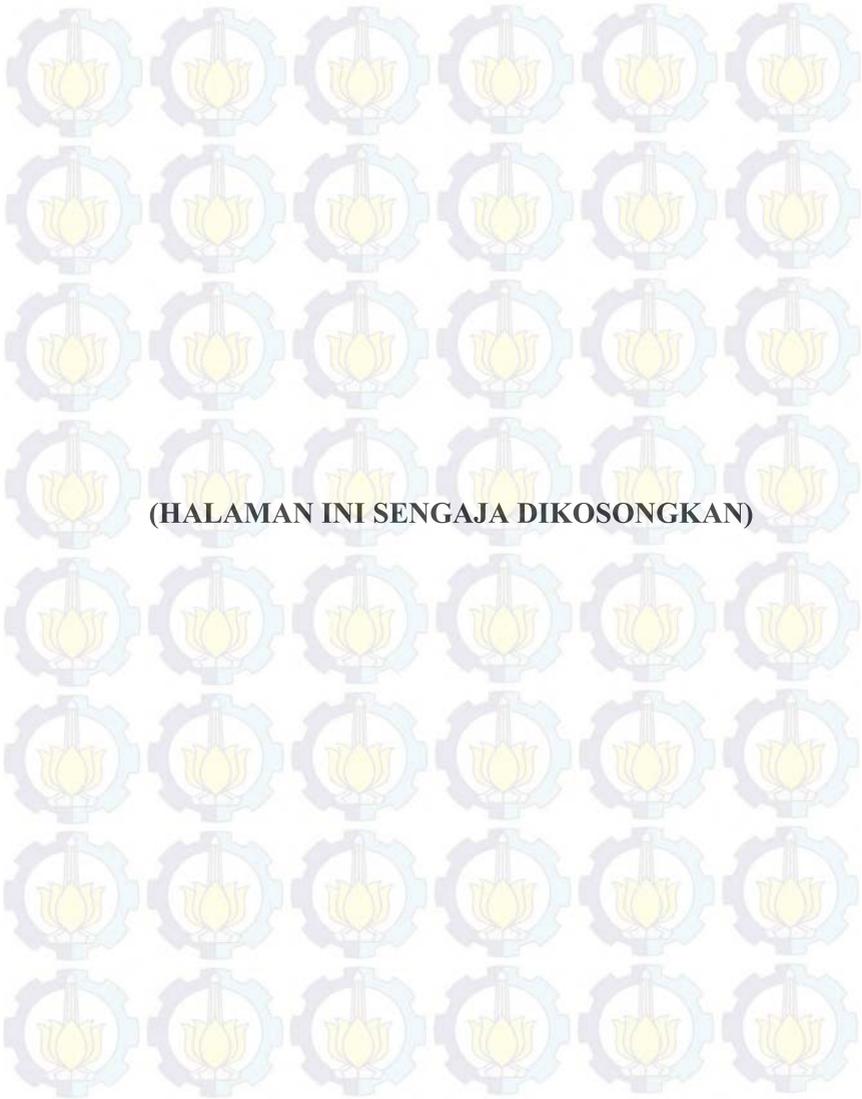
Membran modul Brand	Material & modul	Rijeksi Garam (%)	Fluks Permeat ($\text{m}^3\cdot\text{hari}^{-1}$)
<i>DOWFILMTECTM 8-in. SW30HRLE</i>	<i>TFC cross linked fully aromatic polyamide spiral wound</i>	99.6-99.75	28
<i>Hydranautics 8in. SWC4+</i>	<i>TFC cross linked fully aromatic polyamide spiral wound</i>	99.7-99.8	24.6
<i>Toray 8-in.TM820C</i>	<i>TFC cross linked fully aromatic polyamide spiral wound</i>	99.5-99.75	19.7-24.6
<i>Toyobo 16-in.HB10255</i>	<i>Asymmetric cellulose tri-acetate hollow fibre</i>	99.4-99.6	60-67



Gambar. IV.6 Grafik performa kinerja membran CPS2, (a) Fluks Permeat, (b) Rijeksi Garam, (c) Permeabilitas membran

Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil analisa SEM pada membran CPS1-5 yang memperlihatkan pori yang besar yaitu $2.26 \mu\text{m}$ (pada *top surface*) dan jumlah yang relatif banyak (pada *fracture surface*) sehingga memberikan fluks permeat yang paling besar. Sedangkan pada membran CPS2-5 dengan rijeksi garam yang paling bagus dikarenakan ukuran pori yang lebih kecil dibandingkan CPS1-5 yaitu $0.8321 \mu\text{m}$ (pada *top surface*) yang memberikan pori paling optimal dibandingkan CPS1-5 dan CPS3-5. Sedangkan pada membran CPS3-5 menunjukkan fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas yang paling rendah karena jumlah pori yang sedikit dan ukuran rongga pori yang besar seperti yang terlihat pada Gambar IV.4(d) dan (f).

Sedangkan peningkatan konsentrasi penambahan *fumed* silika $0.2 \mu\text{m}$, dimana peningkatan penambahan konsentrasi *fumed* silika dari 1%-5% dibandingkan membran CP4 (membran control), menunjukkan peningkatan fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas membran seperti pada **Gambar IV.6(a-c)**. Dimana CPS2-1 menunjukkan fluks permeat terkecil yaitu $0.15 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$, rijeksi garam terkecil yaitu 29.87% dan permeabilitas membran terkecil yaitu $0.02 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}.\text{bar}^{-1}$ dan performa terbaik didapatkan dari CPS2-5 seperti penjelasan sebelumnya. Hal ini sesuai dengan teori dimana penambahan konsentrasi *fumed* silika memberikan peningkatan fluks permeat, rijeksi garam dan permeabilitas membran karena interaksi silika terhadap CA/PEG mengganggu interaksi rantai polimer dengan membentuk mikropori *defect* antara partikel anorganik dan *interface* polimer (Adnan dkk, 2014) yang meningkatkan rijeksi garam. Seperti pada penjelasan sebelumnya, analisa FTIR yang menunjukkan peningkatan konsentrasi *fumed* silika yang membuat meningkatnya luasan area gugus silanol pada membran yang membuat membran semakin hidrofilik yang memungkinkan peningkatan fluks permeat dan permeabilitas membran.



DAFTAR PUSTAKA

Abdulreza Tabe.M; Juan P. Garcia V.; Hyo J. Kim; Thereza Chan;Vanesa R. *Effects of Polymer Solvents on the Performance of Cellulose Acetate Membranes in Methanol/Methyl Tertiary Butyl Ether Separation.***2001**

Adnan Ahmad; Sidra Waheed ; Shahzad Maqsood Khan; Sabad e-Gul; Muhammad Shafiq;Muhammad Farooq; Khairuddin Sanaullah; Tahir Jamil. *Effect of silica on the properties of cellulose acetate/polyethylene glycol membranes for reverse osmosis*, Desalination 355 , **2014**, 1–10.

Amy E. Childress; Jonathan A. Brant; Pawel Rempala; Donald W. Phipps Jr.; Pierre Kwan. *Evaluation of Membrane Characterization Methods*, Water Research Fondation. **2012**.

Andre' Ayrat; Anne Julbe; Vincent Rouessac; Ste'phanie Roualdes;Jean Durand. *Microporous Silica Membrane: Basic Principles and Recent Advances*, Membrane Science and Technology Volume 13, **2008**.

Aneela Sabir ; Atif Islam ; Muhammad Shafiq ; Amir Shafeeq; Muhammad Taqi Zahid Butt ;Nasir M. Ahmad ; Khairuddin Sanaullah ; Tahir Jamil. *Novel polymer matrix composite membrane doped with fumed silica particles for reverse osmosis desalination* , Desalination, **2014**.

Boor Singh Lalia; Victor Kochkodan; Raed Hashaikeh; Nidal Hilal. *A review on membrane fabrication: Structure, properties, adn performance relationship*, Journal of desalination, **2013**.

Boussu, K., J. D. Baerdemaeker, C. Dauwe, M. Weber, K. G. Lynn, D. Depla, S. Aldea, I. F. J. Vankelecom, C. Vandecasteele and B. Van der Bruggen, *ChemPhysChem* **2007**, 8 (3),370 - 379.

Boussu K.; B. Van der Bruggen; C. Vandecasteele. *Evaluation of self-made nanoporous polyethersulfone membranes, relative to commercial nanofiltration membranes*, Desalination 200,**2006**, 416–418.

Chou, W. L ; Yu, D. G; Chien, M; Yang, C. H. J. *Effect of molecular weight and concentration of PEG additives on morphology and permeation performance of cellulose acetate* , Sciencedirect Separation and Purification Technology, **2007**.

Hsu-Hsien Chang; Konstantinos G. Beltsios; Hsuan-Fu Yu, Yu-Hsuan Wu; Liao-Ping Cheng. *Novel phase inversion process for symmetric membrane formation through thermal quenching of polymer solution in same solvent*. Journal Applied Polymer Science, **2015**.

Dietrich Fengel; Gerd Wegener. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions* **1984**, 613pp

Dongmei Li a; William B. Krantz ; Alan R. Greenberg; Robert L. Sani. *Membrane formation via thermally induced phase separation (TIPS): Model development and validation*, Journal of Membrane Science 279, **2005**, 50–60

Ehsan Saljoughi; Mohtada Sadrzadeh; Toraj Mohammadi. *Effect of preparation variables on morphology and pure water permeation flux through asymmetric cellulose acetate membranes*, Journal of Membrane Science, **2008**.

Fane, AG; Tang, CY; Wang, R. *Membrane Technology for Water: Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, and Reverse Osmosis*, Nanyang Technological University, **2011**.

I. Pinnau; B.D. Freeman. *Formation and modification of polymeric membranes: overview*, Membr. Form. Modif. 744, **2000**, 1–22.

Kew-Ho Lee;Jeong-Hoon Kim. *Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion*, Journal of Membrane Science 138 ,**1997**,153-163.

M.A. Ashraf a; M.J. Maah a; A.K. Qureshi a; M. Gharibreza b & I. Yusoff .*Synthetic polymer composite membrane for the desalination of saline water*, Desalination and Water Treatment, **2013**.

Mulder, M. *Basic Principles of Membrane Technology 2nd ed.* Kluwer Academic Publishers: **1996**.

Müller, R. H. and W. Mehnert. *Particle and surface characterisation methods*. Medpharm Scientific Publishers: Stuttgart, **1997**.

Nugro Raharjo, P. *Masalah Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Tiga Desa di Kabupaten Ende* JAI Vol.4, **2008**.

Rajindar Singh. *MEMBRANE TECHNOLOGY AND ENGINEERING FORM WATER PURIFICATION*, Application Systems Design and Operation 2^{ed}, **2015**.

P. Radovanovic;S.W. Thiel; S.T. Hwang.*Formation of asymmetric polysulfone membranes by immersion precipitation* , Modeling mass-transport during gelation, J. Membr. Sci. 65, **1992**, 213–229

Shaheen Fatima Anis; Boor Singh Lalia; Raed Hashaikeh.*Controlling swelling behavior of poly (vinyl) alcohol via networked cellulose and its application as a reverse osmosis membrane*, Desalination, **2014**.

Salazar, Ana Catalina Duque. *Development of Silica Containing Materials for the Adsorption of Organic Compounds*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Ingeniería Química Manizales, Colombia, **2011**.

Ren. J ; Rong W. Preparation of Polymeric Membranes,**2008**.

R.F. Silva; M. De Francesco; A. Pozio. *Solution-cast Nafion® ionomer membranes:preparation and characterization*, Electrochim. Acta 49 ,**2004**, 3211–3219.

R.W. Baker. *Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, England, **2004**.

Tilak Gullinkala; Brett Digman; Colleen Gorey; Richard Hausman; Isabel C. Escobar. *Desalination: Reverse Osmosis and Membrane Distillation*, Sustainability Science and Engineering Vol. 2, **2010**.

W.Y. Chuang; T.H. Young, W.Y. Chiu; C.Y. Lin. *The effect of polymeric additives on the structure and permeability of poly(vinyl alcohol) asymmetric membranes*, Polymer 41, **2000**, 5633–5641.

http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_glycol, 15/01/2015, (21:35)

http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html, 14/06/2015, (19:05)

http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html, 18/06/2015, (20:08)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

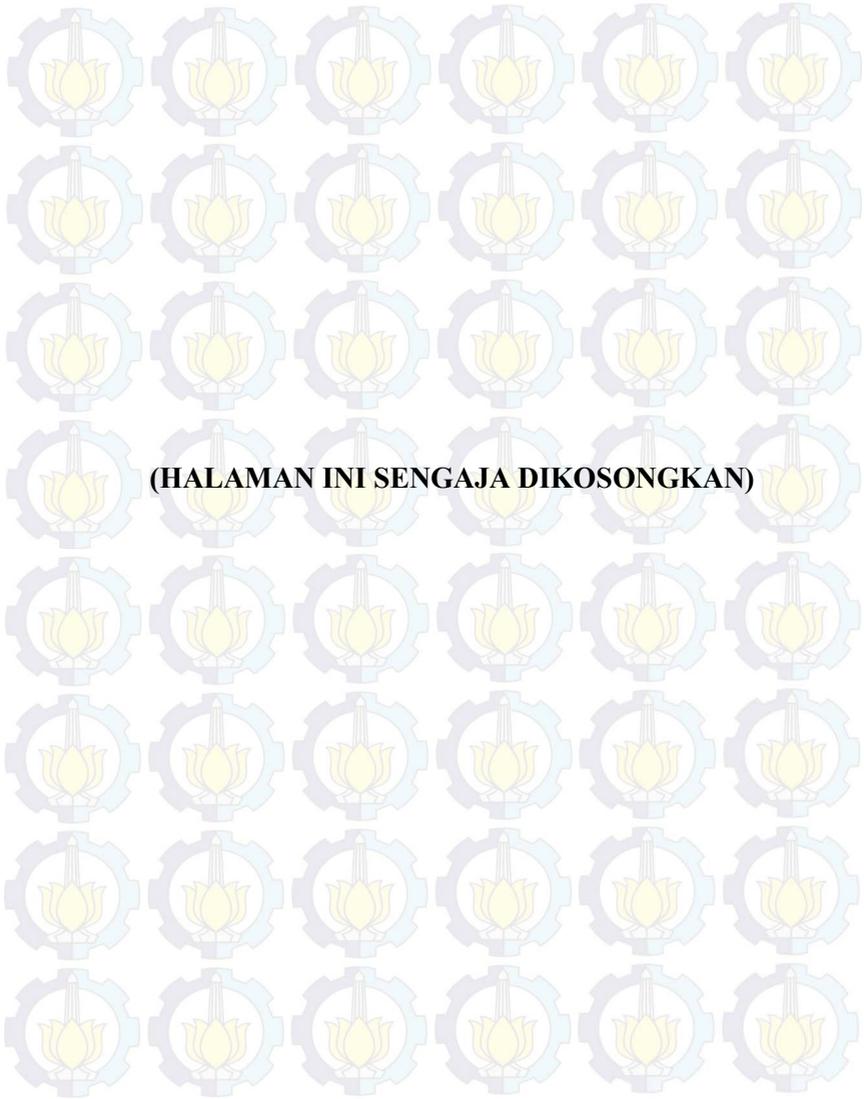
Dari hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin meningkat komposisi CA dan menurunnya komposisi PEG di dalam polimer membran membuat membran semakin *dense* dan hidrofilisitas yang semakin menurun.
2. Hidrofilisitas membran, fluks permeat, dan permeabilitas semakin meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel silika dan semakin besarnya konsentrasi silika yang ditambahkan ke membran CA/PEG. Dan rijeksi garam yang paling optimal ditunjukkan oleh penambahan ukuran silika 0.2 μm .
3. Membran yang paling optimal untuk proses desalinasi adalah pada komposisi CA/PEG 80/20 dengan penambahan silika 0.2 μm sebesar 5% dengan fluks permeat sebesar 0.56 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jam}^{-1}$, rijeksi garam sebesar 36,88%, dan permeabilitas sebesar 0.11 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{jam}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$

V.2. Saran

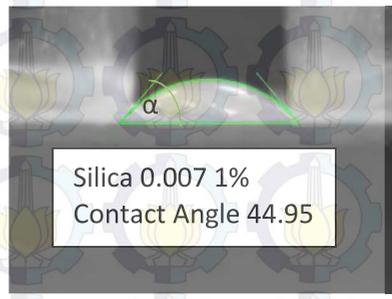
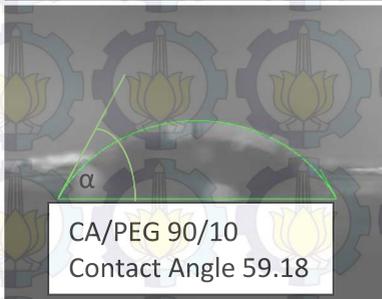
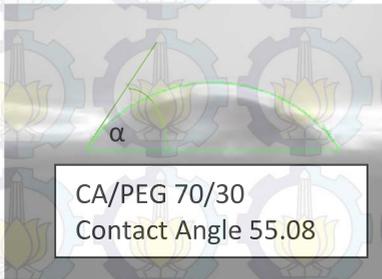
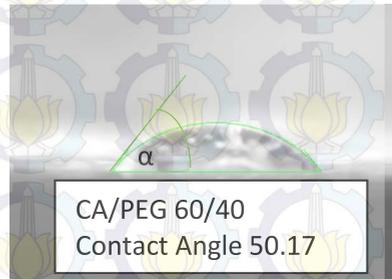
Dari hasil percobaan maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

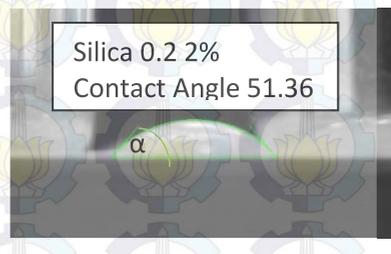
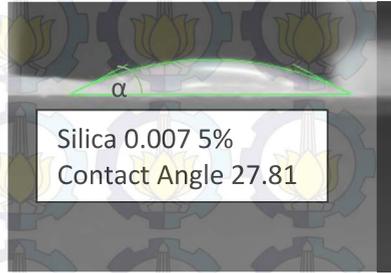
1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap range ukuran partikel silika gel yang dapat memberikan performa membran yang lebih baik dibandingkan dengan fumed silika.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap polimer/solven (w/v) untuk mendapatkan pori yang dapat mendukung optimalisasi kinerja membran.

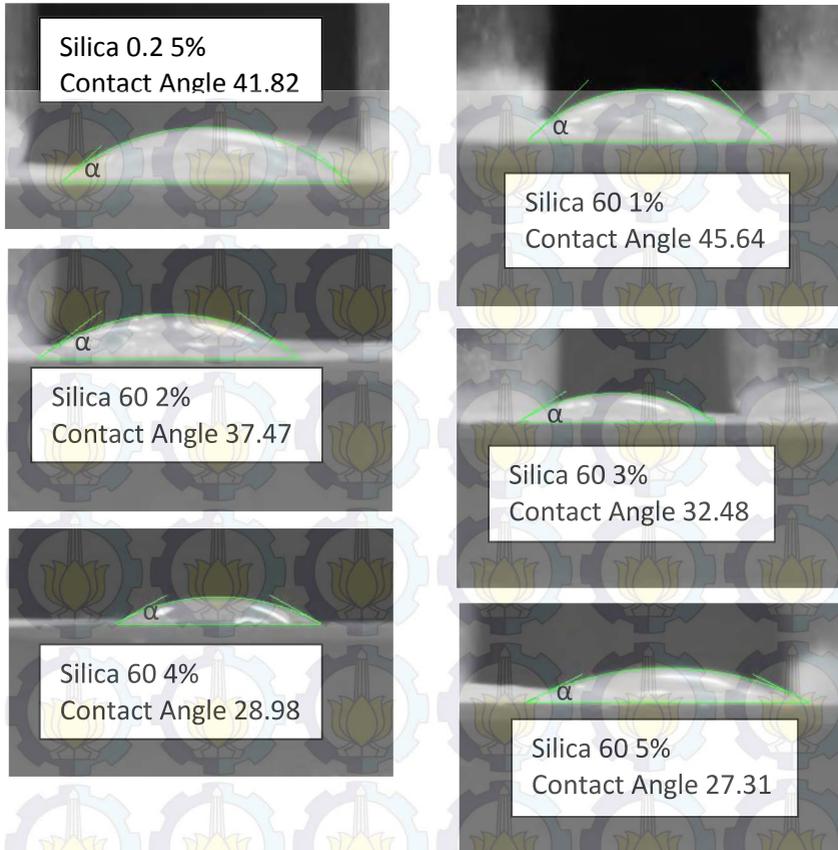


APPENDIKS A HASIL PERCOBAAN

A.1. Hasil Sudut Kontak



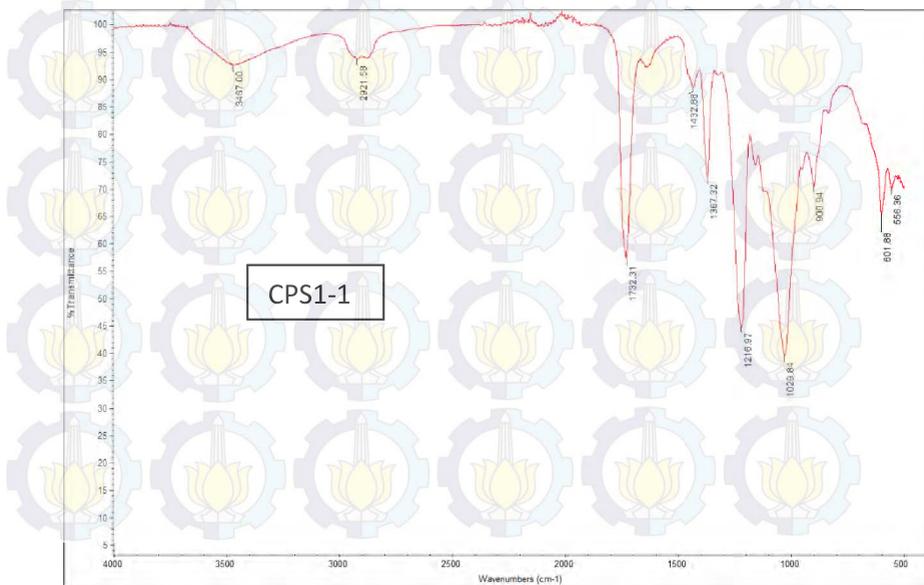
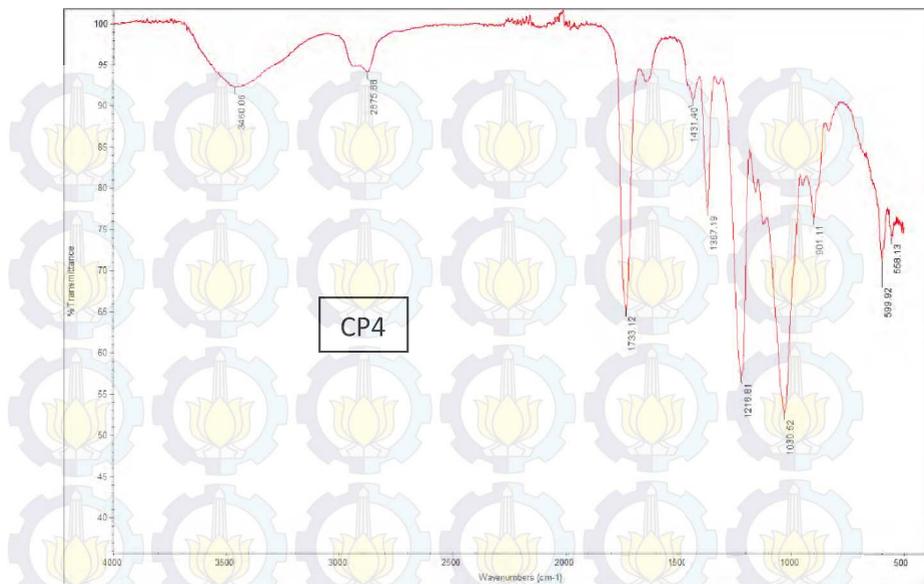


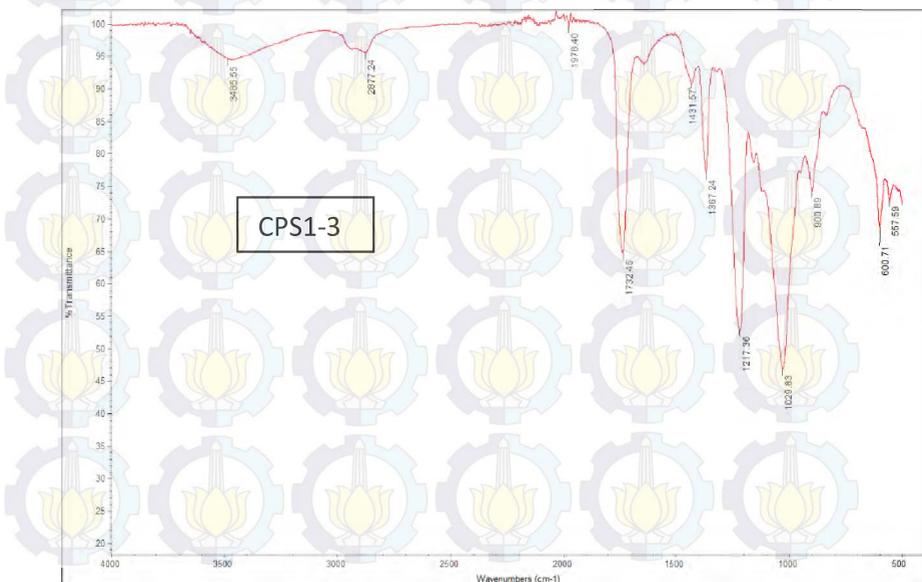
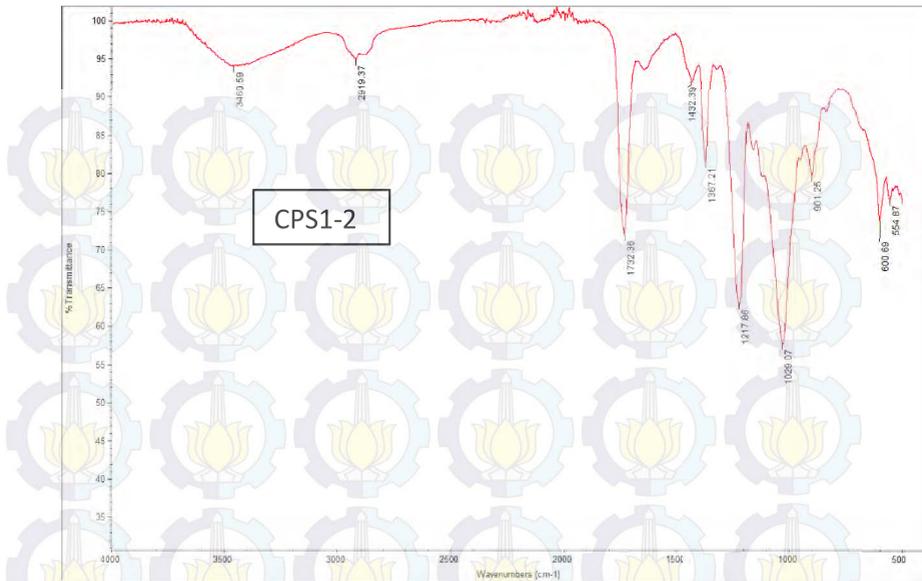


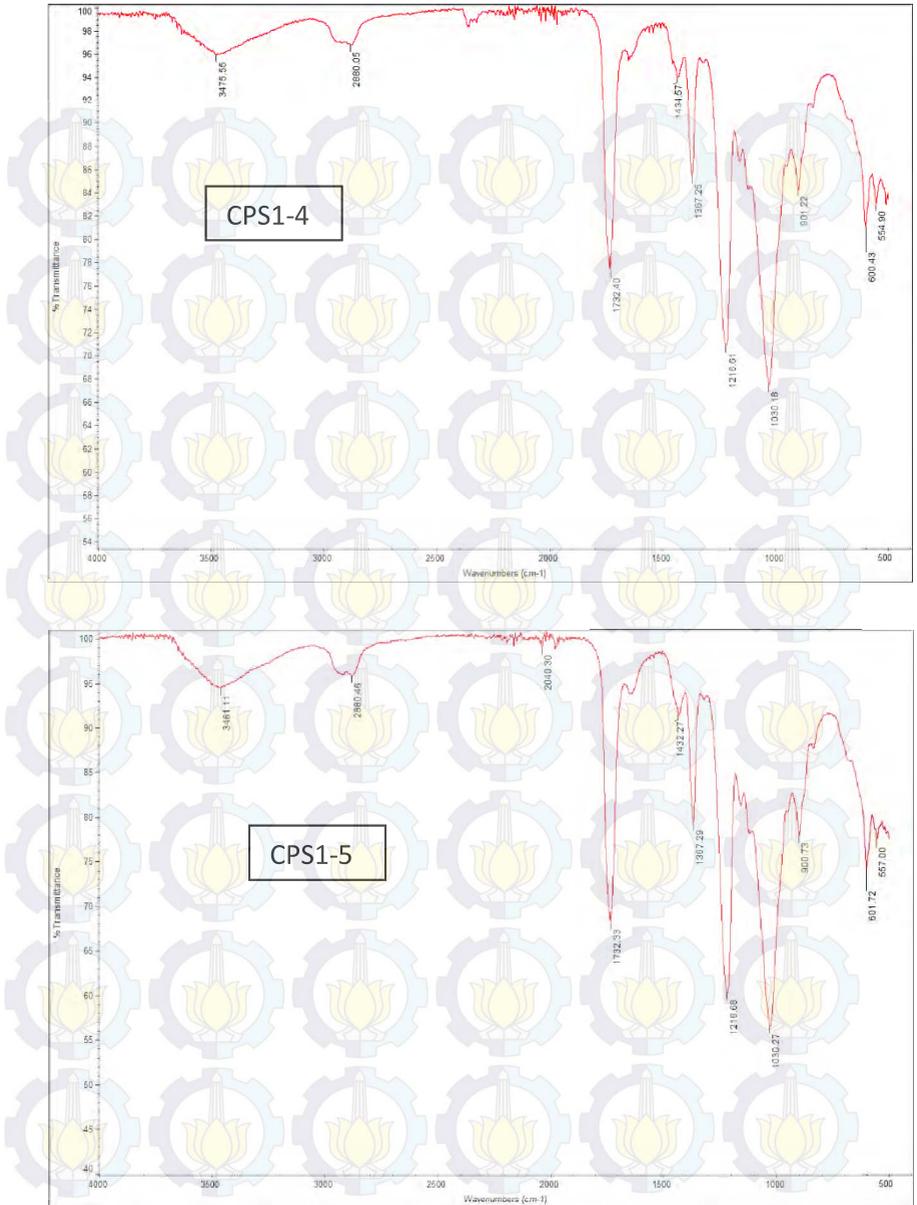
Tabel A.1 Hasil analisa sudut kontak membran

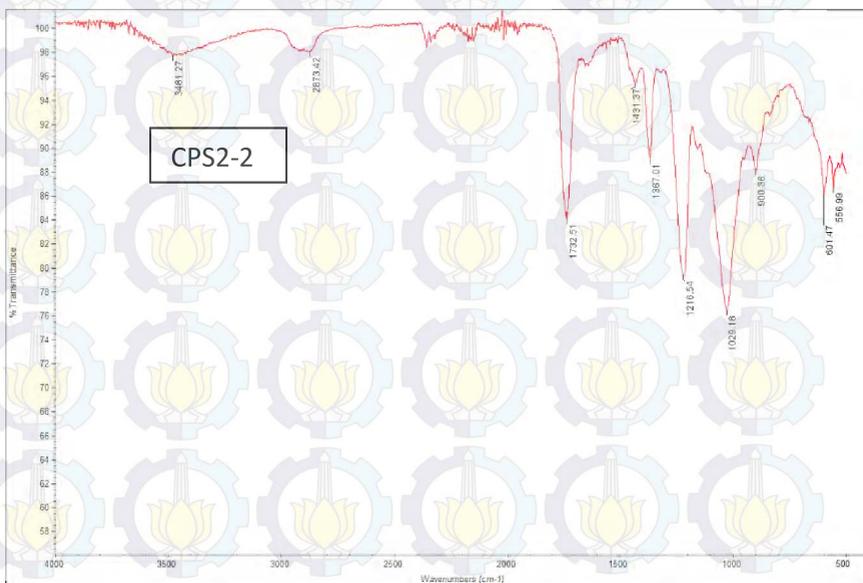
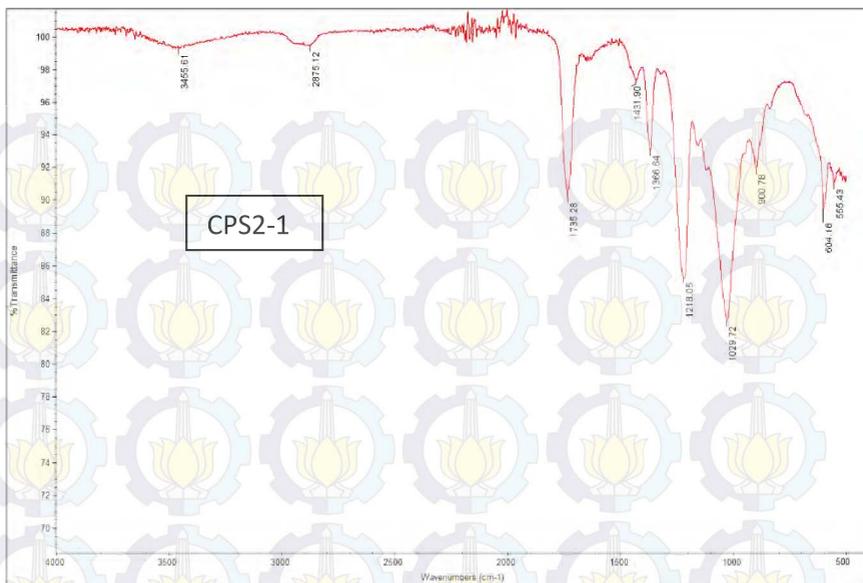
Variabel	Sudut Kontak (°)						
CP1	46.82	CPS1-1	52.56	CPS2-1	44.95	CPS3-1	45.64
CP2	50.17	CPS1-2	51.36	CPS2-2	35.45	CPS3-2	37.47
CP3	55.08	CPS1-3	48.84	CPS2-3	31.77	CPS3-3	32.48
CP4	56.74	CPS1-4	46.25	CPS2-4	28.82	CPS3-4	28.98
CP5	59.18	CPS1-5	41.85	CPS2-5	27.81	CPS3-5	27.31

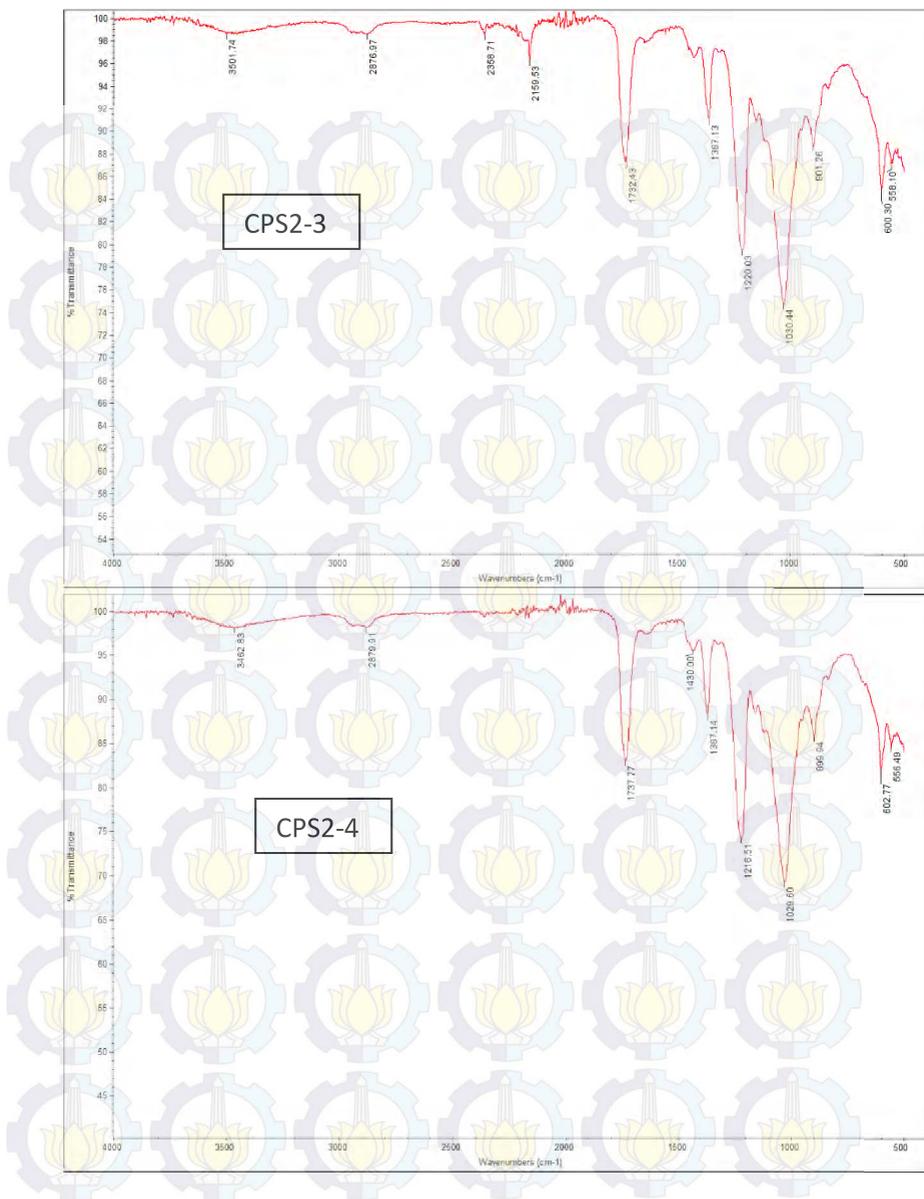
A.2. Hasil FTIR

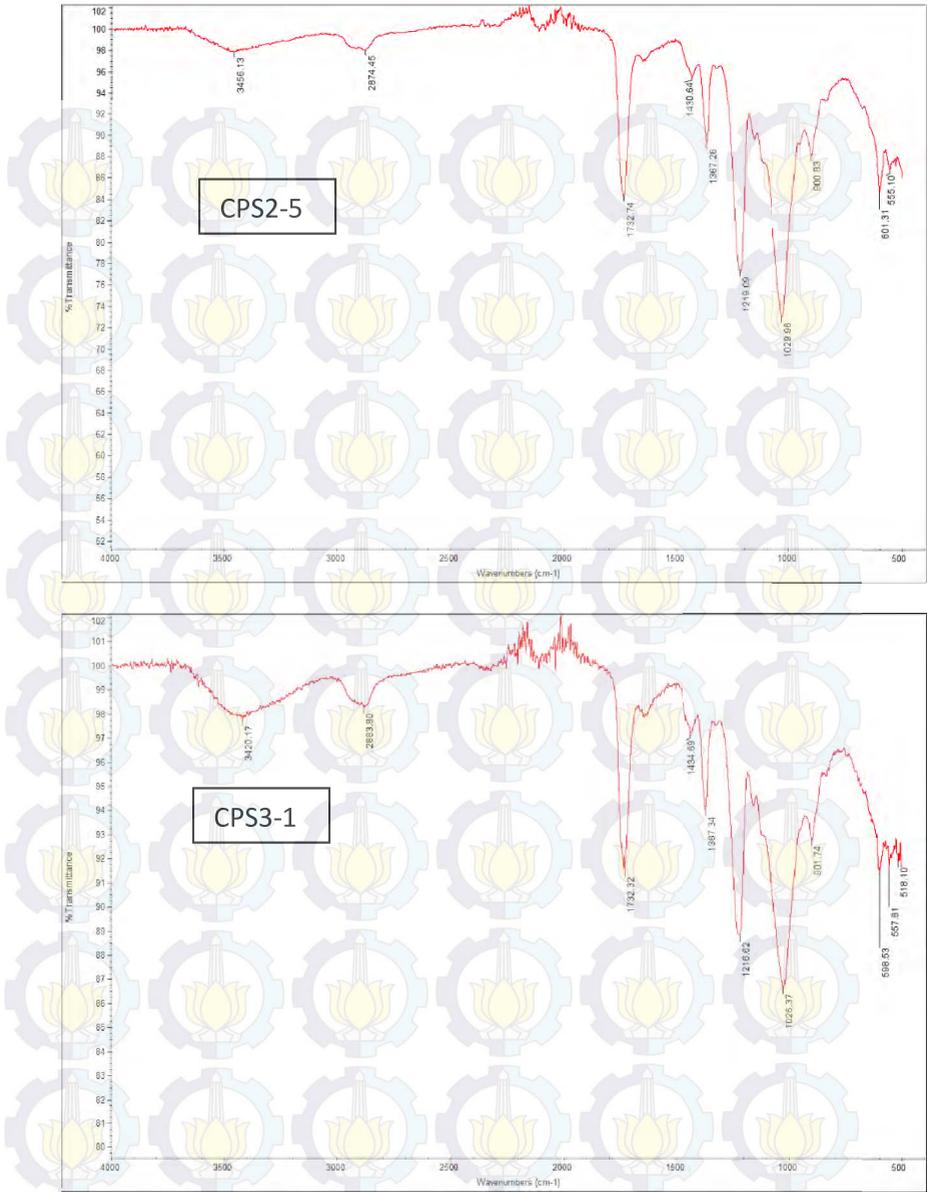


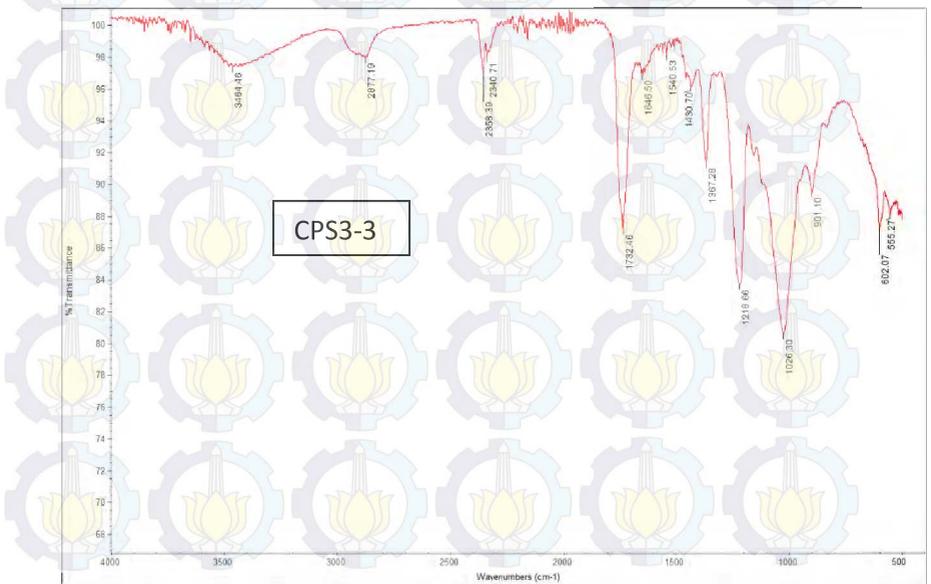
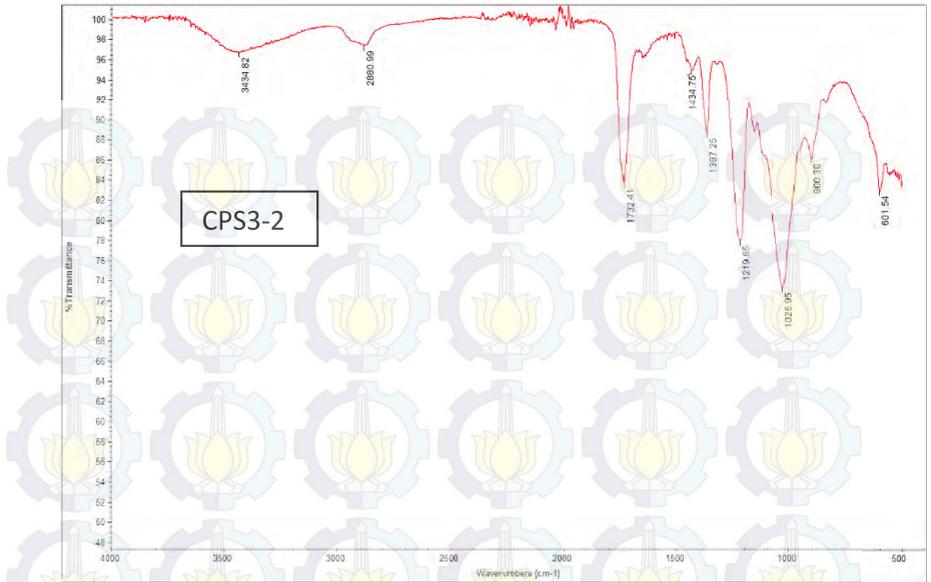


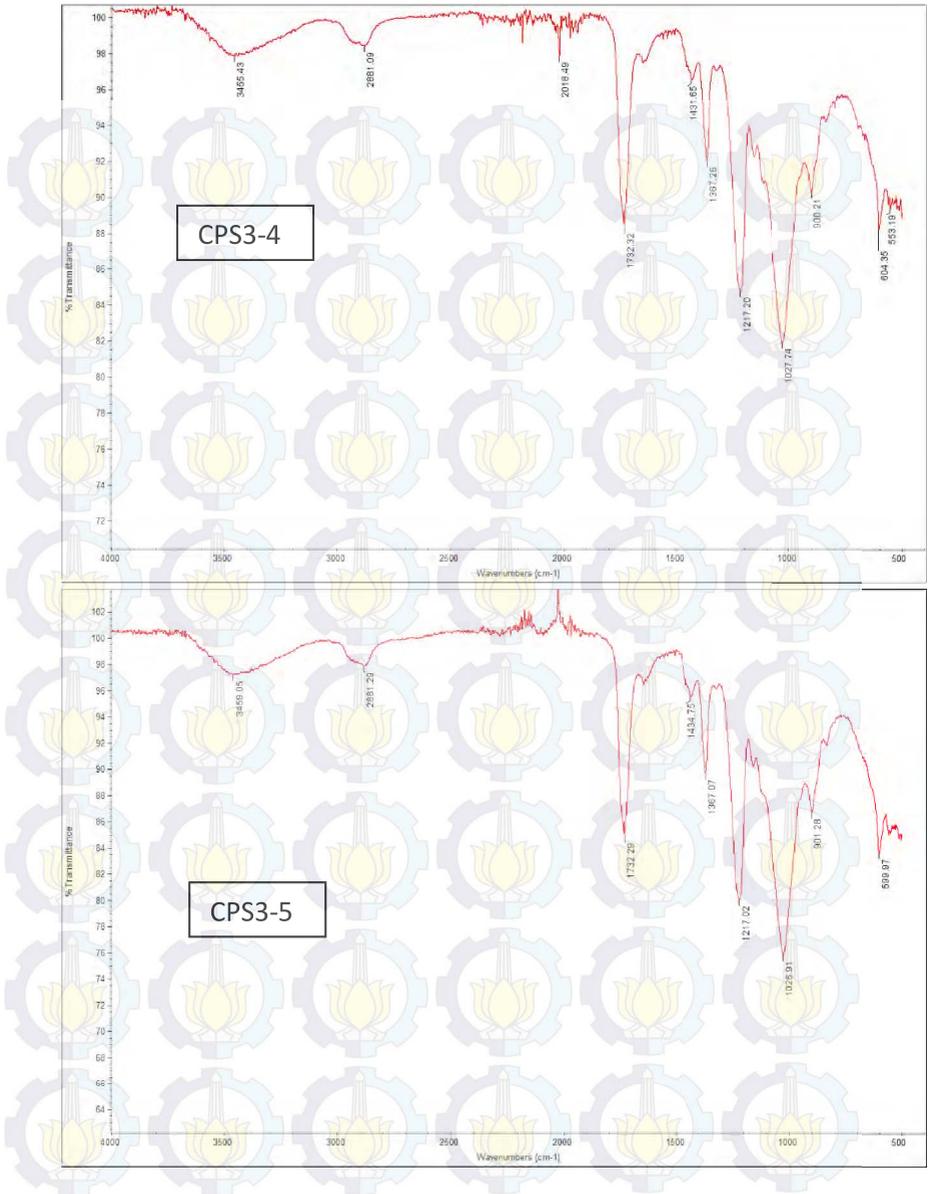




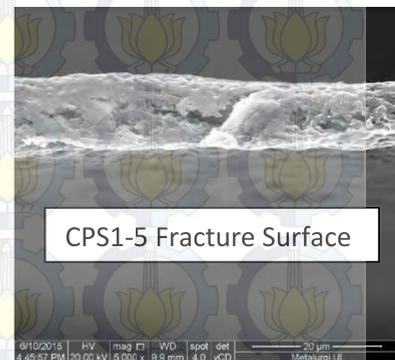
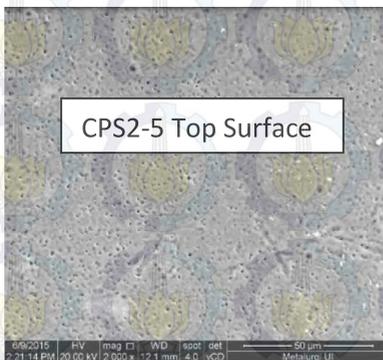
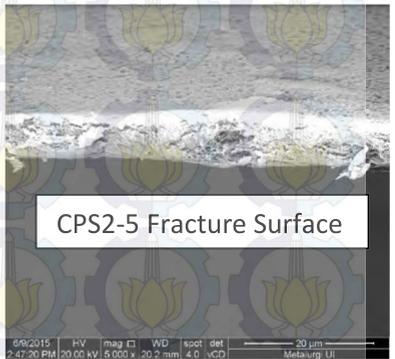
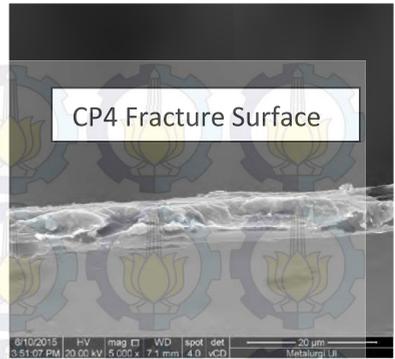
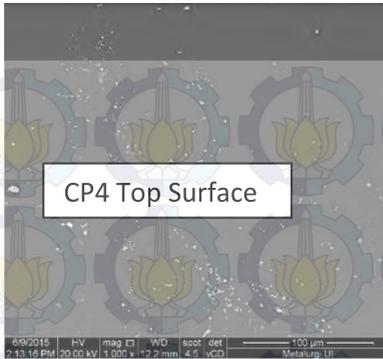


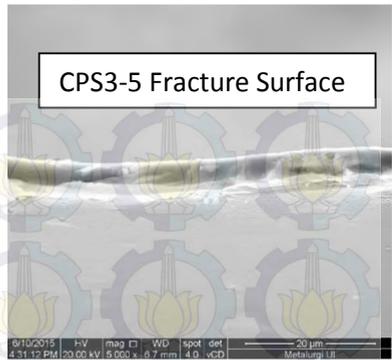
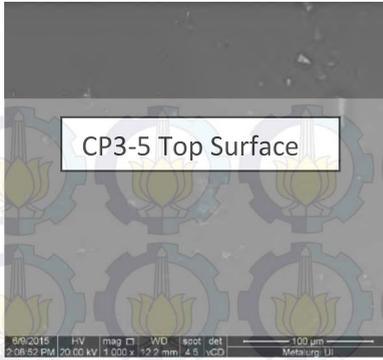






A.3. Hasil SEM





A.4. Hasil *Reverse Osmosis*

Tabel A.2 Hasil uji *reverse osmosis*

Variabel	Tekanan (bar)	Diameter membrane (cm)	Luas membrane (m ²)
CP1	5	2.7	5.72
CP2	5	2.7	5.72
CP3	5	2.7	5.72
CP4	5	2.7	5.72
CP4	5	2.7	5.72
CPS1-5	5	3	7.06
CPS2-1	5	3	7.06
CPS2-2	5	3	7.06
CPS2-3	5	3	7.06
CPS2-5	5	3	7.06
CPS2-5	5	3	7.06
CPS3-5	5	3	7.06

Variabel	Permeat (ml)	Waktu (jam)	Volume Titran (ml)	TDS Awal (ppm)
CP1	-	5	-	5000
CP2	-	5	-	5000
CP3	-	5	-	5000
CP4	1	5	0.7	5000
CP5	-	5	-	5000
CPS1-5	3	5	2	5000
CPS2-1	1.8	16	1.2	5000
CPS2-2	0.6	5	0.4	5000
CPS2-3	0.8	5	0.5	5000
CPS2-4	2	5	1.5	5000
CPS2-5	2	5	1.2	5000
CPS3-5	1.6	5	1.1	5000

APPENDIKS B

METODE ANALISA

B.1. Metode analisa kadar garam

Metode analisa garam yang digunakan pada percobaan ini adalah titrasi pengendapan. Adapun langkahnya sebagai berikut :

- Ukur 3 ml permeal yang didapatkan dari uji RO
- Teteskan 5 tetes larutan K_2CrO_4
- Menitrasi permeal yang telah ditambahkan K_2CrO_4 menggunakan larutan $AgNO_3$ 0.09 M hingga terbentuk endapan berwarna merah bata
- Hitung jumlah larutan $AgNO_3$ yang terpakai. Lalu hitung kadar garam dengan rumus sebagai berikut

$$n \text{ AgNO}_3 = V \text{ AgNO}_3 \times M \text{ AgNO}_3$$

$$n \text{ NaCl} = n \text{ AgNO}_3$$

$$m \text{ NaCl} = n \text{ NaCl} \times \text{BM NaCl}$$

$$\text{Kadar garam} = m \text{ NaCl} / V \text{ permeal} \times 1000$$

Keterangan : $n \text{ AgNO}_3 = \text{mol AgNO}_3$ (mmol)

$V \text{ AgNO}_3 = \text{volume AgNO}_3$ (ml)

$M \text{ AgNO}_3 = \text{molaritas AgNO}_3$ (molar)

$n \text{ NaCl} = \text{mol NaCl}$ (mmol)

$\text{BM NaCl} = \text{berat molekul NaCl}$ (g/mol)

$V \text{ permeal} = \text{volume permeal}$ (ml)

B.2. Metode Analisa Sudut Kontak

Metode analisa sudut kontak yang digunakan menggunakan program *ImageJ* dengan metode *Drop Analysis LB-ADSA*. Langkah-langkahnya sebagai berikut

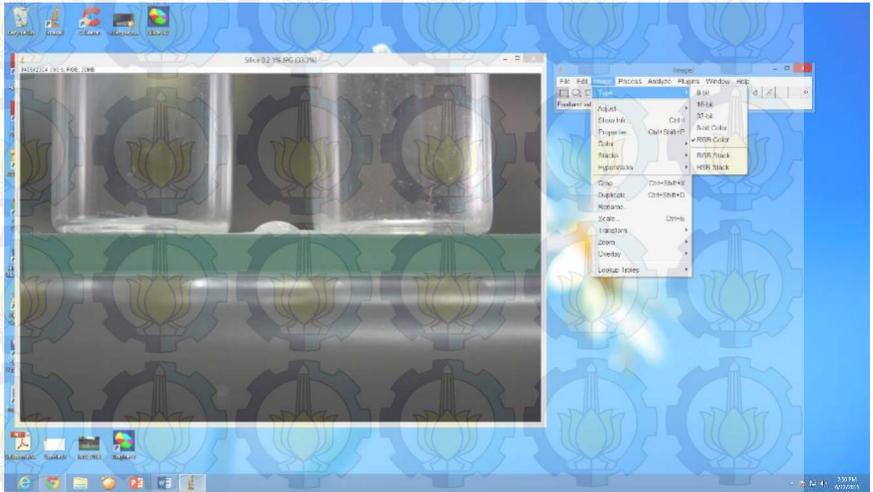
- Membuka software *ImageJ*



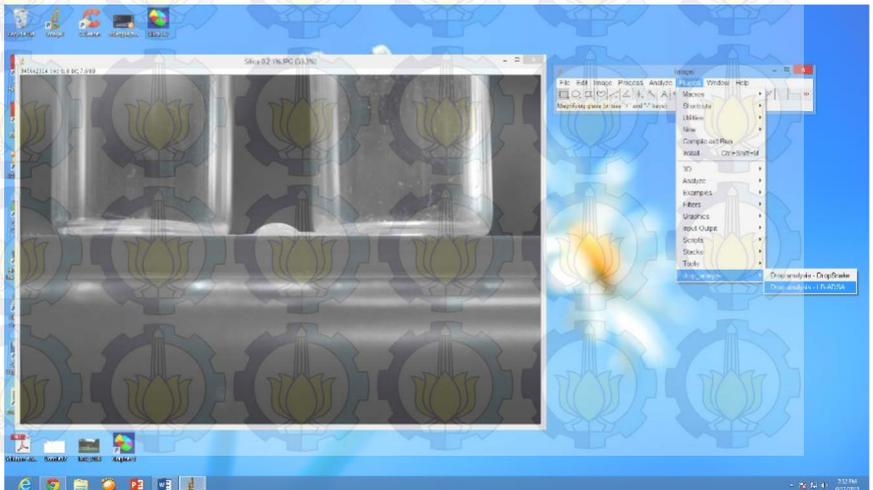
- Membuka gambar yang ingin dianalisa



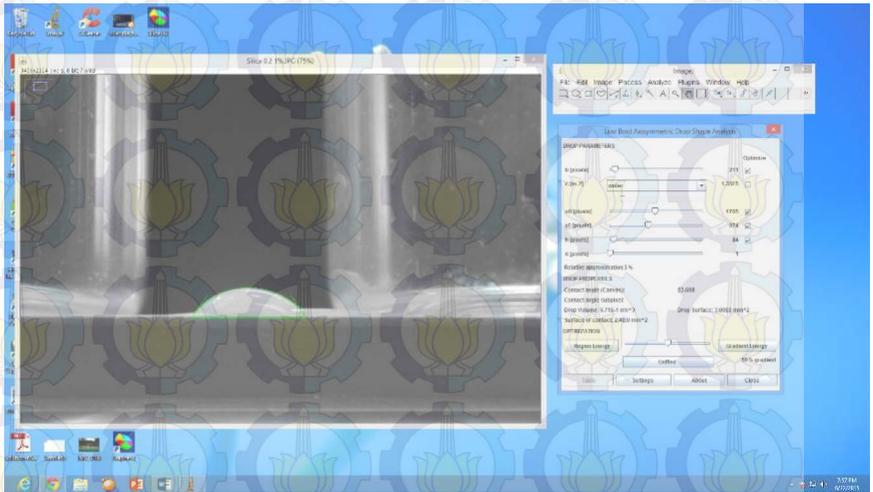
- Pada task bar Image pilih type lalu pilih 8 bit untuk mengubah gambar menjadi dalam bentuk grayscale agar dapat dianalisa



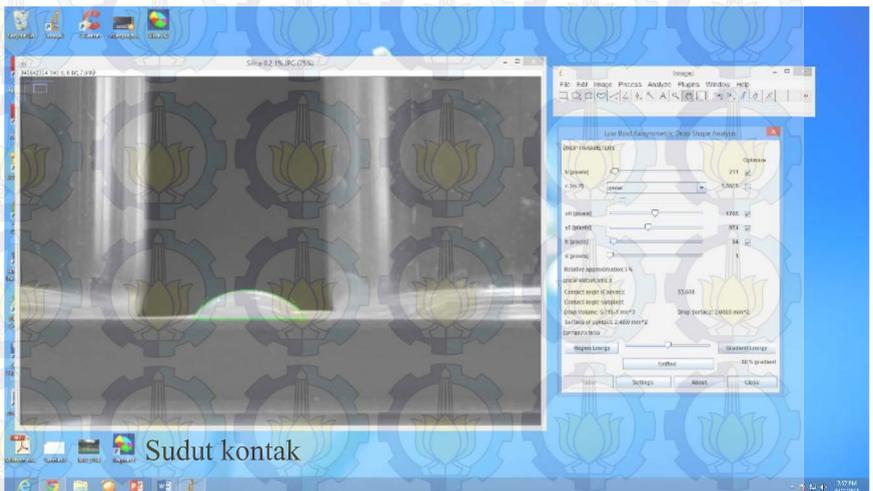
- Setelah pada task bar plugin pilih drop analysis lalu pilih Drop Analysis LB-ADSA

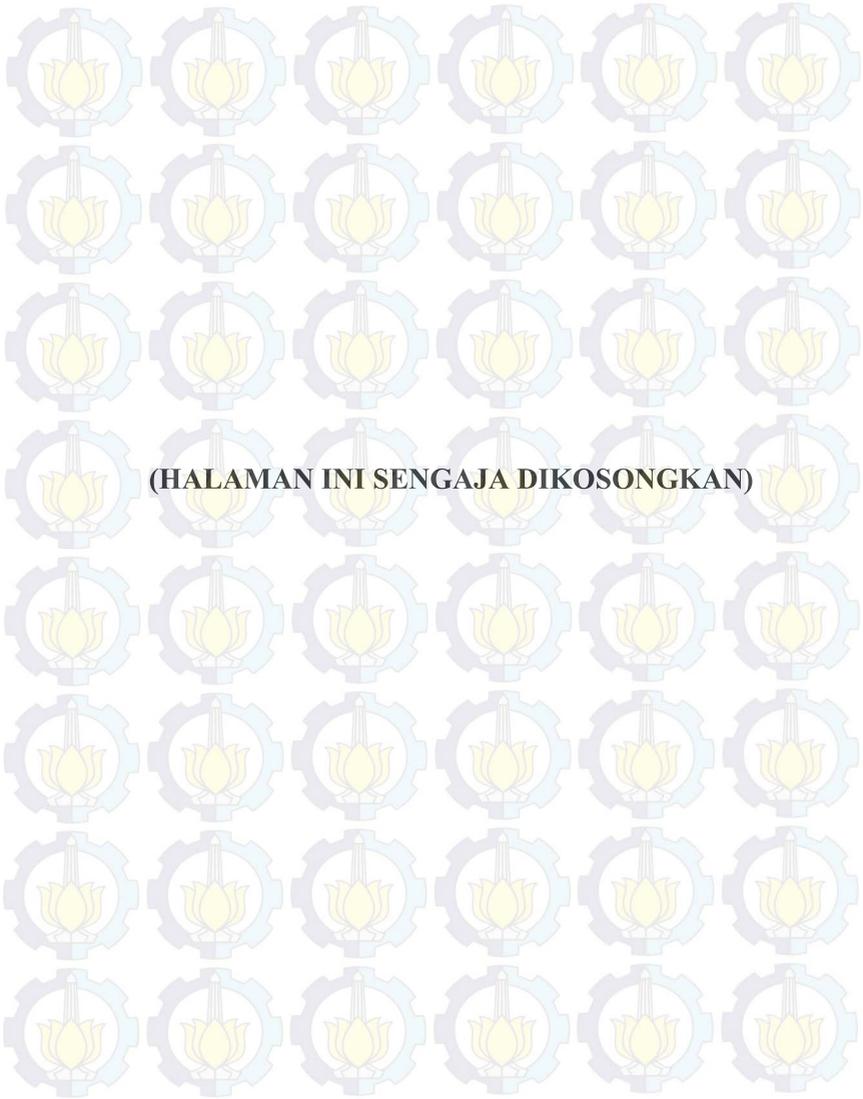


- Kemudian atur sedemikian rupa hingga lingkaran hijau pas pada tetesan air seperti ini



- Pada bagian bawah window analysis kemudian baca sudut kontak yang terhitung





APPENDIKS C CARA PERHITUNGAN

C.1. Perhitungan kadar air garam sintesis

Untuk pembuatan air garam dengan kadar 5000 ppm langkah-langkahnya sebagai berikut:

Contoh perhitungan kadar air garam

Kadar garam = 5000 ppm = 5000 mg/L, jadi

di dalam 1 L air ada 5000 mg garam (NaCl) yang terlarut,

sehingga untuk membuat misalkan 20 L air garam dengan kadar 5000 ppm dibutuhkan garam sebanyak :

$$m \text{ NaCl} = V \text{ air} \times \text{kadar garam}$$

$$m \text{ NaCl} = 20 \text{ L} \times 5000 \text{ mg/L}$$

$$m \text{ NaCl} = 100000 \text{ mg} = 100 \text{ g}$$

Keterangan : $m \text{ NaCl}$ = massa NaCl

$V \text{ air}$ = volume air

C.2. Perhitungan komposisi CA/PEG

Contoh perhitungan komposisi CA/PEG 50/50

Pada percobaan ini digunakan konsentrasi polimer 15% w/v

(Volume aseton sebanyak 17 ml)

$$m \text{ CA+PEG} = V \text{ aseton} \times 15\%$$

$$m \text{ CA+PEG} = 17 \text{ ml} \times 15\% = 2.5 \text{ g}$$

Komposisi yang digunakan 50/50

$$m \text{ CA} = 0.5 \times m \text{ CA+PEG}$$

$$m \text{ CA} = 0.5 \times 2.5 \text{ g} = 1.25 \text{ g}$$

$$m \text{ PEG} = m \text{ CA+PEG} - m \text{ CA}$$

$$m \text{ PEG} = 2.5 \text{ g} - 1.25 \text{ g} = 1.25 \text{ g}$$

Keterangan : $m \text{ CA}$ = massa CA

$m \text{ PEG}$ = massa PEG

$V \text{ pelarut}$ = volume pelarut

Tabel C.1 Massa CA dan PEG berbagai komposisi

Variabel CA/PEG	Massa CA (gram)	Massa PEG (gram)
CP1	1.25	1.25
CP2	1.50	1.00
CP3	1.75	0.75
CP4	2.00	0.50
CP5	2.25	0.25

C.3. Perhitungan konsentrasi silika

Contoh perhitungan konsentrasi silika 0.007 1% w/v NaOH

Pada percobaan ini jumlah NaOH yang digunakan sebesar 15% v/v aseton

$$V \text{ NaOH} = 0.15 \times V \text{ aseton}$$

$$V \text{ NaOH} = 0.15 \times 17 \text{ ml} = 2.5 \text{ ml}$$

$$m \text{ silika} = 0.01 \times V \text{ NaOH}$$

$$m \text{ silika} = 0.01 \times 2.5 \text{ ml} = 0.025 \text{ g}$$

Keterangan : V NaOH = volume NaOH

V aseton = volume aseton

m silika = massa silika

Tabel C.2 Massa silika 0.007 μm , 0.2 μm , dan 60 μm berbagai konsentrasi

Silika $D_{\text{silika}}=0.007 \mu\text{m}$		Silika $D_{\text{silika}}=0.2 \mu\text{m}$		Silika $D_{\text{silika}}=60 \mu\text{m}$	
Variabel % silika	Massa (gram)	Variabel % silika	Massa (gram)	Variabel % silika	Massa (gram)
1%	0.025	1%	0.025	1%	0.025
2%	0.050	2%	0.050	2%	0.050
3%	0.075	3%	0.075	3%	0.075
4%	0.100	4%	0.100	4%	0.100
5%	0.125	5%	0.125	5%	0.125

C.4. Perhitungan Fluks Permeat

Contoh perhitungan fluks permeat membran CPS1-5

$$J = \frac{Q}{A \times t}$$
$$= 3 \text{ ml} / [(3.14 \times 0.25 \times 2.7^2) \text{ cm}^2 \times 5 \text{ jam}]$$
$$= 0.1048 \text{ ml.cm}^{-2}.\text{jam}^{-1} = 1.048 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$$

(Data dari appendiks A)

Keterangan: J = Fluks permeat ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)

Q = Jumlah permeat (L)

A = Luas membran (m^2)

t = waktu (jam)

Tabel C.3 Hasil fluks permeat

Variabel	Fluks ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)
CA/PEG	
CP1	-
CP2	-
CP3	-
CP4	0.28
CP5	-
CPS1-5	1.04
CPS2-1	0.15
CPS2-2	0.16
CPS2-3	0.22
CPS2-4	0.57
CPS2-5	0.57
CPS3-5	0.45

C.5. Perhitungan Rijeksi Garam

Contoh perhitungan rijeksi garam membran CPS1-5

$$R = \left[1 - \frac{Cp}{Cf} \right] \times 100\%$$
$$= [1 - 3506.4\text{ppm}/5000\text{ppm}] \times 100\% = 28.87\%$$

(Data dari appendiks A)

Keterangan : R = Rijeksi garam (%)

Cp = kadar garam pada permeat (ppm)

Cf = kadar garam pada *feed* (ppm)

Tabel C.4 Hasil rijeksi garam

Variabel CA/PEG	Rijeksi Garam (%)
CP1	-
CP2	-
CP3	-
CP4	26.36
CP5	-
CPS1-5	29.87
CPS2-1	29.87
CPS2-2	29.87
CPS2-3	34.22
CPS2-4	21.10
CPS2-5	36.88
CPS3-5	27.68

C.6. Permeabilitas Membran

Contoh perhitungan permeabilitas membran CPS1-5

$$Pm = \frac{J}{\Delta P}$$
$$= 1.048 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1} / 5 \text{ bar}$$

(Data dari appendiks A)

Keterangan : Pm = permeabilitas membran (L.m⁻².jam⁻¹.bar⁻¹)

ΔP = perbedaan tekanan (bar)

Tabel C.5 Hasil permeabilitas membran

Variabel CA/PEG **Permeabilitas ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1} \cdot bar^{-1}$)**

CP1	-
CP2	-
CP3	-
CP4	0.05
CP5	-
CPS1-5	0.21
CPS2-1	0.02
CPS2-2	0.03
CPS2-3	0.04
CPS2-4	0.11
CPS2-5	0.11
CPS3-5	0.09

