TESIS - TK185401

# MODIFIKASI MEMBRAN CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$ DAN PEG-g-GO/CNT UNTUK PROSES DESALINASI

ARNESYA RAMADHANI
02211950010007

DOSEN PEMBIMBING
Siti Nurkhamidah, S.T., M.S, Ph.D
Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

TESIS - TK185401

# MODIFIKASI MEMBRAN CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$ DAN PEG-g-GO/CNT UNTUK PROSES DESALINASI

**ARNESYA RAMADHANI**
**02211950010007**

**DOSEN PEMBIMBING**
**Siti Nurkhamidah, S.T., M.S, Ph.D**
**Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T**

**PROGRAM MAGISTER**
**BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES**
**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM**
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
**SURABAYA**
**2021**

# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
**Magister Teknik (M.T.)**

Di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh

**Arnesya Ramadhani**
**NRP: 02211950010007**

**Tanggal Ujian: 17 Februari 2021**
**Periode Wisuda: April 2021**

Disetujui Oleh:

**Pembimbing:**

1. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S, Ph.D ……
   NIP: 1984 0508 2009 12 2004
2. Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T ……
   NIP: 1976 1020 2005 01 2001

**Penguji:**

1. Dr. Ir. Susianto, DEA ……
   NIP: 1962 0820 1989 03 1004
2. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng ……
   NIP: 1964 0608 1991 02 1001
3. Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, PhD ……
   NIP: 1977 0529 2003 12 1002

Kepala Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

**Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.**
**NIP: 1975 03 06 2002 12 2002**

**"MODIFIKASI MEMBRAN *CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL* (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$ DAN PEG-g-GO/CNT UNTUK PROSES DESALINASI"**


| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | **:** | **Arnesya Ramadhani** |
| **NRP** | **:** | **02211950010007** |
| **Pembimbing I** | **:** | **Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D.** |
| **Pembimbing II** | **:** | **Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.** |


# ABSTRAK


Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat berbanding terbalik dengan ketersediaan air bersih, untuk mengatasi krisis air bersih beberapa jenis teknologi desalinasi air laut telah dikembangkan. Desalinasi sangat menjanjikan karena dapat mengurangi kandungan garam atau zat terlarut sampai konsentrasi tertentu sehingga dapat dikonsumsi. Membran *Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol* (CA/PEG) merupakan jenis membran yang digunakan dalam reverse osmosis. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi *non solvent* seperti isopropanol, metanol, isopropanol-air, metanol-air terhadap membran *Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol/Polyethylene Glycol - grafting - Graphene Oxide* (CA/PEG/PEG-g-GO), serta mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel *Polyethylene Glycol - grafting - Graphene Oxide - Silikon Dioksida* (PEG-g-GO-$SiO_2$), *Polyethylene Glycol - grafting - Graphene Oxide - Titanium Dioksida* (PEG-g-GO-$TiO_2$) dan *Polyethylene Glycol - grafting - Graphene Oxide/Carbon Nanotube* (PEG-g-GO/CNT) terhadap membran CA/PEG. Tahapan pertama yang dilakukan adalah sintesa membran CA/PEG/PEG-g-GO mengunakan *solvent N,N-Dimethylformamide* (DMF) dan variasi *non-solvent*. Tahapan kedua adalah sintesa membran CA/PEG terbaik dengan *non-solvent* terbaik kemudian ditambahkan nanopartikel PEG-g-GO/CNT sebesar rasio 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, dan 0/100 dari 0.05% berat polimer, PEG-g-GO-$TiO_2$ sebesar 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.05%, dan 0.07% berat polimer dan PEG-g-GO-$SiO_2$ sebesar 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.05%, dan 0.07% berat polimer. Interaksi pada membran terjadi secara fisik yang dibuktikan dengan uji XRD dan uji FT-IR. Pada tahap pertama diperoleh *non-solvent* terbaik yaitu *water* dengan rijeksi garam dan fluks sebesar 75% dan 1985.3 $L/m^2.h$. Pada Tahap ke dua, penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ terbaik yaitu pada variable 0.05% dihasilkan rijeksi garam dan fluks sebesar 72% dan 134 $L/m^2.h$, membran yang dihasilkan lebih hidrofilik. Penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ terbaik

yaitu pada variable 0.02% dihasilkan rijeksi garam dan fluks sebesar 80% dan 43 $L/m^2.h$, pada variable ini dihasilkan tensile strength yang tinggi. Penambahan PEG-g-GO/CNT terbaik yaitu pada rasio 50/50 dari 0.05% berat polimer, dihasilkan rijeksi garam dan fluks sebesar 72% dan 45 $L/m^2.h$, pada variable ini juga memiliki tensile strength yang tinggi. Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.02% selain mempunyai kinerja yang terbaik juga mempunyai anti fouling yang paling tinggi diantara nanopartikel lainnya yaitu (*Flux Recovery Ratio)* FRR sebesar 90%.

Kata kunci : CA, PEG, nanopartikel, non pelarut

**"MODIFICATION OF CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL (CA/PEG) MEMBRANE USING PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$ AND PEG-g-GO/CNT NANOPARTICLES FOR DESALINATION PROCESS"**


| | | |
|---|---|---|
| **Name** | **:** | **Arnesya Ramadhani** |
| **NRP** | **:** | **02211950010007** |
| **Advisor I** | **:** | **Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D.** |
| **Advisor II** | **:** | **Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.** |


## ABSTRACT


The population growth which is getting faster is inversely proportional to the number of clean water. To overcome the clean water crisis several types of seawater desalination technology have been developed. Desalination is very promising because it can reduce the salt or solute content to a certain concentration so that it can be consumed. Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol (CA PEG) membrane is a type of membrane used in reverse osmosis. The purpose of this study is to see the effect of non-solvent variations such as isopropanol, methanol, isopropanol-water, methanol-water on the Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol/Polyethylene Glycol - grafting - Graphene Oxide (CA/PEG/PEG-g-GO) membrane, as well as the alarm on the effect of adding Polyethylene Glycol – grafting - Graphene Oxide – Silikon Dioksida (PEG-g-GO-$SiO_2$), Polyethylene Glycol – grafting - Graphene Oxide – Titanium Dioksida (PEG-g-GO-$TiO_2$) and Polyethylene Glycol – grafting - Graphene Oxide/Carbon Nanotube (PEG-g-GO/CNT) nanoparticles against the CA/PEG membrane. The first step to take is the synthesis of the CA/PEG/PEG-g-GO membrane using N,N-Dimethylformamide (DMF) solvents and non-solvent variations. The second stage is the synthesis of the best CA/PEG membrane with the best non-solvent, then adding PEG-g-GO/CNT nanoparticles with a ratio of 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, and 0/100 of 0.05% weight. polymer, PEG-g-GO-$TiO_2$ by 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.05%, and 0.07% by weight of the polymer and PEG-g-GO-$SiO_2$ by 0.01% , 0.02%, 0.03%, 0.05%, and 0.07% by weight of the polymer. The interaction on the membrane occurs physically as evidenced by the XRD test and FT-IR test. In the first stage, the best non-solvent was obtained, namely water with a salt rejection and a flux of 75% and 1985.3 $L/m^2.h$. In the second stage, the best addition of PEG-g-GO-$SiO_2$ at 0.05% variable resulted in salt rejection and flux of 72% and 134 $L/m^2.h$, the resulting membrane was more hydrophilic. The best addition of PEG-g-GO-$TiO_2$ at 0.02% variable

resulted in a salt rejection and a flux of 80% and 43 L/m$^2$.h, on the variable that produced high tensile strength. The best addition of PEG-g-GO/CNT with a ratio of 50/50 of 0.05% by weight of the polymer, resulted in salt rejection and flux of 72% and 45 L/m$^2$.h, this variable also has high tensile strength. The CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ membrane has the best performance which also has the highest anti-fouling among other nanoparticles, namely a (Flux Recovery Ratio) FRR of 90%.

Keywords : CA, PEG, nanoparticle, non-solvent

# KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan akhir tesis yang berjudul:

**"MODIFIKASI MEMBRAN *CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL* (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$ DAN PEG-g-GO/CNT UNTUK PROSES DESALINASI"**

Laporan akhir tesis ini disusun untuk melengkapi persyaratan penelitian tesis dalam memperoleh gelar Master Teknik (MT) pada bidang Studi S2 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati saya menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan segalanya yang tak mungkin tercantumkan dalam tulisan ini.
2. Ibu Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 dan ibu Dr. Yeni Rahmawati, ST, MT selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing dan mendukung kami sepenuhnya.
3. Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA selaku Kepala Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc, dan bapak Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D selaku Dosen Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.
4. Ibu Dr. Widiyastuti, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI - ITS
5. Seluruh Dosen dan Staff jurusan Teknik Kimia FTI - ITS.
6. Rekan-rekan mahasiswa Master Teknik Kimia ITS yang senantiasa memberikan dukungan dalam pengerjaan proposal thesis ini.

Semoga tesis yang saya kerjakan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Surabaya, 9 Februari 2021

Penyusun

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN ..... i
ABSTRAK..... ii
KATA PENGANTAR ..... v
DAFTAR ISI ..... vi
DAFTAR GAMBAR..... x
DAFTAR TABEL ..... xiii
BAB I..... 1
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Perumusan Masalah ..... 3
1.3 Batasan Masalah..... 4
1.4 Tujuan ..... 4
1.5 Manfaat Penelitian ..... 4
BAB II ..... 5
2.1 Membran ..... 5
2.1.1 Membran berpori ..... 6
2.1.2 Membran tidak berpori ..... 7
2.1.3 Membran cair ..... 8
2.2 Teknik Pembuatan Membran ..... 8
2.3 Inversi Fasa (Phase inversion) ..... 10
2.4 Cellulose Acetate (CA) ..... 11
2.5 Polyethylene Glycol (PEG) ..... 12
2.6 Polyethylene Glycol-grafting-Graphen Oxide (PEG-g-GO) ..... 13
2.7 Titanium Dioxide ($TiO_2$) ..... 13
2.8 Carbon Nanotube (CNT) ..... 14
2.9 Silikon Dioksida ($SiO_2$)..... 18
2.10 Membran CA/PEG ..... 19
2.11 N, N-Dimethylformamide (DMF) ..... 19
2.12 Metanol ..... 20
2.13 Isopropanol..... 20
2.14 Parameter Kelarutan dan Koefisien Difusi ..... 20

2.15 Penelitian Terdahulu .....21
BAB III.....26
3.1 Garis Besar Penelitian.....26
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....26
3.2.1 Bahan yang digunakan .....26
3.2.2 Alat yang digunakan .....27
3.3 Variabel Penelitian .....28
3.4 Metodologi Penelitian.....30
3.4.1 Tahap A - Fungsionalisasi CNT .....31
3.4.2 Tahap B - Grafting GO .....31
3.4.3 Tahap C - Sintesis PEG-g-GO -$TiO_2$ .....32
3.4.4 Tahap D - Sintesis PEG-g-GO-$SiO_2$ .....32
3.4.5 Tahap E - Pembuatan membran dengan variasi non pelarut.....32
3.4.6 Tahap F - Pembuatan membran dengan penambahan nanopartikel dan non pelarut terbaik .....33
3.5 Diagram Alir Penelitian .....34
3.5.1 Tahap A - Fungsionalisasi CNT .....34
3.5.2 Tahap B - Grafting GO .....35
3.5.3 Tahap C - Sintesis PEG-g-GO-$TiO_2$ .....36
3.5.4 Tahap D - Sintesis PEG-g-GO-$SiO_2$ .....37
3.5.5 Tahap E - Pembuatan membran dengan variasi non pelarut.....37
3.5.6 Tahap F - Pembuatan membran dengan penambahan nanopartikel dan non pelarut terbaik .....38
3.6 Prosedur Analisa.....39
3.6.1 Karakteristik Membran .....39
3.6.2 Kinerja Membran.....42
3.7 Jadwal Kerja .....46
BAB IV .....47
4.1 Analisis dan Penentuan Jenis Non-Solvent Terbaik untuk Pembuatan Membran CA/PEG/PEG-g-GO .....47
4.1.1 Hansen Solubility Parameter .....48
4.1.2 Analisa Gugus dengan Fourier Transformed Infra-Red (FTIR)....50

4.1.3 Analisa Senyawa dengan X-Ray Diffraction (XRD) ..... 52
4.1.4 Analisa Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) 53
4.1.5 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan Variasi Non-Solvent ..... 56
4.1.6 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan Variasi Non-Solvent ..... 57
4.1.7 Pengaruh Non-Solvent Terhadap Tekanan Membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan Variasi Non-Solvent ..... 60
4.1.8 Analisa Dynamic Mechanical Analysis (DMA) ..... 61
4.2 Pengaruh Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ pada Membran CA/PEG ..... 61
4.2.1 Analisa Fourier Transformed Infra-Red (FTIR) ..... 62
4.2.2 Analisa X-Ray Diffraction (XRD) ..... 63
4.2.3 Analisa Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) 64
4.2.4 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ ..... 65
4.2.5 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ ..... 67
4.2.6 Analisa Dynamic Mechanical Analysis (DMA) ..... 69
4.3 Pengaruh Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ pada Membran CA/PEG ..... 70
4.3.1 Fourier Transformed Infra-Red (FTIR) Characterization ..... 70
4.3.2 X-Ray Diffraction (XRD) Characterization ..... 71
4.3.3 Scanning Electron Microscopy (SEM) Characterization ..... 73
4.3.4 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG penambahan nanopartikel PEG- g-GO-$TiO_2$ ..... 74
4.3.5 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ ..... 76
4.3.6 Dynamic Mechanical Analysis (DMA) Characterization ..... 79
4.4 Pengaruh Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO/CNT pada Membran CA/PEG ..... 79

4.4.1 Fourier Transformed Infra-Red (FTIR) Characterization .....80
4.4.2 X-Ray Diffraction (XRD) Characterization .....82
4.4.3 Scanning Electron Microscopy (SEM) Characterization .....83
4.4.4 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT .....84
4.4.5 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT.....85
4.4.6 Dynamic Mechanical Analysis (DMA) Characterization.....88
4.5 Uji Anti Fouling .....85
BAB V.....90
5.1 Kesimpulan.....91
5.1.1 Kesimpulan Penelitian .....91
DAFTAR PUSTAKA ..... xi
DAFTAR NOTASI ..... xvi
APPENDIKS A ..... xvi
APPENDIKS B .....xx
APPENDIKS C ..... xxiv
Lampiran Foto Hasil ..... xxxiii

# DAFTAR GAMBAR

**Gambar 2.1** Fugsionalisasi CNT ..... 15

**Gambar 2.2** Analisa dispersi CNT pada aqueous media untuk CNT, CNTsnc ... 16

**Gambar 2.3** Analisa dispersi CNT pada aqueous media untuk CNTsn, CNT n .. 17

**Gambar 2.4** Hasil uji FTIR untuk dry fungtionalization..... 18

**Gambar 3.1** Garis besar metodologi penelitian..... 30

**Gambar 3.2** Diagram alir tahap fungsionalisasi CNT..... 34

**Gambar 3.3** Diagram alir tahap grafting GO ..... 35

**Gambar 3.4** Diagram alir sintesis PEG-g-GO-$TiO_2$..... 36

**Gambar 3.5** Diagram alir sintesis PEG-g-GO-$SiO_2$..... 37

**Gambar 3.6** Diagram alir pembuatan membran variasi non pelarut ..... 38

**Gambar 3.7** Diagram alir pembuatan membran penambahan nanopartikel..... 39

**Gambar 3.8** Skema alat uji desalinasi ..... 42

**Gambar 3.9** Modul tempat membran untuk uji kinerja..... 43

**Gambar 4.1** Hasil FTIR dari nanopartikel GO dan PEG-g-GO ..... 50

**Gambar 4.2** Hasil FTIR dari membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan non-solvent isopropanol, water dan methanol ..... 51

**Gambar 4.3** Hasil XRD dari nanopartikel GO dan PEG-g-GO ..... 52

**Gambar 4.4** Hasil XRD dari membran CA/PEG dan CA/PEG/PEG-g-GO ..... 53

**Gambar 4.5** Rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent* ..... 58

**Gambar 4.6** Permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent*..... 59

**Gambar 4.7** Tekanan membran CA/PEG/PEG-g-GO terhadap variable *non-solvent* ..... 60

**Gambar 4.8** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent *water* dan isopropanol ..... 61

**Gambar 4.9** Hasil FTIR dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ .....62

**Gambar 4.10** Hasil XRD dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ .....63

**Gambar 4.11** Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ ..... 64

**Gambar 4.12** Grafik analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ .....65

**Gambar 4.13** Grafik analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ .....67

**Gambar 4.14** Grafik analisa permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ .....68

**Gambar 4.15** Grafik fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ .....68

**Gambar 4.16** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ .....69

**Gambar 4.17** Hasil FTIR dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ .....70

**Gambar 4.18** Hasil XRD dari nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ dengan hidrotermal 6 dan 8 jam dan tanpa hidrotermal .....71

**Gambar 4.19** Hasil XRD dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ .....72

**Gambar 4.20** Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ .....73

**Gambar 4.21** Grafik analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ .....74

**Gambar 4.22** Grafik analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ .....76

**Gambar 4.23** Grafik analisa permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ .....77

**Gambar 4.24** Grafik fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ .....78

**Gambar 4.25** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$. ..... 79

**Gambar 4.26** Hasil FTIR dari CNT dan CNT fungsionalisasi ..... 80

**Gambar 4.27** Hasil FTIR dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT ..... 81

**Gambar 4.28** Hasi XRD dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT ..... 82

**Gambar 4.29** Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT ..... 83

**Gambar 4.30** Grafik water content dan porositas dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT ..... 84

**Gambar 4.31** Grafik analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT ..... 85

**Gambar 4.32** Grafik analisa permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g GO/CNT ..... 86

**Gambar 4.33** Grafik fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT ..... 87

**Gambar 4.34** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT. ..... 88

**Gambar 4.35** Grafik fouling dan *rate of recovery* dari membran ..... 89

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# DAFTAR TABEL

**Tabel 2.1** Klasifikasi Membran .....7

**Tabel 2.2** Tingkat Oksidasi CNT dengan Berbagai Oxidative Treatments.....16

**Tabel 2.3** Sifat pelarut DMF.....19

**Tabel 3.1** Jadwal Kerja .....46

**Tabel 4.1.** Volume molar, densitas dan boiling point pada *non-solvent, solvent* dan polimer .....48

**Tabel 4.2** *Hansen solubility parameter* dari *non-solvent, solvent* dan polimer ....48

**Tabel 4.3** Perbedaan *solubility parameter non-solvent-solvent* dan polimer – *non - solvent* .....49

**Tabel 4.4** Hasil Analisa *Scanning Electroscopy Microscope* membran CA/PEG/PEG-g-GO perbesaran 650 kali dan 10000 kali .....54

**Tabel 4.5.** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG/PEG-g-GO *non-solvent* IPA, water, dan methanol .....55

**Tabel 4.6.** *Surface tension*, viskositas dan koefisien difusi dari *solvent* dan *non - solvent* .....55

**Tabel 4.7** Hasil analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent* .....57

**Tabel 4.8** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ .....66

**Tabel 4.9** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ .....75

**Tabel 4.10** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT .....85

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sebanyak 70% permukaan bumi terdiri dari air yang mencapai 1.400 juta $km^3$. Namun 97,5% dari air ini adalah air laut. Ketersediaan air tawar hanya 35 juta $km^3$. Dari total air tawar, 68,7% dibekukan dalam lapisan es, 30% disimpan di bawah tanah dan hanya 0,3% air tersedia di permukaan bumi. Dari air permukaan, 87% disimpan di danau, 11% di rawa dan 2% di sungai dan hanya 1% dari total air yang dapat digunakan oleh manusia (The United Nation World Water Development 2, 2006:2). Dikutip dari *TIME*, Sekretaris Jenderal PBB Antonio Guterres menyatakan bahwa kebutuhan air bersih pada tahun 2050 akan meningkat lebih dari 40%, dan setidaknya seperempat populasi dunia akan hidup di negara-negara dengan krisis air bersih yang sangat kronis. Saat ini dunia sudah mengalami ancaman krisis air bersih, dan menurut Guterres tiga perempat dari 193 negara anggota PBB berbagi sumber air dengan negara tetangga (Sumber: idntimes /internet). Hal tersebut mendorong manusia untuk selalu menemukan dan mengembangkan teknologi yang dapat mengatasi masalah diatas. Dalam keadaan seperti ini, teknologi membran untuk pemisahan zat pengotor diprediksi menjadi alternatif pengolahan air.

Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat berbanding terbalik dengan ketersediaan air bersih, untuk mengatasi krisis air bersih beberapa jenis teknologi desalinasi air laut telah dikembangkan. Metode yang tersedia secara komersial untuk desalinasi air laut seperti distilasi flash bertingkat, distilasi multi efek, kompresi uap, reverse osmosis (RO) dan elektrodialisis (ED) (Ghaseminezhad dkk, 2019). Reverse osmosis adalah salah satu metode yang paling menjanjikan dan penting untuk mengahasilkan air bersih dari sumber air laut dan air limbah lainnya (Chae dkk, 2015). Dalam metode *reverse osmosis*, membran *reverse osmosis* bertindak sebagai penghalang semipermeabel yang menahan konsentrasi garam sehingga dihasilkan air bersih. Syarat dari membran yang baik digunakan adalah ukuran pori yang kecil dan persebaran pori yang merata, semakin kecil pori maka

zat pengotor yang tertinggal akan semakin banyak. Penelitian membran yang dikembangkan saat ini bertujuan untuk mengetahui kinerja membran seperti fluks, rijeksi garam dan morfologi permukaan, serta hidrofilisitas. Semua parameter tersebut dipengaruhi oleh jenis, komposisi bahan baku pembentuk membran dan metode yang digunakan (Lee dkk, 2011).

Pada proses desalinasi ini menggunakan metode inversi fase, yaitu suatu metode dimana larutan polimer dicasting diatas lempeng kaca dan direndam ke dalam bak koagulasi non pelarut setelah waktu penguapan yang diberikan, akan terjadi pertukaran pelarut dan non pelarut sehingga menghasilkan struktur membran berpori. Struktur membran sangat tergantung pada sifat termodinamik dan kinetik dari terner sistem non pelarut, pelarut dan polimer nya (Lua dkk, 2013). Non pelarut yang banyak digunakan adalah air murni seperti yang telah dilakukan pada penelitian (Nurkhamidah dkk, 2020) dengan variabel optimum yaitu CA/PEG rasio 80/20, GO 0,01 % berat, *mixing solvent* aseton/DMF rasio 50/50 % volume, menghasilkan rijeksi garam sebesar 37%. (Fadhil dkk, 2016) melakukan penelitian dengan non solven yang berbeda yaitu isopropanol-campuran air rasio (50/50) dengan polimer PVDF-HFP 12 % berat, menghasilkan rijeksi garam sebesar 99,3 %.

Beberapa nanomaterial, seperti zeolit, *carbon nanotube* (CNT), *graphene oxide* (GO), *sodium dioxide* ($SiO_2$) dan *titanium dioxide* ($TiO_2$), telah ditambahkan sebagai aditif pada membran polimer *reverse osmosis* (RO) untuk meningkatkan kemampuan permeabilitas, antibiofouling, dan sifat mekanis. Diantara beberapa aditif tersebut, *graphene oxide* (GO) menunjukkan potensi yang sangat menjanjikan untuk meningkatkan performa membran RO, dikarenakan luas permukaannya yang tinggi, kekuatan mekanis, dan kemampuan menyerap air. Sebagai tambahan, gugus fungsi oksigen pada GO, meliputi gugus fungsi epoksida, hidroksil, dan karboksil pada permukaan GO yang menghasilkan sifat disperse yang baik pada berbagai macam polimer (Masumeh dkk., 2019). Pada penelitian (Shi Y dkk, 2017) membran dibuat dengan polimer *cellulose acetate* (CA) 25 % berat ditambah nanopartikel GO 0,005% menghasilkan rijeksi garam sebesar 82,03 % dan fluks air sebesar 13,65 $L/m^2$ jam. Pada penelitian (Safarpour M dkk, 2015) membran ultrafiltrasi dibuat

dengan polimer *polysulfone* (PSf) ditambah campuran nanomaterial GO/$TiO_2$ 0,02 % berat, menghasilkan rijeksi garam sebesar 99,45 %. Pada penelitian (Han Y dkk, 2015) membran ultrafiltrasi dibuat dengan polimer *Polivinylidene fluoride* (PVDF) ditambah campuran nanomaterial GO/CNT rasio 8:1, menghasilkan rijeksi garam sebesar 51,4 %. Pada penelitian (Liu Y dkk, 2019) membrane dibuat dengan polimer PSf, pelarut DMF ditambah nanopartikel GO-$SiO_2$ 0,01 % berat menghasilkan rijeksi garam sebesar 40,7 % dan fluks sebesar 43,6 L/$m^2$.jam. Pada penelitian sebelumnya, membran RO dibuat dengan polimer CA/PEG, *mixing solvent* aseton/DMF rasio 50/50 % volume, ditambah nanopartikel GO dengan menggunakan tiga metode yaitu *surface coating*, *blending*, dan grafting, hasil terbaik mengunakan metode GO grafting 0,005% menghasilkan rijeksi sebesar 82% dan fluks sebesar 626.743 L/$m^2$.h (Nurkhamidah dkk, 2020).

Belum pernah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh GO grafting (PEG-g-GO) dicampur dengan zat aditif lain seperti CNT, $TiO_2$, dan $SiO_2$ serta pengaruh *non-solvent* selain air seperti isopropanol dan metanol pada membran CA/PEG. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui non pelarut terbaik serta zat aditif terbaik yang akan dicampur dengan PEG-g-GO pada membran CA/PEG sehingga memiliki kekuatan mekanis, *hydrophilicity*, dan rijeksi garam yang tinggi, serta memiliki potensi tinggi untuk proses desalinasi air laut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian terdahulu membran CA/PEG dengan penambahan zat aditif PEG-g-GO hasilnya masih kurang maksimal kinerjanya, oleh karena itu berdasarkan latar belakang diatas dapat disimpulkan bahwa permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu mencari non pelarut terbaik dari beberapa non pelarut seperti isopropanol, metanol, isopropanol-air, metanol-air serta menambahkan zat aditif lain kedalam membran CA/PEG seperti PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$ dan PEG-g-GO-$SiO_2$, hal ini diharapkan membran memiliki kekuatan mekanis, *hydrophilicity*, dan rijeksi garam yang tinggi, memiliki sifat anti fouling sehingga memiliki potensi tinggi untuk proses desalinasi air laut.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berat molekul PEG yang digunakan yaitu 400 Da dan berat molekul CA yang digunakan yaitu 30000 Da.
2. Pelarut yang digunakan adalah DMF
3. Zat aditif yang digunakan adalah GO grafting (PEG-g-GO)

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mempelajari pengaruh non pelarut terhadap karakteristik meliputi morfologi, hidrofilisitas, porositas, *water content*, dan tekanan pada membrane serta kinerja membran meliputi rijeksi garam, fluks, dan permeabilitas.
2. Untuk merubah sifat dari membrane CA/PEG murni dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$ dan PEG-g-GO/CNT sehingga dihasilkan membrane yang memiliki sifat hidrofilisitas tinggi dan sifat antifouling yang tinggi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi untuk pembuatan membran CA/PEG pada proses desalinasi
2. Memberikan pengetahuan baru tentang pengaruh non pelarut terhadap struktur dan kinerja membran
3. Memberikan pengetahuan baru tentang pengaruh penambahan PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$ dan PEG-g-GO-$SiO_2$ terhadap kinerja membran CA/PEG pada proses desalinasi

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Membran

Membran telah berkembang dengan pesatnya dalam beberapa decade terakhir ini. Membran memiliki berbagai keunggulan baik secara teknik maupun secara ekonomi, sehingga sering kali digunakan dalam proses-proses pemisahan maupun pemurnian. Membran berasal dari bahasa latin “membrana” yang arti nya kulit kertas, pada saat ini membran diperluas arti nya sebagai lembaran tipis yang fleksibel atau film dimana membran berperan sebagai pemisah selektif antar dua fase karena bersifat *semipermeable*. Proses membran adalah pemisahan pada tingkat molekular atau partikel yang sangat halus. Molekul atau partikel yang dipindahkan melalui membran dari satu fasa ke fasa lain, disebabkan oleh adanya:

- Perbedaan temperature ($\Delta T$)
- Perbedaan konsentrasi ($\Delta C$)
- Perbedaan tekanan ($\Delta P$)
- Perbedaan energi ($\Delta E$). (Mulder, 1996)

Berdasarkan geometri pori membran dibedakan menjadi membran asimetrik dan simetrik:

1. Membran simetrik; membran ini mengandung pori ketebalan 10 mikron - 200 mikron. Membran ini memiliki struktur pori homogen, dan persebaran struktur pori membran yang seragam, jenis membran ini kurang efektif karena memiliki kelemahan yaitu lebih mudah terjadi penyumbatan yang akan mengakibatkan *fouling*.
2. Membran asimetrik; membran ini terdiri dari 2 lapisan yaitu lapisan pendukung pori dengan ketebalan 50 mikron - 150 mikron dan lapisan tipis dan rapat di permukaan membran dan memiliki ketebalan 0,1 mikron -0,5 mikron, lapisan ini sering disebut lapisan aktif. Membran asimetrik menghasilkan selektivitas yang lebih tinggi disebabkan oleh rapatnya lapisan atas membran dan memiliki kecepatan permeasi yang tinggi karena

ketebalan lapisan aktif membran yang tipis, performa membran asimetris lebih tinggi dari membran simetris pada ketebalan yang sama, hal ini disebabkan karena pada membran simetrik partikel yang melewati pori akan menyumbat pori membran sehingga penyaringan membran menurun drastis. (Mulder, 1996).

Berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan membran dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu membran berpori (*porous membrane*), membrane tidak berpori (non porous membrane), Membran cair (*carrier membrane*). Dari ketiga jenis membran di atas dapat di jelaskan sebagai berikut:

2.1.1 Membran berpori

Berdasarkan perbedaan ukuran pori, membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Mikrofiltrasi

   Membran mikrofiltrasi dapat memisahkan partikel kecil seperti sel, bakteri dan virus. Membran mikrofiltrasi umumnya berupa *cartridge* yang berukuran pori 0,1 – 10 μm. Bahan *cartridge* bisa berasal dari katun, selulosa, *fiber glass*, polipropilen, akrilik, nilon, ester selulosa, dan polimer hidrokarbon. Lemak serta partikel kecil seperti mikroorganisme akan tertahan di membran, sementara senyawa, makromolekul (protein, karbohidrat, gula, garam, mineral, dan air) akan lolos melewati membran (Mulder, 1996).

2. Ultrafiltrasi

   Ultrafiltrasi merupakan proses membran yang mempunyai sifat diantara makrofiltrasi dan nanofiltrasi. Ukuran membran ultrafiltrasi biasanya berkisar antara 0.05 μm pada sisi makrofiltrasi hingga 1 nm pada sisi nanofiltrasi. Semua garam terlarut dan molekul yang lebih kecil akan melewati pori membran, sedangkan koloid, protein, kontaminan mikrobiologi, dan molekul organik yang mempunyai ukuran lebih besar akan tertahan (Mulder, 1996).

3. Nanofiltrasi

Membran ini memiliki ukuran pori 0,001 µm dengan keterbatasan dalam mengolah air baku menjadi air minum. Membran nanoflitrasi hanya dapat memisahkan air dari padatan terlarut, bakteri, virus, ion multivalensi seperti $Ca^{2+}$ $Mg^{2+}$ yang menyebabkan kesadahan atau molekul yang mempunyai berat molekul dengan rentang 200-5000 dan tidak dapat memisahkan ion monovalensi seperti $Na^{+}$, $K^{+}$. Hal ini berarti membran nanofiltrasi hanya dapat mengolah air baku yang berupa air tawar (Ren, 2011).

4. *Reverse Osmosis*

Membran *reverse osmosis* akan memberikan tekanan balik dengan tekanan osmotik lebih besar pada permukaan cairan yang lebih kental, sehingga cairan akan menembus permukaan membran menjadi cairan yang lebih murni (Heitmann, 1990). Pengolahan menggunakan membran *reverse osmosis* merupakan pengolahan proses fisika yang dilakukan dengan memberikan dorongan atau tekanan, menahan semua ion, melepaskan air murni serta membuang air kotor. Membran ini memiliki ukuran pori 0.0001 µm dan dapat menghilangkan zat-zat organik, bakteri, pirogen, serta koloid yang tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring (Metcalf, 2004).

**Tabel 2.1** Klasifikasi Membran (Kucera, 2015)

| ***Process*** | ***Pore Size*** | ***Driving Force*** |
|---|---|---|
| *Microfiltration* | 0.03 – 10 µm | 1-2 bar |
| *Ultrafiltration* | 0.001 – 0.05 µm | 2-5 bar |
| *Nanofiltration* | < 2 nm | 5-15 bar |
| *Reverse Osmosis* | ± 0.6 nm | 15-100 bar |

### 2.1.2 Membran tidak berpori

Prinsip pemisahan pada membran tidak berpori didasarkan pada perbedaan kelarutan dan kemampuan berdifusi, sifat intrinsic polimer membran mempengaruhi tingkat selektifitas dan permeabilitas. Membran jenis ini digunakan untuk proses gas, peraporasi dan dialisa.

### 2.1.3 Membran cair

Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul pembawa spesifik. Molekul pembawa (*carrier*) berada tetap didalam membrane dan dapat bergerak jika dilarutakan dalam cairan. *Carrier* juga harus menunjukan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen pada umpan sehingga diperoleh selektifitas yang tinggi. Selain itu permselectivity komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Komponen yang dapat dipisahkan dapat berupa gas atau cair, ionic atau non ionic.

## 2.2 Teknik Pembuatan Membran

Teknik yang digunakan untuk membuat membran antara lain :

1. *Sintering*

*Sintering* merupakan teknik yang sederhana, bisa dilakukan pada zat organik dan non organik. Bubuk dengan ukuran tertentu di kompresi dan melalui proses *sintering* pada temperatur tinggi, selama *sintering* kontak permukaan antara partikel hilang dan membentuk pori. Teknik ini dapat menghasilkan membran berpori 0.1 mikron hingga 10 mikron (Mulder, 1996).

2. *Streching*

*Streching* adalah teknik ini dilakukan pada bahan membran semi kristalin yang dieksrusi atau foil yang terbuat dari bahan polimer ditarik searah proses ekstrusi kristal, sehingga molekul kristal nya akan terletak paralel. Jika *stress* mekanik diaplikasikan maka akan terjadi pemutusan dan terbentuk struktur pori berukuran 0,1 mikron hingga 0,3 mikron (Mulder, 1996)

3. *Track-eching*

Teknik ini merupakan metode dimana sinar berenergi tinggi ditembakan tegak lurus dengan permukaan membran dan membentuk suatu lintasan, ketika membran ditaruh pada wadah asam maka polimer akan membentuk suatu goresan yang akan membentuk pori silinder yang sama dan distribusi pori yang sempit (Mulder, 1996).

4. *Template – leaching*

Metode ini merupakan metode pembuatan membran berpori dengan cara melepaskan salah satu komponen (*leaching*). Aplikasi dari metode ini adalah pembuatan membran gelas (Mulder, 1996)

5. Papan dengan penguapan terkendali

Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas dari pelarut dan polimer perbedaan ini akan menggeser kesetimbangan ke arah polimer selama penguapan membran yang terbentuk pada fasa ini adalah membran berkulit (Singh, 2014).

6. *Thermally Induced Phase-Separation* (TIPS)

Proses ini disebabkan oleh perubahan temperatur. Umumnya metode ini dibagi dalam 5 langkah dasar : (1) polimer dengan titik didih tinggi dicampur dengan pelarut yang memiliki masa relatif kecil lalu suhu dinaikan untuk mendapatkan larutan homogen;(2) larutan polimer panas dicetak pada permukaan yang dingin; (3) larutan yang telah dicetak didinginkan untuk proses *induced phase separation* dan solidifikasi; (4) pelarut yang masih terperangkap dalam matriks polimer selama solidifikasi dipisahkan dengan ekstraksi pelarut untuk membentuk struktur mikrophorous; (5) proses lanjutan seperti streching dapat dilakukan dapat dilakukan hingga mencapai sifat membran yang diinginkan (Li dkk,2006).

7. Metode imersi

Metode ini adalah metode yang saat ini dipakai dalam penelitian, pada metode ini larutan *casting* di rendam pada wadah yang berisi non pelarut (*coagulation bath*), pada wadah ini terjadi pemisahan antara polimer dan pelarut.

8. Metode inversi fasa

Metode ini adalah metode pengubahan polimer dari fase cair ke fase padat, dengan temperatur proses yang terkendali, proses perubahan fasa diawali dengan transisi dari fasa cair ke fasa 2 cairan (*liquid-liquid demixing*), cairan polimer dengan konsentrasi tinggi akan memadat dan membentuk matrik lalu polimer dengan konsentrasi rendah akan terikut dalam solvent.

## 2.3 Inversi Fasa (Phase inversion)

Pembuatan membran umum nya menggunakan inversi fasa dimana suatu campuran polimer dan solven nya berubah dari fase *liquid* ke fase padat, fenomena ini diawali dengan transisi dari fase 1 cairan menjadi 2 fase cair (*liquid – liquid demixing*) ketika *casting solution* dimasukan pada wadah koagulasi, pada wadah ini akan menghasilkan 2 zat yaitu polimer konsentrasi tinggi dan solven yang berisi polimer berkonsentrasi rendah. Polimer yang berkonsentrasi tinggi akan membentuk suatu padatan matriks (Mulder, 1996). Metode inversi fasa mencangkup berbagai macam pengendapan yaitu:

1. Pengendapan dengan penguapan pelarut

Merupakan metode sederhana, dimana larutan polimer yang telah dicetak dibiarkan menguap pada suasana inert untuk mengeluarkan uap air, sehingga di dapat membran homogen yang tebal.

2. Pengendapan fase uap

Pada metode ini membran dibuat dengan meletakan cetakan film terdiri dari cetakan polimer dan pelarut, pada suasana uap dimana uap dalam fase jenuh non pelarut dan pelarut yang sama dengan yang ada pada cetakan film, konsentrasi pelarut yang tinggi di fase uap mencegah pelarut tak menguap, dari cetakan film. Karena, pada fase uap terdapat polimer dengan konsentrasi tinggi, uap itu akan berdifusi ke permukaan kaca dan membentuk membran berpori tanpa lapisan dalam.

Metode pembuatan membran *Cellulose acetate* dalam penelitian ini adalah metode inversi fasa dan *mixing solvent*. Syarat yang yang harus dipenuhi dalam proses ini adalah polimer yang digunakan dapat larut pada solven yang akan digunakan, agar dapat terjadi *liquid-liquid demixing*. Proses ini merupakan proses awal dari pemadatan untuk membuat membran, dan akan terjadi pertukaran pelarut dan non pelarut pada membran tersebut. Pertukaran pelarut ini memicu membran untuk membentuk matriks padatan. Proses *demixing* dibedakan menjadi 2 mekanisme (Westen, 2000) :

1. *Instaneous demixing*; pada proses ini terjadi pada saat campuran direndam pada wadah koagulasi yang berisi non pelarut. Mekanisme ini terjadi ketika kesetimbangan polimer – pelarut dan non pelarut pada kurva kesetimbangan 3 fasa memotong *binodal*. *Binodal* adalah garis kesetimbangan 2 fasa. Mekanisme ini umum nya terjadi pada pembentukan membran berpori

2. *Delayed demixing*; *delayed demixing* berarti *demixing* yang terjadi setelah beberapa saat polimer direndam. Pada kesetimbangan 3 fasa titik dimana terjadinya *Delayed demixing* tidak memotong *binodal*. Membran yang terbentuk adalah membran tidak berpori (Mulder, 1996).

## 2.4 Cellulose Acetate (CA)

*Celullose acetate* (CA) merupakan material membran *reverse osmosis* yang memiliki tingkat kinerja yang tinggi. Selulosa asetat (CA) merupakan ester organik selulosa yang berupa padatan putih, tidak berbau dan tidak berasa. Selulosa asetat: larut dalam *acetone*, *dimetilformamida* (DMF), *dioksan*, *tetrahidrofuran* (THF), *asam asetat*, *dimetilsulfoksida* (DMSO), *dimetilasetamida* (DMAc). Salah satu pemanfaatan utama CA adalah sebagai bahan utama dalam pembuatan membran nanofiltrasi (NF) dan reverse osmosis (RO) yang biasa digunakan untuk pemurnian air. Hal ini dikarenakan CA dapat membentuk struktur asimetrik dengan lapisan aktif yang sangat tipis dan dapat menahan bahan terlarut pada lapisan pendukung yang kasar, serta toleran terhadap klorin dan tahan terhadap terjadinya pengendapan. Selain itu, koeksistensi permeabilitas yang tinggi dan selektifitas yang tinggi dari CA memungkinkan untuk menghasilkan keseimbangan sifat hidrofilik dan hidrofobik (Kumano and Fujiwara, 2008).

Berbagai polimer telah digunakan untuk mensintesis membrane, namun membran selulosa asetat (CA) dapat diterima dengan baik karena karakteristik transportasinya yang baik, adsorpsi protein rendah, afinitas air yang sangat baik, non toksisitas, kekuatan mekanis yang sesuai, ketahanan tinggi terhadap klorin dan sangat efektivitas biaya bila di bandingkan polimer lain, memiliki sifat biodegradebel dan sifat pembentuk film yang sangat baik(Sri Redjeki, 2011).

Namun CA memiliki stabilitas termal yang buruk, ketahanan kimia sangant rendah, kekuatan mekanik sangat rendah dan rentan terhadap ketahanan fouling. Oleh karena itu, banyak peneliti mencari cara untuk meningkatkan kinerja CA salah satunya dengan penambhan zat aditif PEG dan nanopartikel PEG-g-GO, CNT, $TiO_2$, dan $SiO_2$

**2.5 Polyethylene Glycol (PEG)**

*Polyethylene Glycol* (PEG*)* merupakan material aditif yang digunakan untuk memodifikasi membran CA. *Polyethylene Glycol* (PEG*)* biasa digunakan sebagai *plasticizer* agen pembentuk pori pada membrane (Arthanareeswaran, 2004). Penambahan PEG juga dapat mengingkatkan sifat mekanik dari membrane CA, membuat membrane CA menjadi lebih elastis, fleksibel dan tahan dengan tekanan tinggi saat operasi. Alasan paling utama PEG ditambahkan pada membrane CA sebab PEG memiliki sifat hidrofilisitas yang tinggi karena PEG sebagai agen gugus –OH pada membrane CA.

*Polyethylene glycol* merupakan zat yang mudah larut dalam air dan pelarut organik, memiliki sifat hidrofilisitas yang tinggi karena sebagai agen gugus-OH, zat ini juga mempunyai racun dengan kadar rendah, PEG merupakan senyawa *polyether* yang banyak diaplikasikan pada pembuatan dan formulasi membran terutama membran *reverse osmosys* (RO). Zat ini mempunyai berat molekul kurang dari 20.000 gram/mol. PEG memiliki rumus molekul $H(OCH_2CH_2)nOH$, rumus penulisan PEG menunjukan berat molekul rata rata. Misalkan dengan n = 9, memiliki berat molekul rata– rata sekitar 400 dalton, dan akan diberi nama PEG 400. PEG ini tak larut pada *hexanae* dan *dimethyl ether* bahan *co-solvent* ini juga dapat diganti dengan etilen glikol dan polipropilen glikol.

PEG dalam pembuatan membran bersifat hidrofobik dan bertindak sebagai pembentuk pori (Arthanareeswaran, 2010), penambahan PEG pada jumlah maksimum meningkatkan fluks namun disaat yang sama rijeksi garam menurun hingga batas paling bawah. Ini dikarenakan PEG menciptakan struktur makrovoid pada membran mendorong perpindahan air bersama molekul garam melalui

membran. Sifat hidrofilis PEG dapat meningkatkan laju difusi air (Arthanareeswaran, 2010).

## 2.6 Polyethylene Glycol-grafting-Graphen Oxide (PEG-g-GO)

*Graphene* adalah sebuah lapisan yang kuat terdiri dari susunan atom karbon yang saling membentuk matriks sarang lebah madu yang berbentuk heksagonal. Cara yang paling umum digunakan untuk mensintesis *graphite* agar menghasilkan *graphene oxide* yang bersifat hidrofilik adalah dengan menggunakan oksidasi kuat (Marcano dkk., 2010). Dibandingkan dengan nanocomposite karbon lainnya, *graphene oxide* (GO) menunjukkan potensi yang cukup besar untuk meningkatkan kinerja membran *reverse osmosis* karena luas permukaan yang tinggi, kekuatan mekanik dan sifat hidrofilisitasnya. Selain itu, kelompok gugus fungsi teroksidasi dari GO seperti epoksida, hidroksil dan karboksil pada permukaan GO, memberikan kemampuan dispersi GO yang baik dalam berbagai polimer (Ghaseminezhad dkk., 2019). Namun GO memiliki kelemahan yaitu sulit terdispersi dalam polimer sehingga GO akan teraglomerasi dalam membrane polimer. Dari permaslahan tersebut pada penalitian kali ini nanopartikel GO akan di grafting denga PEG. Tujuan penggraftingan PEG ke GO yaitu untuk membandingkan dengan penelitian sebelumbnya yang hanya menggunkan GO murni, hal ini di lakukan untuk membuktikan apakan dengan penggraftingan PEG ke GO akan meningkatkan kinerja membran atau tidak. Dipilih PEG salah satu alasannya karena menggunkan matriks membran berbasis CA/PEG. PEG yang dicangkokkan ke GO bertindak sebagai plasticizer, menghambat interaksi antara GO dan PEG dalam CA dan meningkatkan mobilitas rantai PEG bebas. Pada penelitian *junyang tu, 2019,* hal tersebut dapat menghasilkan konduktivitas termal yang tinggi dan meningkatkan kristalinitas pada membran.

## 2.7 Titanium Dioxide ($TiO_2$)

*Titanium dioxide* merupakan garam anorganik dengan kelarutan dalam air dan polimer yang bagus, hal ini merupakan kandidat yang bagus untuk zat aditif dari pembuatan membran selain $ZnCl_2$. $TiO_2$ dapat dihasilkan dari hidrolisis *Tetraethyl orthotitanate* (TEOT), dimana pada proses ini $TiO_2$ yang dihasilkan sangatlah aman. $TiO_2$ dapat meningkatkan konsentrasi/viskositas larutan membran,

yang dapat mengurangi nilai tukar difusi pelarut dan non solvent selama membrane proses pembentukan. Karenanya, ini dapat menghambat cairan ketika proses pencampuran cairan yang menekan perkembangan makro void. Penambahan $TiO_2$ ke sistem pembentukan membran memiliki pengaruhnya terhadap proses de-mixing, meningkatkan kecepatan transfer massa antara pelarut dan non-pelarut selama fase pemisahan, sehingga dihasilkan pori fingerlike, dapat meningkatkan porositas. Namun jika $TiO_2$ ditambahkan terlalu banyak akan akan sulit terdispersi dengan baik, sehingga menyebabkan aglomerasi sehingga akan menurunkan jumlah pembentukan pori dan akan menurunkan porositasnya (Kibrom Alebel Gebru, 2017).

$TiO_2$ dipilih pada penelitian ini karena $TiO_2$ memiliki stabilitas kimia yang tinggi, toksisitas rendah, sifat fotokatalitik, sebagai antifouling dan anti bakteri pada membrane CA/PEG.

**2.8 Carbon Nanotube (CNT)**

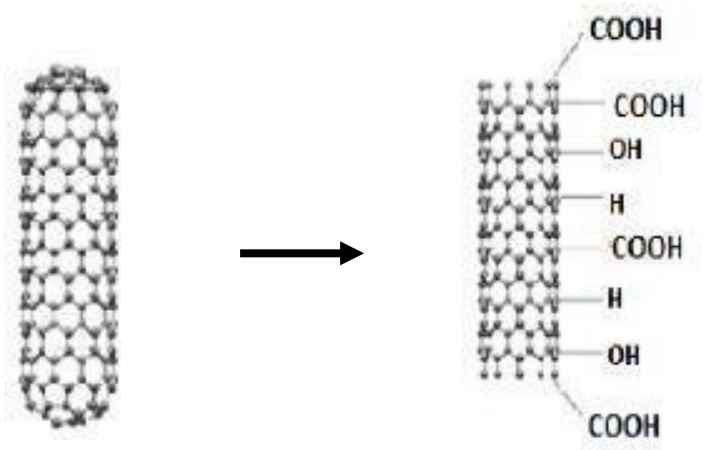
*Carbon nanotube* (CNT) memiliki struktur berpori dengan ukuran diameter luar sekitar 2 nm – 100 nm. Sifat CNT jenis *Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT)* bersifat hidrofobik dan memiliki kelarutan yang rendah dalam *solvent*. Oleh karena itu, perlu dilakukan fungsionalisasi dengan penambahan gugus fungsional hidrofilik seperti gugus hidroksil pada permukaan MWCNT (Sears, 2010). Penambahan CNT kecenderungan untuk menghasilkan pori-pori yang lebih besar di dalam membran. Proses inversi fasa terjadi seiring dengan perubahan morfologi polimer template. Campuran GO-CNT nonpolar, setelah berinteraksi dengan nonsolvent polar, adalah secara kinetis dirangsang untuk bermigrasi ke luar dari matriks CA/PEG. Oleh karena itu, pori-pori yang lebih luas terbentuk sebagai hasil dari stimulasi bersama dari dinding membran yang berkembang dan motilitas yang dimediasi oleh tolakan fase GO-CNT dalam kerangka menginduksi ketegangan lebih lanjut dari dalam dinding, yang menambah proses porogenic penggantian pelarut. Penambahan CNT yang semakin (Simona-Rebeca Ignat, 2019).

CNT dipilih dalam penelitian kali ini karena CNT dapat bertindak sebagai pori baru, sehingga menyebabkan fluks pada membran akan meningkat, mempunyai

kelebihan dapat membentuk aliran air (tansportasi masal air dalam tabung nanonya).

### 2.4.1 Fungsionalisasi *Carbon Nanotube* (CNT)

CNT memiliki sifat dasar yaitu hidrofobik. Untuk itu diperlukan penambahan gugus fungsional hidrofilik berupa gugus hidroksil pada permukaan CNT atau yang dikenal dengan fungsionalisasi.




(*Carbon Nanotube*) (*Activated-Carbon Nanotube*)

**Gambar 2.1** Fungsionalisasi CNT

Secara umum, metode fungsionalisasi pada *carbon nanotube* terbagi menjadi dua yaitu:

1. *Wet Functionalization*

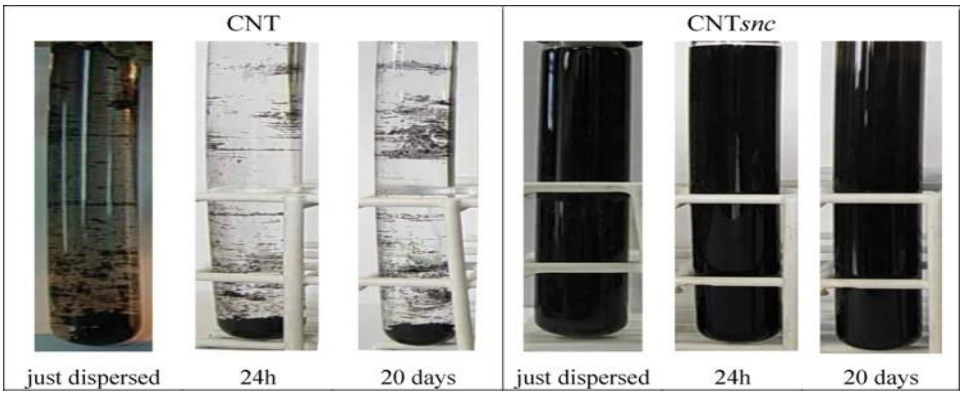
   Penambahan gugus fungsional pada CNT dilakukan dengan metode *wet oxidation* menggunakan bahan kimia sebagai agen pengoksidasi (asam dan oksidator kuat). Perbedaan metode oksidasi yang digunakan akan berpengaruh terhadap konsentrasi oksigen pada dinding CNT dan konsentrasi gugus fungsionl.

**Tabel 2.2** Tingkat Oksidasi CNT dengan Berbagai Oxidative Treatments (Wepasnick, 2011)

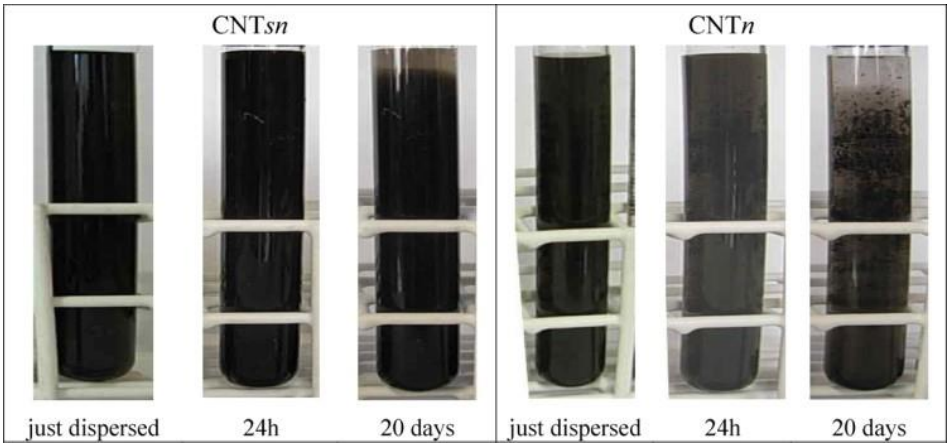
| ***Oxidative Methods*** | ***Oxidation Level (%)*** |
|---|---|
| *Pristine* | ~1 |
| $(NH4)_2S_2O_8$ | 4.5 |
| $H_2O_2$ | 4.5 |
| $O_3$ | 4.7 |
| 20% $HNO_3$ | 4.3 |
| 70% $HNO_3$ | 9.5 |
| KMnO4 | 9 |
| $H_2SO_4/HNO_3$ | 10.2 |

Dari **Tabel 2.2** diketahui metode fungsionalisasi CNT) dengan menggunakan $H_2SO_4/HNO_3$ memberikan hasil yang terbaik dimana perbandingan $H_2SO_4$ dan $HNO_3$ yang digunakan yaitu 3:1 dalam % volume (Wepasnick, 2011).

Tujuan dari fungsionalisasi CNT selain memasukkan gugus fungsional yang merubah sifat CNT dari hidrofobik menjadi hidrofilik, juga dapat meningkatkan dispersi dari CNT. Adanya penambahan HCl sesudah memasukkan gugus fungsional ke CNT menggunakan $H_2SO_4$ dan HNO3 dapat meningkatkan dispersi hingga sifat CNT yang semakin hidrofilik (Osorio, 2008).




**Gambar 2.2** Analisa dispersi CNT pada aqueous media untuk CNT, CNTsnc (Osorio, 2008)

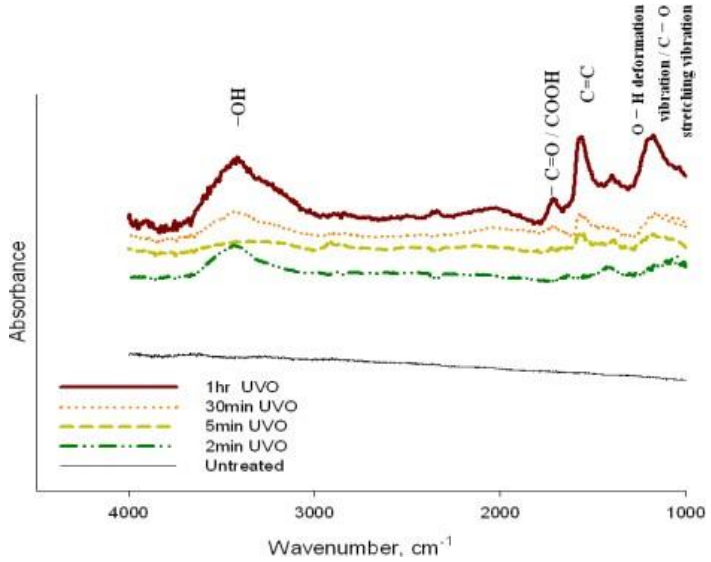



**Gambar 2.3** Analisa dispersi CNT pada aqueous media untuk CNTsn, CNTn (Osorio, 2008)

Dari **Gambar 2.2** dan **Gambar 2.3** dapat diketahui bahwa tingkat dispersi pada CNT yang telah difungsionalisasi dengan $H_2SO_4$, $HNO_3$, dan HCL (CNTsnc) lebih baik dari pada CNT dengan fungsionalisasi menggunakan $H_2SO_4$ dan $HNO_3$ (CNTsn), menggunakan $HNO_3$ (CNTn) maupun yang masih belum difungsionalisasi (CNT), sehingga dapat diketahui metode *wet functionalization* yang terbaik yaitu dengan menggunakan $H_2SO_4$, $HNO_3$ dan HCL (CNTsnc) (Osorio, 2008).

2. *Dry Functionalization*

Permukaan dari *carbon nanotube* (CNT) dapat dimodifikasi dengan *treatment* menggunakan sinar UV/*ozone* yang berfungsi sebagai penguat untuk nanokomposit matriks polimer. *Treatment* ini ditujukan untuk mendispersi CNT secara merata hingga menyediakan permukaan CNT dengan fungsionalisasi untuk dapat mengubah sifat dari CNT menjadi hidrofilik (Kim, 2007). Metode fungsionalisasi ini dilakukan dengan cara memaparkan sinar UV pada permukaan CNT pada jarak 5-20 cm selama ± 30 menit (Aria, 2013).




**Gambar 2.4** Hasil uji FTIR untuk dry functionalization (Kim, 2007)

Dari hasil uji FTIR pada **Gambar 2.4** diketahui bahwa tidak terdapat gugus fungsional yang signifikan pada CNT yang masih belum dilakukan *treatment*. Setelah *treatment*, *peak* pada 1174, 1570, 1660, 1716 dan 3100-3400 $cm^{-1}$ dengan ikatan C=O, O-H dan C-O pada gugus fungsional COOH mulai muncul, dan menjadi semakin bertambah seiring dengan meningkatnya waktu pemaparan sinar UV (Kim, 2007).

**2.9 Silikon Dioksida ($SiO_2$)**

Silikon dioksida, juga dikenal sebagai silika (dari silex Latin) atau asam silikat, merupakan oksida silicon yang memiliki rumus kimia $SiO_2$. Silika ini paling sering ditemukan di alam sebagai pasir atau kuarsa, serta di dinding sel diatom. Silika diproduksi dalam beberapa bentuk termasuk leburan kuarsa, kristal, silica kesal (atau *silica pyrogenic*, merek dagang Aerosil atau Cab-O-Sil), silika koloid, gel silika, dan Aerogel. Silika juga dapat dihasilkan oleh hidrolisis TEOS (*Tetraethyl orthosilicate)*, pada proses ini silika yang dihasilkan sangat aman serta memiliki kemurnian dan kehomogenan yang tinggi.

Partikel $SiO_2$ telah menarik perhatian khusus karena sifat khusus mereka seperti ukuran kecil dan halus, tahan panas, suspensi halus pembentukan ion dalam larutan air, energi permukaan yang kuat, sifat mekanik yang baik, dispersibilitas,

mengurangi aglomerasi, serta $SiO_2$ juga berfungsi meningkatkan nilai fluks dan anti fouling (Liu Y dkk, 2019).

## 2.10 Membran CA/PEG

Membran *Cellulose acetate* (CA)/*Polyethylene glycol* (PEG) biasa digunakan dalam proses desalinasi, sifat *Cellulose acetate* yang mengandung gugus hidroksil dan tak beracun karena tidak memiliki gugus *floride*, membuat membran jenis ini banyak dikembangkan, selain itu kestabilan termal dan kimia membran jenis ini tergolong bagus (Mulder, 1996).

Uji fluks permeat membran dengan komposisi perbandingan CA/PEG berbeda pernah diujikan pada penelitian (Saljoughi, 2009), pada penelitian ini uji fluk satu – satunya uji performa membran yang dilakukan. Hasil dari penelitian tersebut membran dengan perbandingan CA/PEG mendekati 80:20 memiliki fluk permeat tertinggi. Dari 1 uji performa membran tersebut membran CA/PEG dengan perbandingan mendekati (4:1) memiliki performa yang lebih unggul dilihat dari 1 uji.

## 2.11 N, N-Dimethylformamide (DMF)

DMF merupakan solven yang dapat melarutkan polimer dan garam anorganik, karena kemampuan ini DMF sering digunakan dalam pembuatan bermacam macam membran seperti PVC dan selulosa asetat, khusus membran selulosa asetat biasa nya diaplikasikan pada 10 – 20 % wt (Mulder, 1996).

**Tabel 2.3** Sifat pelarut DMF (Abdulreza, dkk 2001)

| Sifat | DMF |
|---|---|
| Rumus kimia | $HCON(CH_3)_2$ |
| Berat molekul (gr/mol) | 73,1 |
| Titik didih ($^oC$) | 153 |
| Titik beku ($^oC$) | -61 |
| Densitas(T=20$^oC$) | 0,944 |

## 2.12 Metanol

Metanol, juga dikenal sebagai metil alkohol, *wood alcohol* atau spiritus, adalah senyawa kimia dengan rumus kimia $CH_3OH$ yang merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada "keadaan atmosfer" metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol). metanol digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai bahan additif bagi etanol industri. Pada pembuatan membran metanol bertindak sebagai non pelarut bahan polimer; ini berarti dapat merangsang penyerapan air oleh membran dan akibatnya cenderung meningkatkan kinerja dan dihasilkan membrane yang optimal (Duarte AP dkk, 2005).

## 2.13 Isopropanol

Isopropanol adalah senyawa kimia yang tidak berwarna dan mudah terbakar ( rumus kimia $CH_3CHOHCH_3$). Sebagai gugus isopropil yang terkait dengan gugus hidroksil , itu adalah contoh paling sederhana dari alkohol sekunder, dimana atom karbon alkohol melekat pada dua atom karbon lainnya. Ini adalah isomer struktural 1-propanol dan etil metil eter. Isopropil alkohol larut dalam air, etanol, eter dan kloroform . Ini melarutkan etil selulosa, polivinil butiral, banyak minyak, alkaloid, getah dan resin alami. Tidak seperti etanol atau metanol , isopropil alkohol tidak larut dengan larutan garam dan dapat dipisahkan dari larutan berair dengan menambahkan garam seperti natrium klorida. Dalam pembuatn membrane isopropanol dapat digunakan sebagai non pelarut, dimana membran yang dihasilkan memiliki kekuatan atau daya tahan yang lebih tinggi.

## 2.14 Parameter Kelarutan dan Koefisien Difusi

Parameter kelarutan digunakan untuk menentukan kelarutan polimer tertentu. Representasi parameter kelarutan yang dikembangkan oleh Hansen adalah dispersi ($\delta d$), polar ($\delta p$) dan ikatan hidrogen ($\delta h$) (Hansen C, 2007). Untuk mengetahui interaksi antara *non-solvent* - *solvent* dan *polymer* - *non-solvent* dapat dilihat dari hasil perbedaan parameter kelarutan antara *non solvent* - *solvent* ($\Delta\delta$ (ns-s)) dan *polymer* - *non-solvent*. pelarut ($\Delta\delta$ (p -ns)). Perbedaan parameter

kelarutan antara *non-solvent* - *solvent* (Δδ (ns-s)) dihitung menggunakan **Persamaan 2.1** (Bottino A dkk, 1991).

$$\Delta\delta_{ns-s} = \sqrt{\left(\delta_{d,ns} - \delta_{d,s}\right)^2 + \left(\delta_{p,ns} - \delta_{p,s}\right)^2 + \left(\delta_{h,ns} - \delta_{h,s}\right)^2} \quad (2.1)$$

Perbedaan parameter kelarutan antara polimer - *non-solvent* (Δδ (p-ns)) dihitung menggunakan **Persamaan 2.2** (Mazinani S dkk, 2017).

$$\Delta\delta_{p-ns} = \sqrt{\left(\delta_{d,p} - \delta_{d,ns}\right)^2 + \left(\delta_{p,p} - \delta_{p,ns}\right)^2 + \left(\delta_{h,p} - \delta_{h,ns}\right)^2} \quad (2.2)$$

Tipe *non-solvent* mempengaruhi struktur morfologi membran. Nilai tukar *solvent* dan *non-solvent* pada larutan polimer/antarmuka bak koagulasi secara teoritis diperkirakan dengan koefisien difusi, koefisien difusi dapat di hitung dari persamaan Tyn-Calus (Lua A C dkk, 2013).

$$D_{AB} = 8{,}93 \text{ x } 10^{-8} \left(\frac{V_B^{0.267}}{V_A^{0.433}}\right) \left(\frac{T}{\eta_B}\right) \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_A}\right)^{0.15} \quad (2.3)$$

Dimana, $D_{AB}$ ($cm^2/s$) adalah koefisien difusi spesies A dalam B, $V_A$ dan $V_B$ ($cm^3/mol$) adalah volume molar spesies A dan B, T (K) adalah suhu absolut, $\eta_B$ (mPa/s) adalah viskositas dari spesies B, $\sigma_A$ dan $\sigma_B$ (mN/m) adalah tegangan permukaan dari spesies A dan B.

## 2.15 Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti | Judul | Hasil |
|---|---|---|---|
| 1. | Arthanareeswaran, G, dkk. 2004 | *Synthesis, Characterization and Thermal Studies on Cellulose Acetate Membranes with Additives* | Membran berbahan dasar CA dengan penambahan PEG memiliki ukuran pori dan fluks yang besar namun rijeksi garam rendah. |
| 2. | Nurkhamidah, S.; Rahmawati,Y.; | *Synthesis of Polymeric Membrane* | Membrane desalinasi berbahan dasar CA/PEG. Ditemukan |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Taufany, F.; Merta,I.M.P.A.; Putra, D.D.D.; 2015 | *for Desalination Process.* | komposisi terbaik adalah 80/20. |
| 3. | Nurkhamidah, Siti, dkk. 2019 | *Modified of Cellulose Acetate/ Polyethylene Glycol Membrane By the Addition of Graphene Oxide* | Membrane CA/PEG (80/20) dengan penambahan Graphene Oxide (GO). Hasil optimum saat penambahan GO 0,005 % berat dengan rijeksi garam sebesar 82 % dan fluks 626.743 L/$m^2$.jam. |
| 4. | Barikani, Mehdi, dkk. 2018 | *Development of Graphene Oxide-Cellulose Acetate Nanocomposite Reverse Osmosis Membrane for Seawater Desalination* | Membrane CA 15% dengan penambahan GO. Hasil optimum pada jurnal ini yaitu pada penambahan 1% GO, menghasilkan penolakan garam sebesar 90 %. |
| 5. | Shen, Liming, dkk. 2017 | *Preparation of Graphene Oxide–Cellulose Acetate Nanocomposite Membrane for High-Flux Desalination* | Membran CA 25% dengan penambahan GO. Hasil optimum pada jurnal ini yaitu pada penambahan 0,005% GO yang menghasilkan rijeksi garam sebesar 82,03 % dan fluks air sebesar 13,65 L/$m^2$.jam. |
| 6. | Figoli, Alberto, dkk. 2016 | *Novel PVDF-HFP Flat Sheet Membranes* | Memban PDF-HFP 12% berat dikoagulasi dalam isopropanol -air, menghasikan fluks sebesar |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | *Prepared by Triethyl Phosphate (TEP) Solvent for Direct Contact Membrane Distillation* | 16,1 kg/$m^2$ h dan rijeksi garam sebesar 99,3%. |
| 7. | Duarte AP dkk, 2005 | *Cellulose Acetate Reverse Osmosis Membranes Optimization of the Composition* | Membran cellulose diasetat/ cellulose triasetat, mengunakan pelarut dioxan, aceton dan asam asetat, dan non pelarut methanol murni menghasilkan rijeksi garam sebesar 82,89 % |
| 8. | Nurkhamidah dkk, 2020 | *Modified of Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol Membrane By the Addition of Graphene Oxide* | Membran CA/PEG, mixing solvent aseton/DMF rasio 50/50 % volume, ditambah GO grafting 0,005% dihasilkan rijeksi sebesar 82% dan fluks sebesar 626.743 L/$m^2$.h |
| 9. | Feyisayo V.Adams, Edward N.Nxumalo, dkk. 2013 | *The Influence of Solvent Properties on the Performance of Polysulfone/b-Cyclodextrin Polyurethane Mixed Matrix Membrane* | Menyelidiki dari beberapa sifat pelarut<br>1. DMF lebih stabil dengan menggunakan Analisa *Thermogravimetric* terdegradasi lebih lama<br>2. Pada uji SEM terlihat bahwa pelarut DMSO memiliki struktur morfologi yang baik, |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | karena terdapat lebih banyak pori berongga dan finger like.<br>3. Pada Uji XRD terlihat bahwa NMP memiliki intensitas yg lebih tinggi hal ini karena densitas NMP yang terbesar dan kelarutan yang lebih kecil.<br>4. Pada Analisa Flux terlihat bahwa DMSO memiliki nilai Flux tertinggi dan *salt rejection* yang tinggi |
| 10. | (Liu Y dkk, 2019). | *Synthesis of novel high flux thin-film nanocomposite nanofiltration membrane containing GO-$SiO_2$ via interfacial polymerization* | Membran PSf dengan pelarut DMF dengan penambahan nano partikel GO-$SiO_2$ 0,01 % berat menghasilkan rijeksi garam sebesar 40,7 % dan fluks sebesar 43,6 L/$m^2$.jam |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 11. | (Safarpour M dkk, 2015) | *Thin film nanocomposite reverse osmosis membrane modified by reduced graphene oxide/$TiO_2$ with improved desalination performance* | Membran PSf dengan pelarut NMP dengan penambahan nanopartikel GO/$TiO_2$ 0,02 % berat menghasilakan rijeksi garam sebesar 99,45% |

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# BAB III
# METODE PENELITIAN

## 3.1 Garis Besar Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh non pelarut terhadap karakteristik dan kinerja membran, mempelajari metode fungsionalisasi CNT (CNT-f), grafting GO (PEG-g-GO), sintesis PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$ dan PEG-g-GO-$SiO_2$ serta mempelajari pengaruh penambahan PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$ dan PEG-g-GO-$SiO_2$ terhadap membran CA/PEG. Non pelarut yang digunakan adalah isopropanol, metanol dan air. Penelitian dilakukan secara bertahap yakni sintesa membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan pelarut DMF menggunakan variasi non pelarut seperti air, isopropanol, metanol, isopropanol-air dan methanol-air untuk mengatahui non pelarut yang akan menghasilkan membran dengan karakteristik dan kinerja terbaik. Kemudian mensintesa membran CA/PEG dengan pelarut DMF dan non pelarut terbaik serta penambahan nanopartikel yaitu PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$, dan PEG-g-GO-$SiO_2$. Karakterisasi membran dilakukan beberapa analisa yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui bentuk pori dan struktur permukaan membran, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus yang terkandung dalam membran, *Dynamic Mechaical Analysis* (DMA) untuk mengetahui kekuatan daya tarik membran, analisa *water content* dan *contact angel* untuk mengetahui hidrofilisitas dari membran, uji fluks dan *salt rejection* untuk mengetahui performa membran dari fluks dan rijeksi garamnya.

## 3.2 Bahan dan Alat Penelitian

### 3.2.1 Bahan yang digunakan

1. *Cellulose Acetate* (CA), Sigma Aldrich,
   *Acetyl Content* : 39,8 %
   Berat Molekul : 30.000 Da

2. *Polyethylene Glycol* (PEG), Sigma Aldrich,
   Berat Molekul : 400 Da
3. *Graphene Oxide* (GO), Sigma Aldrich
   *Bluk Density* : *~1,8 g/cm*$^3$
4. *Carbon Nanotube* (CNT), Cheap Tubes Inc
   Ukuran Partikel : 8-15 nm
   *Length* : 10-50 µm
   *Purity* : > 95 wt%
   *Ash* : < 1,5 wt %
5. *N,N-Dimethylformamide* (DMF), Sigma Aldrich
6. *Tetraethyl orthotitanate* (TEOT) ($Ti(OC_2H_5)_4$), Sigma Aldrich
   *Molecular Weight* : 228,11 g/mol
7. *Tetraethyl orthosilicate* (TEOS) ($Si(OC_2H_5)_4$), Sigma Aldrich
   *Molecular Weight* : 208,33 g/mol
8. Garam NaCl, Merck
9. Isopropanol, Sigma Aldrich
10. Metanol, Sigma Aldrich
11. Natrium Hidroksida (NaOH), Sigma Aldrich
12. *Sodium Chloroacetate* ($ClCH_2COONa$), Sigma Aldrich
13. *Dicloromethane* ($CH_2Cl_2$), Sigma Aldrich
14. *Dimethylaminopyridine* ($C_7H_{10}N_2$), Sigma Aldrich
15. *N,N-dicyclohexylcarbodiimide* (DCC), Sigma Aldrich
16. Aquades
17. $HNO_3$, Merck, 65 % PA
18. $H_2SO_4$ 95-97% PA
19. HCl 2M, 0,1 M Sigma Aldrich

### 3.2.2 Alat yang digunakan

1. Botol sampel 50 ml
2. Pipet ukur 25 ml
3. Gelas arloji
4. *Hotplate + Stirer*

5. *Magnetic Stirbar* 2.5 cm
6. Neraca analitik
7. *Mold*
8. Alat uji Desalinasi
9. *Coagulation Bath*
10. *Scotlite*
11. Pompa Vakum
12. Lampu UV
13. Kertas Saring Whatman

    Diamater : 90 mm

    *Pore size* : 1,2 μm

    *Thickness* : 260 μm
14. *Buchner Funnel* diameter 9,5 cm
15. *Filtering flask* 500 ml, Schott Duran
16. pH Meter
17. Oven
18. Alat uji *reverse osmosis*
19. Malam
20. Alat sonikasi

## 3.3 Variabel Penelitian

**1. Fungsionalisasi CNT**

- **Variabel Tetap**

➢ Waktu fungsionalisasi : 6 jam

➢ Suhu fungsionalisasi : 70 $^0$C

➢ Suhu Pengeringan : 70 $^0$C

**2. Grafting GO (PEG-g-GO)**

- **Variabel Tetap**

➢ Waktu grafting GO : 24 jam

➢ Suhu grafting GO : 40-50 $^0$C

➢ Suhu pengeringan : 100 $^0$C

3. **Sintesis PEG-g-GO-$TiO_2$**

- **Variabel Tetap**

➢ Sintesis GO-$TiO_2$ : 24 jam

➢ Suhu pengeringan : 60 $^0$C

4. **Sintesis PEG-g-GO -$SiO_2$**

- **Variabel Tetap**

➢ Sintesis GO-$SiO_2$ : 24 jam

➢ Suhu pengeringan : 55 $^0$C

5. **Proses Pembuatan Membran**

- **Variabel Tetap**

➢ Massa *Cellulose Acetate* (CA) = 2 gram

➢ Massa *Polyethylene Glycol* (PEG) = 0,5 gra

➢ Volume total pelarut (DMF) = 17 ml

➢ Suhu Pencampuran = 70 $^0$C

➢ Suhu Perendaman = 25 $^0$C

➢ Ketebalan Membran = 200 µm

- **Variabel Bebas**

➢ Non pelarut = Isopropanol, metanol, dan *water*

➢ PEG-g-GO/CNT = Rasio 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, dan 0/100 dari 0.05% berat polimer

➢ PEG-g-GO-$TiO_2$ = 0%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.05%, dan 0.07% berat polimer

➢ PEG-g-GO-$SiO_2$ = 0%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.05%, dan 0.07% berat polimer

- **Variabel Respon**

➢ Morfologi Membran

➢ Gugus -OH (FTIR)

➢ *Water Content*

➢ Fluks Permeat

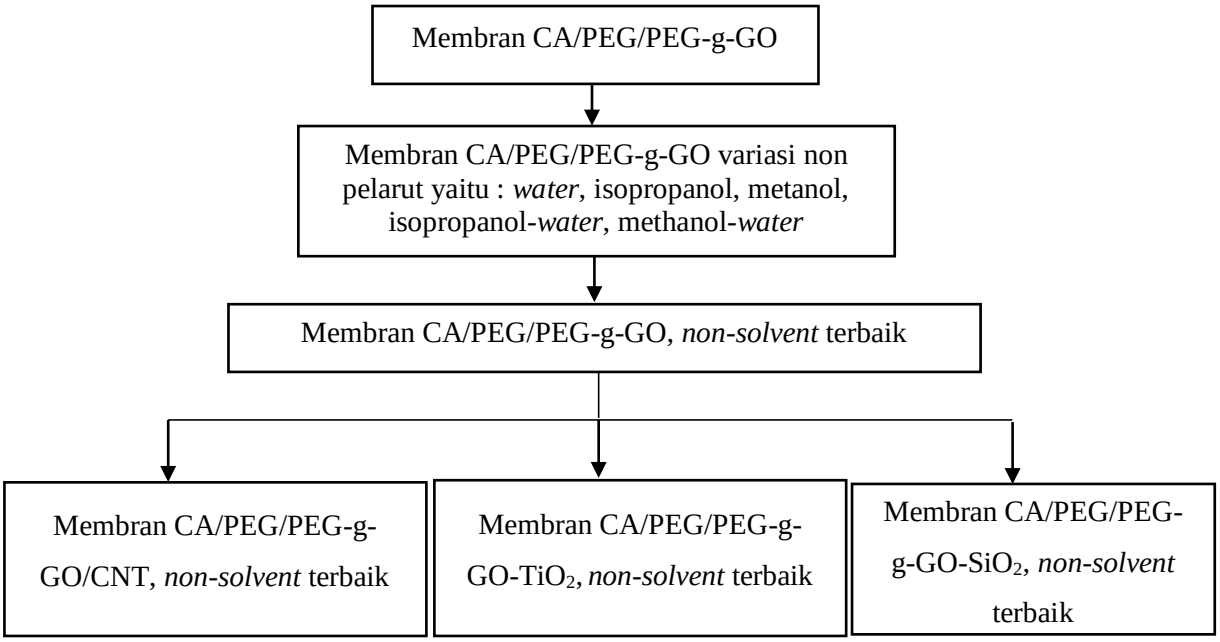
➢ Rijeksi Garam

➢ Permeabilitas

- XRD
- DMA
- AntiFouling

### 3.4 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan secara bertahap, yang pertama yakni mensintesa membran CA/PEG/PEG-g-GO/*solvent* DMF menggunakan variasi *non-solvent* meliputi *water*, isopropanol, metanol, isopropanol-*water* (dilakukan bertahap) dan methanol-*water* (dilakukan bertahap). Tahap ini dilakukan untuk menentukan *non-solvent* terbaik terhadap karakteristik dan kinerja membran, yang kedua mensintesa membran CA/PEG/*solvent* DMF/*non-solvent* terbaik ditambah nanopartikel PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$, dan PEG-g-GO-$SiO_2$ dengan variable yang telah ditentukan. Tahap ini dilakukan untuk menentukan variable terbaik dari penambahan PEG-g-GO/CNT, PEG-g-GO-$TiO_2$, dan PEG-g-GO-$SiO_2$ terhadap karakteristik dan kinerja membran.




**Gambar 3.1** Garis besar metodologi penelitian

### 3.4.1 Tahap A - Fungsionalisasi CNT

- Fungsionalisasi *Carbon Nanotube* (CNT) dengan Penambahan $H_2SO_4/HNO_3/HCL$
    1. Mencampurkan 1,25 gr CNT dengan $H_2SO_4/HNO_3$ 3:1 ( 75 ml: 25 ml)
    2. Mengaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C selama 6 jam.
    3. Menyaring CNT menggunakan *nylon filter* 90 mm
    4. Mencuci CNT dengan *distillate water* hingga pH=7.
    5. Mengeringkan CNT pada suhu 70°C hingga kering.
    6. Mencampurkan CNT-SN dengan 500 ml HCL 2M
    7. Mengaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C selama 6 jam.
    8. Menyaring CNT menggunakan *nylon filter* 90 mm
    9. Mencuci CNT dengan aquades hingga pH=7.
    10. Mengeringkan CNT-f pada suhu 70°C hingga kering.
    11. CNT-f yang sudah kering disinari UV selama 30 menit

### 3.4.2 Tahap B - Grafting GO

1. 300 mg GO dilarutkan dalam 300 ml aquades, lalu ditambahkan 3,75 gram NaOH dan 3,75 gram $ClCH_2COONa$, kemudian larutan di sonifikasi selama 2 jam
2. Larutan di netralisasi mengunkan 0,1 M HCl, kemudian disaring dengan pembilasan berulang sampai produk tersebar homogen dengan air.
3. GO yang tersaring di oven dengan suhu 100 $^0$C
4. PEG 1,5 gram dilarutkan dalam dicloromethane 30 ml kemudian menambahkan 0,06 gram dimethylaminopyridine (larutan A)
5. GO setelah di oven dilarutkan dalam 20 ml DMF lalu dicampur ke larutan A kemudian diaduk selama 5 menit (larutan B)
6. Melarutkan 0,5 gram *N,N-dicyclohexylcarbodiimide* (DCC) dalam 5 ml dicloromethane, lalu menambahkan ke dalam larutan B,

kemudian di aduk selama 24 jam pada temperature 40 $^0$C

7. Menyaring dengan pembilasan berulang hingga pH netral, kemudian mengeringkan dengan oven pada suhu 100 $^0$C, dihasilkan PEG-g-GO.

### 3.4.3 Tahap C - Sintesis PEG-g-GO -$TiO_2$

1. 60 mg PEG-g-GO dilarutkan dalam etanol/air (4:1 v/v) lalu di sonikasi selama 90 menit
2. Menambahkan 2 ml TEOT dengan pengadukan selama 1 jam.
3. Campuran dituangkan ke dalam autoclave stainless berlapis teflon dan di tempatkan pada suhu 180 ºC selama 6 dan 8 jam
4. Larutan berulang kali dicuci dengan air dan etanol, lalu dikeringkan pada suhu 60 ºC selama 12 jam, dihasilkan PEG-g-GO-$TiO_2$

### 3.4.4 Tahap D - Sintesis PEG-g-GO-$SiO_2$

1. 20 mg PEG-g-GO dilarutkan dalam etanol/air (5:1 v/v) lalu di sonikasi selama 30 menit
2. Menambahkan beberapa tetes larutan ammonia hingga pH 9
3. Menambahkan 0,5 ml TEOS, lalu di sonikasi selama 30 menit
4. Larutan disimpan didalam temperatur ruangan selama 24 jam,
5. Larutan di cuci dengan etanol sebanyak 3 kali, lalu di keringkan pada suhu 55 ºC selama 12 jam, dihasilkan PEG-g-GO-$SiO_2$

### 3.4.5 Tahap E - Pembuatan membran dengan variasi non pelarut

1. Menimbang CA, PEG, PEG-g-GO masing-masing sebanyak 2 gram, 0,5 gram dan 0,005 % berat pelarut
2. Mengambil larutan DMF sebanyak 17 mL
3. Mencampur CA, PEG, PEG-g-GO dan larutan DMF dengan pengadukan konstan pada suhu 70 ºC hingga homogen
4. Mencetak membran menggunakan *mold*
5. Merendam membran dalam beberapa variasi non pelarut seperti air, isopropanol, metanol, isopropanol-air, methanol-air. Untuk air, isopropanol, metanol perendaman selama 15 menit pada suhu 25

$^{o}$C, dan isopropanol-air, methanol-air perendaman awal isopropanol dan metanolselama 15 menit, kemudian dilanjutkan dengan air selama 6 jam.

6. Mengeluarkan dan mendiamkan membran pada suhu 25$^{o}$ C
7. Melakukan uji kinerja dan karakterisasi membran.
8. Dihasilkan membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan pelarut terbaik.

### 3.4.6 Tahap F - Pembuatan membran dengan penambahan nanopartikel dan non pelarut terbaik

1 Menimbang CA dan PEG, masing-masing sebanyak 2 gram dan 0,5 gram

2 Mengambil larutan DMF sebanyak 17 ml.

3 Menambahkan nanopartikel seperti PEG-g-GO-$TiO_2$, PEG-g-GO/CNT, dan PEG-g-GO-$SiO_2$ kedalam masing-masing botol yang berisi polimer CA dan PEG

4 Mencampurkan CA, PEG, pelarut DMF dan nanopartikel seperti PEG-g-GO-$TiO_2$, PEG-g-GO/CNT, dan PEG-g-GO-$SiO_2$ dalam masing-masing botol dengan pengadukan konstan pada suhu 70 $^{0}$C hingga homogen

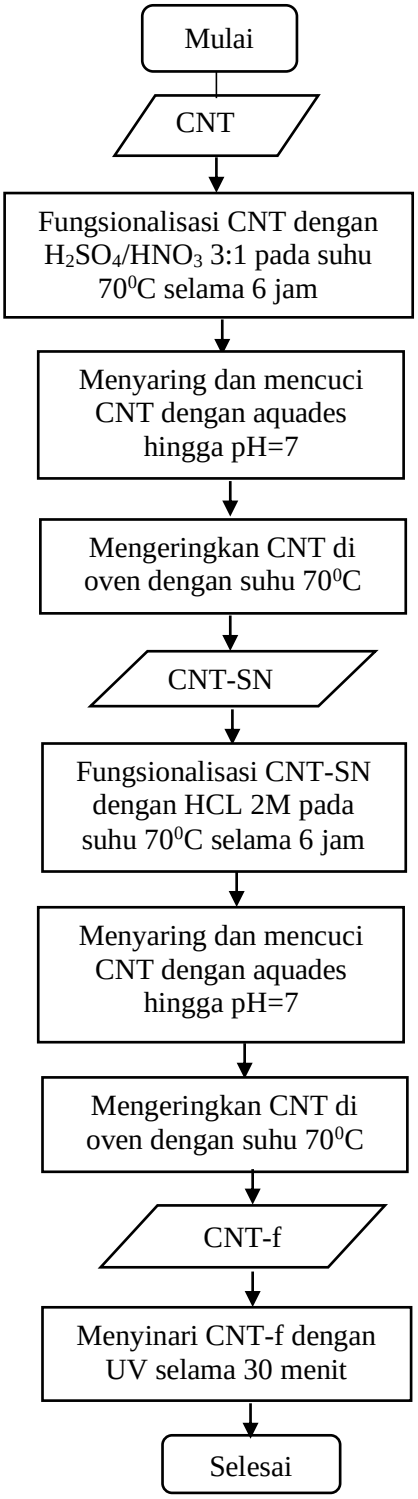
5 Merendam membran dengan non pelarut terbaik

6 Mengeluarkan dan mendiamkan membran pada suhu 25 $^{0}$C

7 Melakukan uji kinerja dan karakterisasi membran

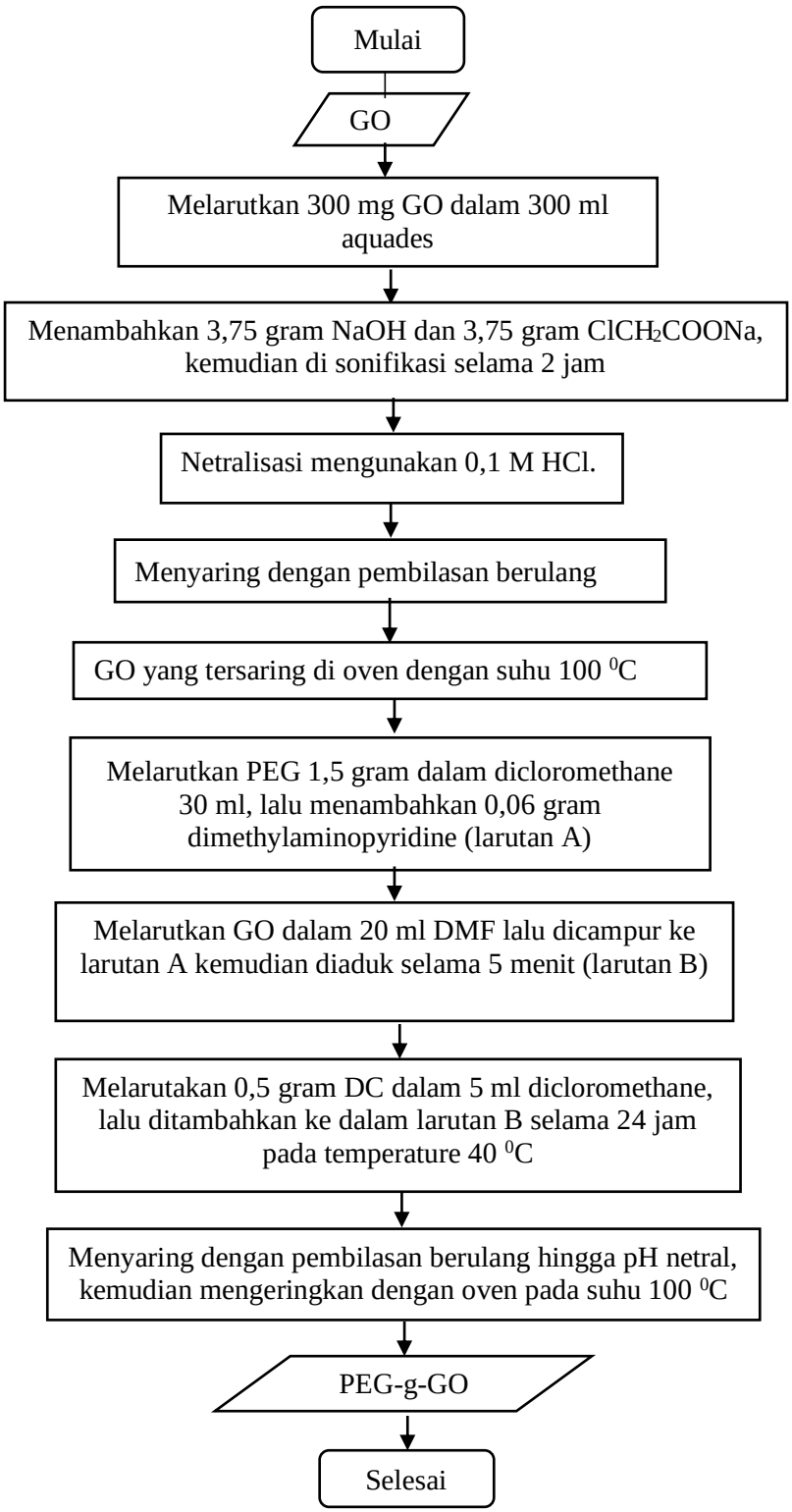
## 3.5 Diagram Alir Penelitian

### 3.5.1 Tahap A - Fungsionalisasi CNT



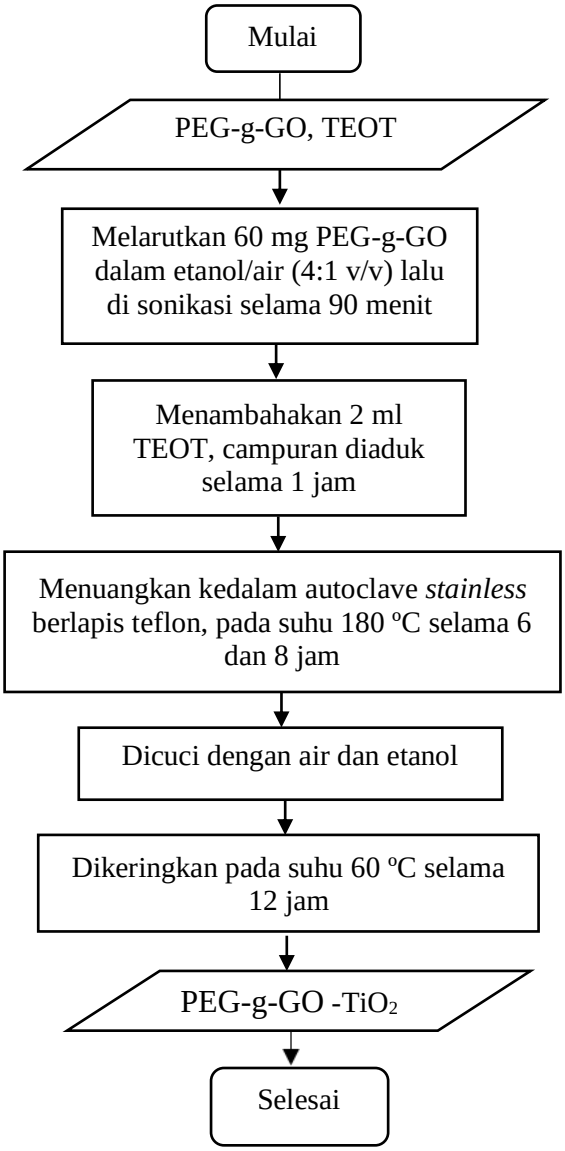

**Gambar 3.2** Diagram alir tahap fungsionalisasi CNT

### 3.5.2 Tahap B - Grafting GO



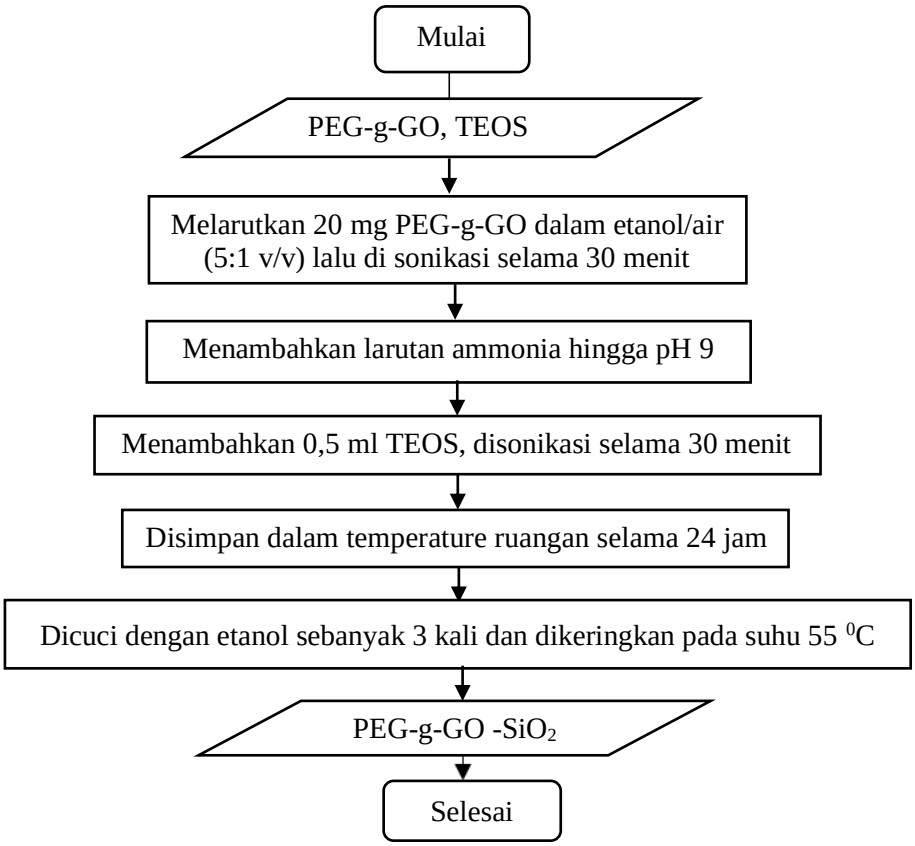

**Gambar 3.3** Diagram alir tahap grafting GO

### 3.5.3 Tahap C - Sintesis PEG-g-GO-$TiO_2$



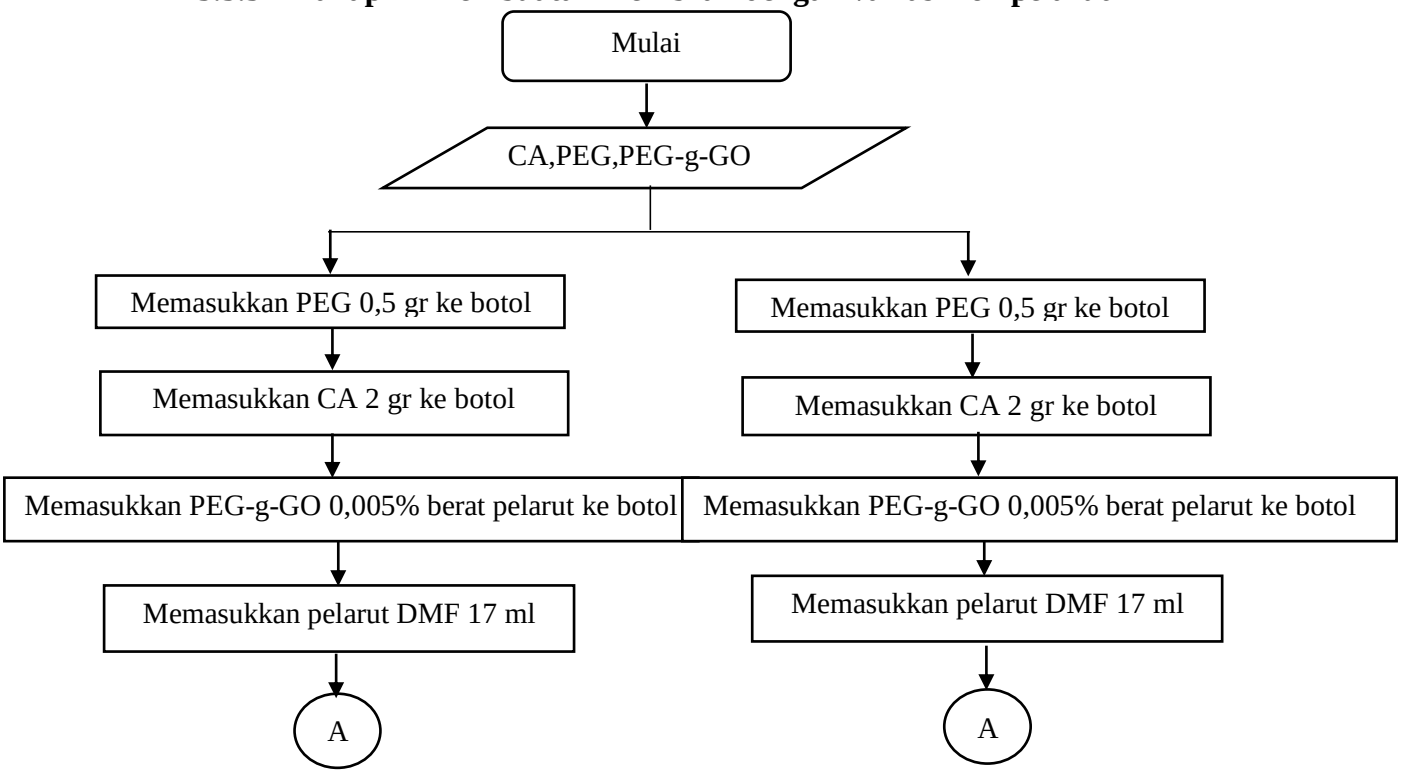

**Gambar 3.4** Diagram alir sintesis PEG-g-GO-$TiO_2$

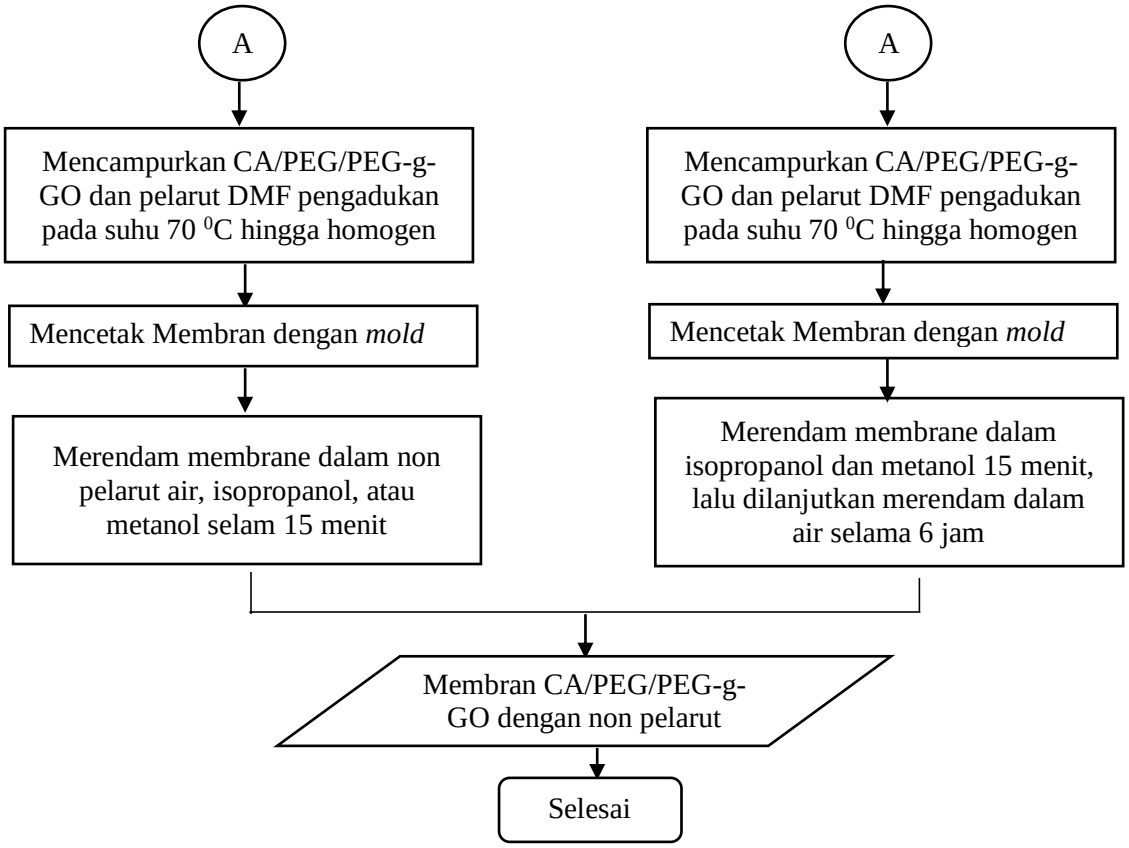
### 3.5.4 Tahap D - Sintesis PEG-g-GO-$SiO_2$




**Gambar 3.5** Diagram alir sintesis PEG-g-GO-$SiO_2$

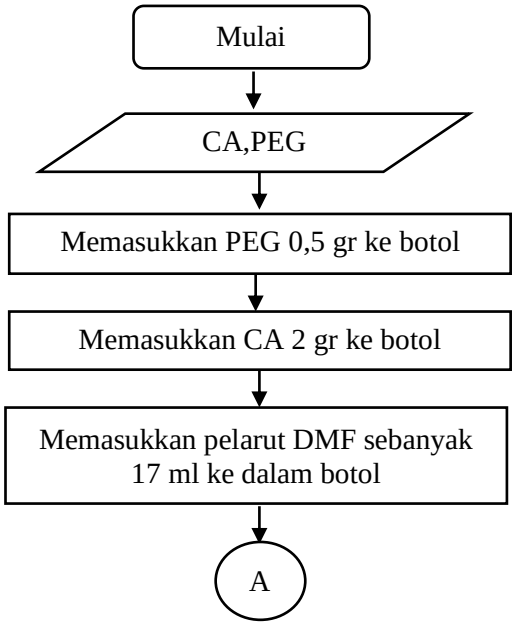
### 3.5.5 Tahap E - Pembuatan membran dengan variasi non pelarut

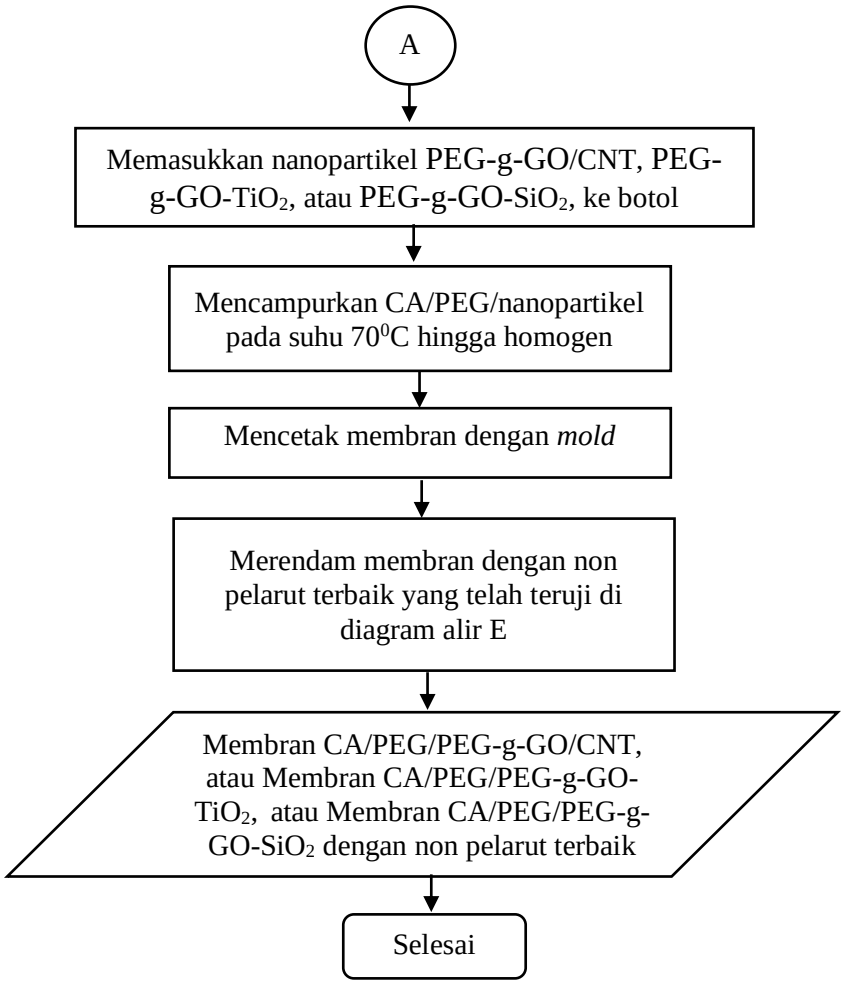





**Gambar 3.6** Diagram alir pembuatan membran variasi non pelarut

### 3.5.6 Tahap F - Pembuatan membran dengan penambahan nanopartikel dan non pelarut terbaik






**Gambar 3.7** Diagram alir pembuatan membran penambahan nanopartikel

## 3.6 Prosedur Analisa

### 3.6.1 Karakteristik Membran

1. Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Hasil SEM yang berupa gambar morfologi

menyajikan bentuk permukaan bahan dengan berbagai lekukan dan tonjolan (Smallman dkk, 1999).

Langkah analisa struktur morfologi adalah:

- Membran dicelupkan ke dalam nitrogen cair selama beberapa detik kemudian dipatahkan
- Membran di*coating* terlebih dahulu dengan *coating* Au 120 detik pada 5mA
- Sampel kemudian dianalisa dengan mesin SEM hitachi type flexsem 1000 dari Jepang dengan 5.00kV

2. Analisa *Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* (FTIR)

Teknik pengujian yang dapat digunakan untuk menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, hingga senyawa - senyawa anorganik adalah *Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* (FTIR). Uji ini mampu menganalisa suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Spektroskopi FTIR tidak hanya mempunyai kemampuan untuk analisa kualitatif namun juga untuk analisa kuantitatif (Adams dkk, 2013).

Langkah analisa *Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* (FTIR) adalah:

- Membran dimasukkan ke dalam alat FTIR thermo scientific nicolet iS10 dan dianalisa
- Membaca grafik yang terbentuk untuk mengamati gugus- gugus yang muncul

3. Analisa *Dynamic Mechanical Analyzer* (DMA)

*Dynamic Mechanical Analyzer* (DMA) digunakan untuk mengukur sifat mekanis dan viskoelastis suatu membran. Suatu sampel akan diberikan tekanan berkala dalam salah satu dari beberapa mode deformasi yang berbeda (pembengkokan, tegangan, geser dan kompresi). Modulus sebagai fungsi waktu atau suhu akan diukur dan memberikan informasi tentang transisi fase.

Langkah Analisa daya Tarik membran:

- Membran dimasukkan ke dalam alat DMA (DMA/SDTA861$^{e}$) dan dianalisa
- Membaca grafik yang terbentuk untuk mengamati tekanan daya tarik yang dimiliki suatu membran.

4. Analisa X-Ray Diffraction (XRD)

Langkah analisa senyawa menggunkan XRD adalah:

- Memasukkan membrane kedalam alat XRD Philips MPD system.
- Membaca grafik yang terbentuk

5. Analisa *water content*

Analisa *water content* berfungsi untuk megetahui kemampuan membran dalam menyerap air (hidrofilisitas).

Langkah analisa *water content* adalah:

- Membran di rendam selama 24 jam di aquades
- Air pada permukaan membran dihilangkan dengan kertas saring
- Menimbang membran basah dengan neraca
- Mengoven membran pada suhu 70 $^{0}$C selama 48 jam
- Menimbang membran kering dengan neraca (Zhu dkk, 2017)

Rumus perhitungan *water content* :

$$X\% = \frac{W_w - W_d}{W_w} \text{ x } 100\ \% \qquad (3.1)$$

Keterangan :

X% = *water content* (%)

$W_w$ = berat membran basah

$W_d$ = berat membran kering (Eldin dkk, 2017)

6. Analisa porositas

Analisa porositas merupakan suatu analisa yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar porositas suatu membran tersebut. Langkah-langkah analisa porositas sama dengan analisa *water content*. Prositas dapat dihitung menggunkan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{(W_w - W_d)/\rho_w}{\frac{W_w - W_d}{\rho_w} + \frac{W_d}{\rho_p}}\ x\ 100\% \qquad (3.2)$$

Keterangan :

$W_w$ = berat membran basah

$W_d$ = berat membran kering

$\rho_w$ = densitas *water*

$\rho_p$ = densitas polimer (Lua dkk, 2013)

7. Perhitungan radius pori rata-rata

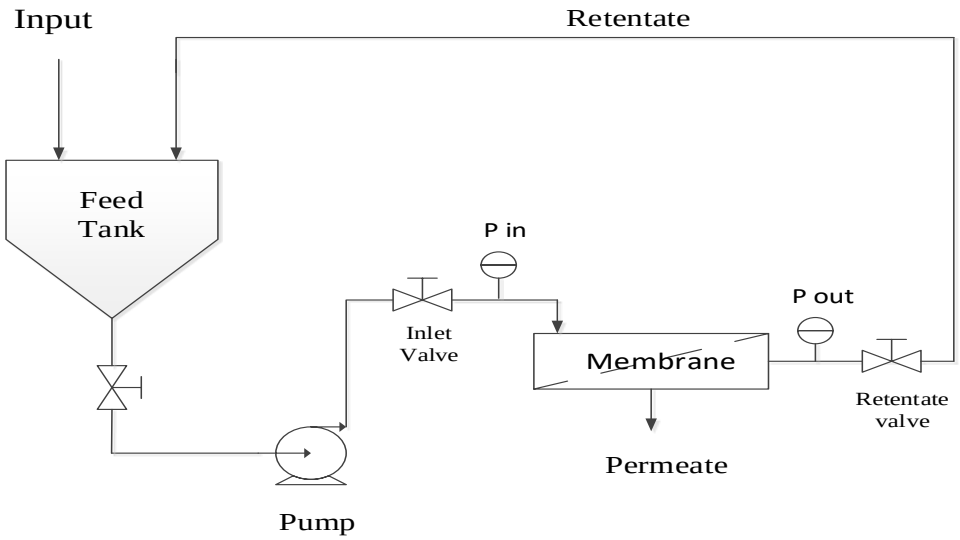
Radius pori merupakan ukuran radius pori pada membran yang dapat diperkirakan menggunakan persamaan Guerout-Elford-Ferry (K.A. Gebru, 2017).

$$rm = \sqrt{\frac{(2.9 - 1.75\,\varepsilon)\times 8\,\eta I Q}{\varepsilon \times A \times \Delta P}} \quad (3.3)$$

Dimana ε adalah porositas pada membran, $\eta$ adalah viskositas air (8.9 x $10^{-4}$Pa s), l adalah ketebalan membrane (m), Q adalah volume permeat per waktu ($m^3$/s), A adalah area efektiv dari membrane ($m^2$), dan ΔP adalah selisish tekanan pada membrane.

### 3.6.2 Kinerja Membran

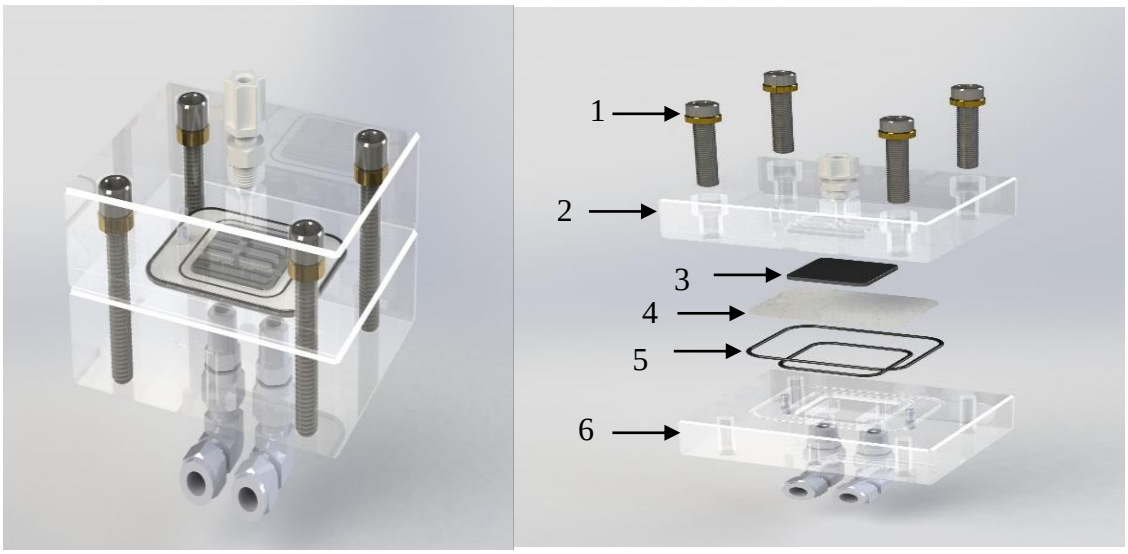
Kinerja membran meliputi uji rijeksi garam, fluks permeate, dan permeabilitas. Skema peralatan untuk uji kinerja membrane ditunjukkan pada **Gambar 3.8** dan detail modul untuk membrane ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.




**Gambar 3.8** Skema alat uji desalinasi

**3.6.2.1 Menyiapkan alat uji desalinasi**

- Memasukkan air garam 1000 ppm ke dalam *feed tank*
- Meletakkan membran pada alat uji flux (modul RO) sperti **Gambar 3.8**
- Lalu mengatur tekanan pompa
- Menyalakan alat (pompa) ke sumber listrik
- Mengatur tekanan *in* dan tekanan *out* nya
- Air garam yang dapat melewati alat uji flux (modul RO) ditampung di dalam gelas ukur, kemudian diukur kadar garamnya dengan alat konduktometer
- Menghitung fluks permeat, permeabilitas dan rijeksi garam




Keterangan:

1. Sekrup pengencang
2. Atas sel
3. Logam sinter
4. Membran RO
5. O-ring
6. Bawah sel

**Gambar 3.9** Modul tempat membran untuk uji kinerja

**3.6.2.2 Perhitungan Fluks Permeat**

Didapatkan data analisa uji desalinasi adalah luas membran (A) [$cm^2$] dan data dari analisa kadar garam adalah jumlah volume (volume permeat) [liter] dan waktu [jam]. Kemudian data tersebut untuk mendapat data fluks permeat dari rumus:

$$J = \frac{Q}{(A\ x\ t)} \quad (3.4)$$

J = fluks permeat (l/m$^2$.jam)

Q = jumlah permeat (liter)

A = luas membran (m$^2$)

t = waktu (jam)

Hasil yang didapatkan adalah fluk permeat (L/m$^2$.jam) fluk permeat adalah kemampuan air untuk melewati membran, semakin tinggi fluk permeat semakin tinggi jumlah ini (Eldin dkk, 2014).

**3.6.2.3 Perhitungan Permeabilitas**

Permeabilitas Permeabilitas membran (Pm) menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrofilik. Pm dapat diperoleh dengan mengukur fluks pada tekanan tras membran yang berbeda, dimana permeabilitas membran dapat digambarkan pada persamaan:

$$P_m = \frac{J}{\Delta P} \quad (3.5)$$

Keterangan :

$P_m$ = permeabilitas membran (L/m$^2$.jam /kPa)

J = fluks permeat (L/m$^2$.jam)

ΔP = Perbedaan tekanan (kPa) (Gebru dkk, 2017).

**3.6.2.4 Perhitungan Rijeksi Garam**

Didapatkan hasil permeat dari uji desalinasi yang kemudian diujikan konduktivitasnya menggunakan alat konduktometer dan grafik kalibrasi air garam sintesa. Kemudian data diolah untuk mendapat data rijeksi garam dengan rumus :

$$\%Rijeksi\ garam = \frac{garam_{in} - garam_{out}}{garam_{in}}\ x\ 100\ \% \quad (3.6)$$

Dimana, $garam_{in}$ = kadar garam masuk (ppm)

$garam_{out}$ = kadar garam keluar (ppm)

Hasil yang didapat adalah rijeksi garam (%), rijeksi garam menandakan kemampuan membran melakukan filtrasi semakin tinggi reijeksi garam maka performa membran semakin baik (Saljoughi, 2008).

#### 3.6.2.5 Uji Anti Fouling

Anti fouling dapat dihitung menggunkan persamaan dari FRR yaitu *Flux Recovery Ratio*, *Rt* yaitu rasio fouling total, *Rir* yaitu rasio fouling irreversible dan *Rr* yaitu rasio fouling reversible, seperti berikut:

$$FRR = Jc/Jw \times 100\% \quad (3.7)$$

$$Rt = (1 - Jf/Jw) \times 100\% \quad (3.8)$$

$$Rir = (1 - Jc/Jw) \times 100\% \quad (3.9)$$

$$Rr = (Jc - Jf)/Jw \times 100\% \quad (3.10)$$

Dimana, Jw merupakan fluks air murni 1, Jf merupakan fluks larutan BSA, dan Jc merupakan fluks air murni 2 (Zhenya Zhu, 2017).

## 3.7 Jadwal Kerja

Penelitian ini dilaksanakn pada laboratorium perpindahan panas dan massa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini dirancang selama 1 tahun yang dimulai pada bulan Februari 2020 hingga bulan Januari 2021:

**Tabel 3.1 Jadwal Kerja**

| No. | Kegiatan | Bulan ke-2/20 | | | | Bulan ke-3/20 | | | | Bulan ke-4/20 | | | | Bulan ke-5/20 | | | | Bulan ke-6/20 | | | | Bulan ke-7/20 | | | | Bulan ke-8/20 | | | | Bulan ke-9/20 | | | | Bulan ke-10/20 | | | | Bulan ke-11/20 | | | | Bulan ke-12/20 | | | | Bulan ke-1/21 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Studi pustaka | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Penyusunan proposal penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Seminar proposal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Persiapan peralatan dan bahan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Eksperimen/penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Uji karakteristik dan kinerja membran | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Pengolahan data | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Penyusunan laporan penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Pembuatan artikel ilmiah jurnal internasional | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Seminar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Publikasi Jurnal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Sidang hasil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memelajari pengaruh penambahan kombinasi nanopartikel antara *Graphene Oxide grafting* (PEG-g-GO) dengan *Sodium Oxide* ($SiO_2$), kombinasi nanopartikel antara *Graphene Oxide grafting* (PEG-g-GO) dengan Titanium Oxide ($TiO_2$), dan kombinasi nanopartikel antara *Graphene Oxide grafting* (PEG-g-GO) dengan *Carbon Nanotube* (CNT) terhadap performa membran CA/PEG. Sebelum dilakukan uji penambahan kombinasi nanopartikel, dilakukan penelitian awal yaitu menguji pengaruh jenis *non-solvent* terhadap kinerja membran CA/PEG/PEG-g-GO.

Sintesis semua membran CA/PEG pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *phase inversion*. Rasio komposisi CA/PEG yang digunakan adalah 80:20 dengan masing-masing sebanyak 2 gram CA dan 0,5 gram PEG. Pelarut yang digunkan pada penelitian ini yaitu N,N-*Dimethylformamide* (DMF) sebanyak 17 ml. Pada penelitian awal yaitu penentuan *non-solvent* dilakukan dengan variasi *non solvent* antara lain isopropanol (IPA), *water*, methanol, isopropanol-*water* (pencelupan berurutan), dan methanol-*water* (pencelupan berurutan). Membran yang digunakan untuk penentuan *non-solvent* adalah membran CA/PEG dengan *solvent* DMF dan zat aditif PEG-g-GO.

Untuk mengetahui karakterisasi membran dilakukan beberapa analisa karakteristik yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisa *water content*, porositas dan juga analisa kinerja *salt rejection* untuk mengetahui jumlah garam yang terperangkap pada membran, fluks permeat untuk mengetahui banyaknya *pure water* yang dihasilkan dan permeabilitas untuk mengetahui tingkat kemampuan membran dalam melewatkan molekul air.

## 4.1 Analisis dan Penentuan Jenis Non-Solvent Terbaik untuk Pembuatan Membran CA/PEG/PEG-g-GO

Penentuan jenis *non-solvent* terbaik dilakukan dengan menganalisa karakteristik membran yaitu analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisa

*water content, dan porosity* serta analisa kinerja membran yaitu analisa rijeksi garam, fluks permeat dan permeabilitas membran. Berikut data volume molar, densitas dan boiling point pada *non-solvent, solvent* dan polimer.

**Tabel 4.1.** Volume molar, densitas dan boiling point pada *non-solvent, solvent* dan polimer

| | V ($cm^3$/mol) | Densitas ($g/cm^3$) | Tb ($^0C$) |
|---|---|---|---|
| *Water* | 18 | 0.997 | 100 |
| IPA | 76.8 | 0.781 | 82 |
| Methanol | 40,7 | 0,7918 | 65 |
| DMF | 77 | 0,95 | 153 |
| CA | - | 1,3 | 210 |
| PEG | - | 1,12 | 290 |

(Lua dkk, 2013)

### 4.1.1 Hansen Solubility Parameter

*Solubility parameter* atau parameter kelarutan digunakan untuk menentukan kelarutan pada polimer tertentu. Representasi dari parameter kelarutan yang dikembangkan oleh Hansen yaitu dispersi (δd), polar (δp) dan ikatan hidrogen (δh) (Hansen C, 2007). Berikut adalah hasil *Hansen Solubility Parameter* dari masing-masing *non-solvent, solvent* dan polimer:

**Tabel 4.2** *Hansen solubility parameter* dari *non-solvent, solvent* dan polimer

| | $\delta_d$ | $\delta_p$ | $\delta_h$ | $\delta_{sp}$ |
|---|---|---|---|---|
| *Water* | 15,5 | 16 | 42,4 | 47.9 |
| IPA | 15.8 | 6.1 | 16.4 | 23.6 |
| Methanol | 15,1 | 12,3 | 22,3 | 29,6 |
| DMF | 17,4 | 13,7 | 11,3 | 24,9 |
| CA | 16,9 | 16,3 | 3,7 | 23,8 |
| PEG | 16,8 | 10,2 | 8,6 | 21,5 |

(Brandrup, J,1999)

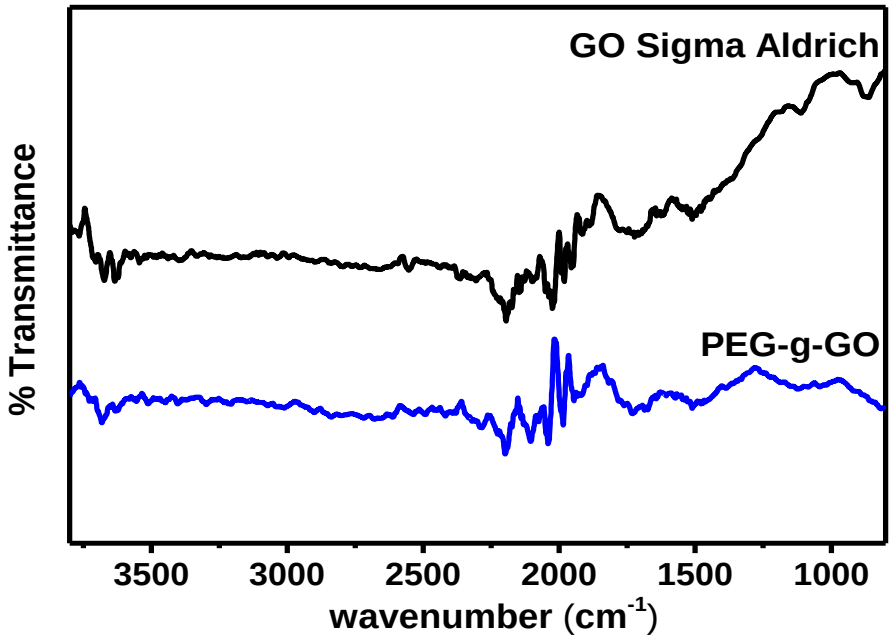
**Tabel 4.3** Perbedaan *solubility parameter non-solvent-solvent* dan polimer-*non-solvent*

| Polimer | Solvent | Non-Solvent | $\Delta\delta_{(ns-s)}$ | $\Delta\delta_{(p-ns)}$ |
|---|---|---|---|---|
| CA-PEG | DMF | *Water* | 31,2428 | 37,7564 |
| CA-PEG | DMF | IPA | 9,2914 | 14,8042 |
| CA-PEG | DMF | Methanol | 11,3248 | 17,9266 |
| CA-PEG | DMF | IPA- *Water* | 18,3765 | 25,0765 |
| CA-PEG | DMF | Methanol- *Water* | 21,1593 | 27,7307 |

Pada **Tabel 4.2** menampilkan dispersi (δd), polar (δp), ikatan hidrogen (δh), dan total parameter kelarutan (δsp) dari masing-masing *non-solvent, solvent* dan polimer. Untuk mengetahui adanya interaksi antara *non-solvent-solvent* dan polimer-*non-solvent* dapat di lihat pada **Tabel 4.3** yang menampilkan nilai dari perbedaan *solubility parameter* antara *non-solvent - solvent* ($\Delta\delta_{(ns-s)}$) dan polimer - *non-solvent* ($\Delta\delta_{(p-ns)}$**)** dimana keduanya diperoleh dari persamaan 2.1 dan 2.2. Nilai $\Delta\delta_{(ns-s)}$ dan $\Delta\delta_{(p-ns)}$ berperan penting dalam pembentukan membran asimetris. Pada penelitian ini urutan *non-solvent* dari nilai $\Delta\delta_{(ns-s)}$ dan $\Delta\delta_{(p-ns)}$ adalah sama yaitu *water*>methanol-*water*>isopropanol-*water*>methanol>isopropanol. Nilai yang paling rendah dari perbedaan *solubility parameter* menunjukkan afinitas yang tinggi dan nilai yang tinggi dari perbedaan *solubility parameter* menunjukkan afinitas yang rendah (Lua dkk, 2013). *Non-solvent* dengan afinitas terendah pada perbedaan *solubility parameter non-solvent-solvent* ($\Delta\delta_{(ns-s)}$) adalah *water*, hal ini menunjukan terjadinya interaksi yang singkat antara *water* dan DMF sehingga saat proses inversi fasa terjadi demixing instan. *Non-solvent* dengan afinitas tertinggi ditandai dengan nilai dari perbedaan *solubility parameter* polimer-*non-solvent* ($\Delta\delta_{(p-ns)}$) dan perbedaan *solubility parameter non-solvent-solvent* ($\Delta\delta_{(ns-s)}$) yang rendah yaitu pada non-solvent isopropanol, hal ini menunjukan bahwa adanya interaksi antara polimer CA-PEG dengan *non-solvent* isopropanol saat proses inversi fasa berlangsung sehingga terjadi *delay demixing*. Pada penelitian *Saeed Mazinani,2017* menyatakan bahwa kekuatan *non-solvent* berada dalam urutan *water*>gliserol>methanol. Non-pelarut *water* memiliki nilai δh yang paling tinggi maka kemampuan ikatan hidrogen yang lebih

tinggi dan kompatibilitas *non-solvent*/polimer yang lebih baik, sehingga menunjukkan toleransi *non-solvent* yang rendah dari sistem polimer/*solvent*. *Water* dianggap *non-solvent* yang kuat untuk pembentukan membran sedangkan methanol dapat dianggap sebagai *non-solvent* lemah (Mazinani S dkk, 2017).

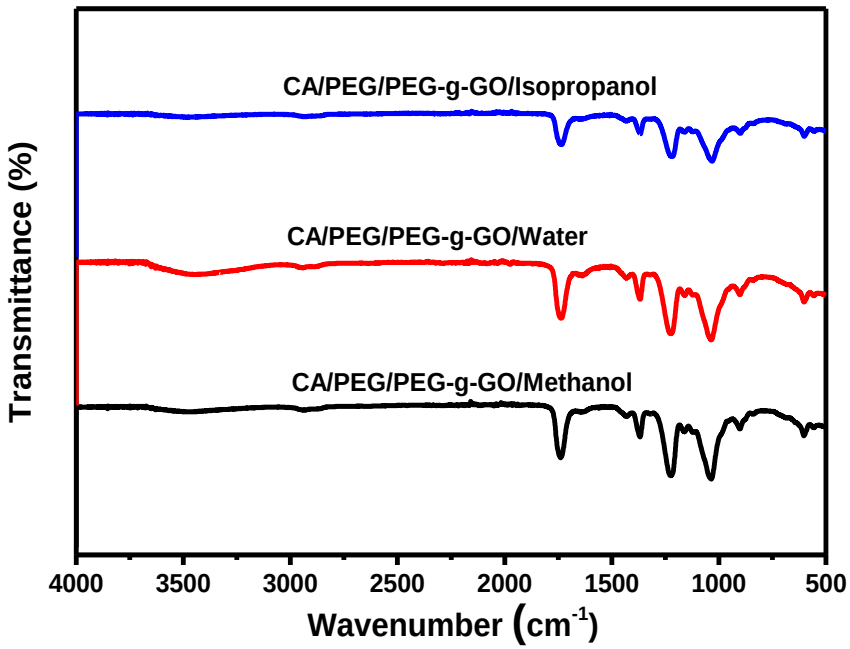
### 4.1.2 Analisa Gugus dengan Fourier Transformed Infra-Red (FTIR).




**Gambar 4.1** Hasil FTIR dari nanopartikel GO dan PEG-g-GO

Hasil FTIR dari nanopartikel GO dan PEG-g-GO ditampilkan pada **Gambar 4.1**, FTIR GO terdapat puncak pada wavenumber 3628 $cm^{-1}$ yang diduga merupakan gugus –OH namun puncak tersebut sangat lemah, juga terdapat puncak pada wavenumber 1727 $cm^{-1}$ dan 1511 $cm^{-1}$ yang merupakan gugus C=O dan aromatic C=C. Pada GO Sigma Aldrich ini berbeda dengan GO sintesis dari metode Hummers, dimana GO sintesis kaya dengan gugus oksigennya sedangkan GO Sigma Aldrich hanya memiliki sedikit gugus oksigen (< 11), dan terbukti dari hasil FTIR ini. GO Sigma Aldrich lebih mendekati dengan rGO (reduced Graphene Oxide) yaitu penghilangan gugus oksigen pada GO yang sifat nya mendekati graphene, saat PEG di cangkok ke GO terlihat garis FTIR wavenumber 2000-500 $cm^{-1}$ menurun, hal ini disebabkan karena PEG yang bersifat amorf

dan juga terdapat puncak baru. FTIR PEG-g-GO terdapat puncak baru yang lemah pada wavenumber 2899 $cm^{-1}$ ini merupakan gugus C-H berasal dari PEG, terdapat puncak pada wavenumber 1041 $cm^{-1}$ yang merupakan getaran peregangna asimetris C-O-C, juga terdapat puncak pada 1387 $cm^{-1}$ merupakan karakteristik penyerapan kelompok metenil dari PEG yang dicangkok yang menunjukkan penahan rantai PEG pada permukaan GO.

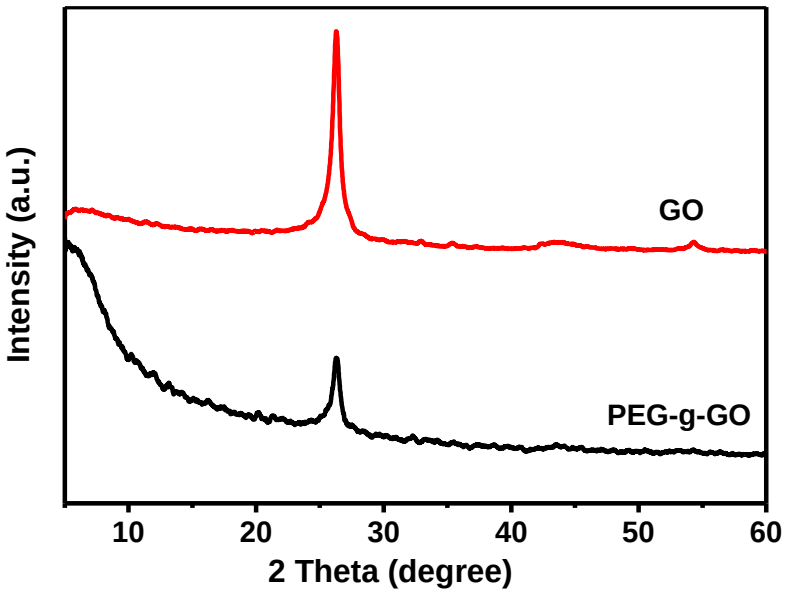



**Gambar 4.2** Hasil FTIR dari membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan non-solvent isopropanol, water dan methanol

Hasil FTIR membran CA/PEG/PEG-g-GO variasi non-solvent yaitu isopropanol, water dan methanol ditampilkan pada **Gambar 4.2**. Gugus-gugus yang muncul pada ketiga sampel membran tersebut adalah sama, dimana terdapat puncak pada wavenumber 3400 $cm^{-1}$, 2899 $cm^{-1}$, dan 1045 $cm^{-1}$ yang merupakan gugus fungsi –OH, -C-H, dan getaran peregangan asimetris C-O-C, namun yang membedakan yaitu sifat hidrofilik antar ketiga sampel dimana membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent water memiliki area gugus –OH yang luas dibandingkan dengan CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent isopropanol dan methanol. Gugus –OH merupakan suatu gugus yang menunjukan kehidrofilikan suatu sampel, sehingga membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent water memiliki sifiat yang sangat

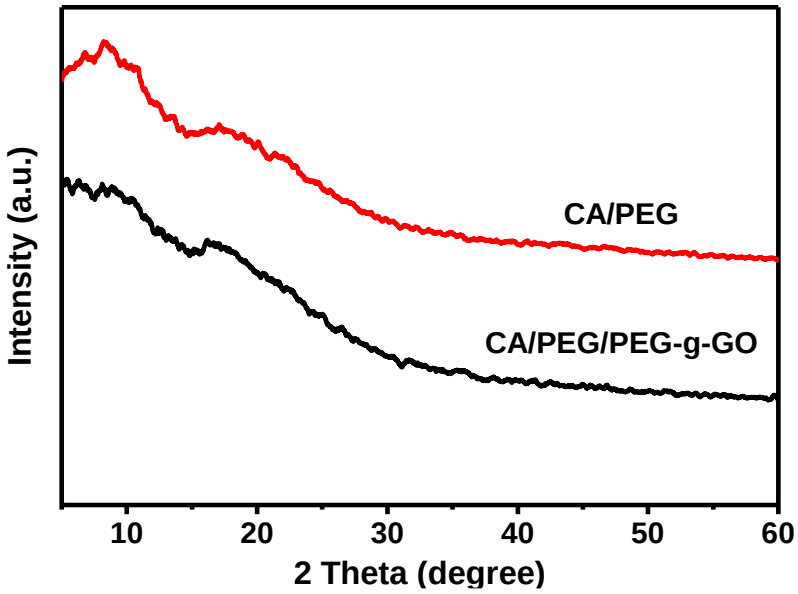
hidrofilik dibandingkan membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent isopropanol dan methanol.

### 4.1.3 Analisa Senyawa dengan X-Ray Diffraction (XRD)




**Gambar 4.3** Hasil XRD dari nanopartikel GO dan PEG-g-GO

Hasil analisis XRD nanopartikel GO murni bulk density 1,8 g/cm$^3$ dari Sigma Aldrich dan nanopartikel PEG-g-GO ditampilkan pada **Gambar 4.3**. Pada GO murni terdapat tiga puncak 2θ pada 26$^0$ (d = 0,33 nm), 43$^0$, dan 54$^0$. Pada XRD pencangkokan PEG ke GO (PEG-g-GO), intensitas karakteristik puncak difraksi GO menurun dan puncak 2θ pada 43$^0$ dan 54$^0$ sudah tidak muncul lagi, hal ini disebabkan karena adanya fase amorf atau fase mesomorfik dari PEG yang dicangkok, disebabkan oleh pengurungan yang kuat efek GO pada mobilitas rantai PEG (wenqi wu, 2020). Hasil XRD ini merupakan salah satu pembuktian bahwa PEG berhasil tercangkok ke permukaan GO.



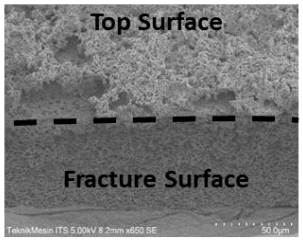
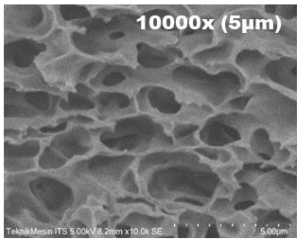
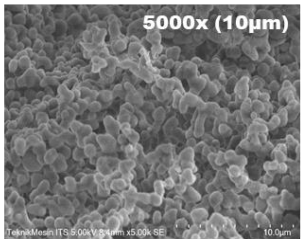
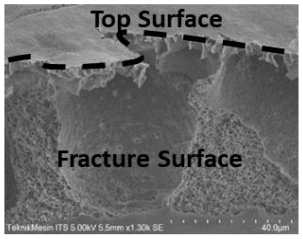
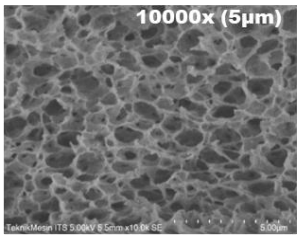
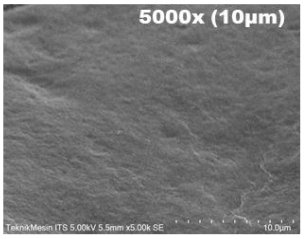
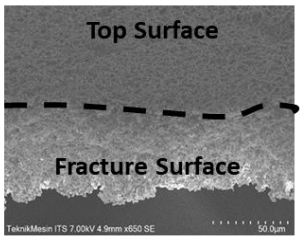
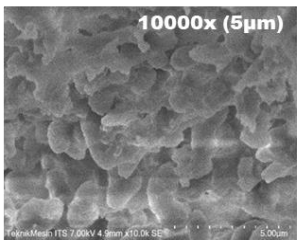
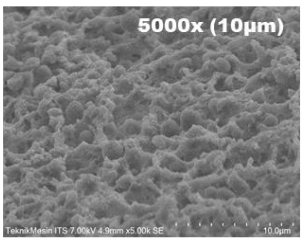

**Gambar 4.4** Hasil XRD dari membran CA/PEG dan CA/PEG/PEG-g-GO

Pada Gambar 4.4 menampilkan hasil XRD membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO (CA/PEG/PEG-g-GO). Pada pola XRD dari membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO memiliki 2 puncak 2θ yaitu pada $8,7^0$ dan $18^0$. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO terjadi penurunan puncak 2θ pada $8,7^0$ dan $18^0$, hal ini di sebabkan karena adanya fase amorf dari nanopartikel PEG-g-GO, dan juga tidak terlihat puncak difraksi PEG-g-GO pada hasil XRD membran CA/PEG/PEG-g-GO, hal ini menunjukkan dispersi yang seragam dan peningkatan mobilitas nanopartikel PEG-g-GO terhadap CA/PEG (wenqi wu, 2020).

### 4.1.4 Analisa Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah suatu analisa yang dilakukan untuk mengetahui morfologi membran. Pada Analisa SEM, pengamatan difokuskan pada crosssection atau sisi patahan dari membran. Pada patahan membran dapat diamati morfologi pori yang menjadi salah satu faktor pada performa membran.

**Tabel 4.4** Hasil Analisa *Scanning Electroscopy Microscope* membran CA/PEG/PEG-g-GO perbesaran 650 kali dan 10000 kali.

| Non-Solvent | Zoom 650x | Zoom in of fracture surface 10.000x | Zoom in of top surface 5000x |
|---|---|---|---|
| IPA |   |   |   |
| Water |   |   |   |
| Methanol |   |   |   |

Mekanisme pembentukan struktur membran asimetris ditentukan oleh termodinamika dan kinetic dari *non-solvent, solvent* dan polimer. Hasil analisa SEM membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent isopropanol, *water*, dan methanol dapat dilihat pada **Table 4.4.** Perbedaan non solvent berpengaruh pada morfologi membran, Nilai $\Delta\delta_{(ns\text{-}s)}$ antara nonsolvent *water* dan solvent DMF adalah tinggi, hal ini menunjukkan bahwa nonsolvent *water* memiliki afinitas terendah dengan pelarut DMF, maka saat proses inversi fasa terjadi demixing instan pada sistem *water*/DMF, sehingga ditunjukkan dengan keberadaan struktur morfologi seperti jari (*finger-like*), sedangkan nilai $\Delta\delta_{(ns\text{-}s)}$ antara nonsolvent isopropanol dan solvent DMF adalah rendah, hal ini menunjukkan bahwa nonsolvent isopropanol memiliki afinitas yang tinggi terhadap pelarut DMF, sehingga terjadi penundaan demixing saat proses inversi fasa berlangsung, hal ini yang

menyebabkan struktur morfologi membran *non-solvent* isopropanol seperti spons. Dilihat pada **Tabel 4.4** membran asimetris yang dibuat menggunakan *non-solvent water* memiliki lapisan atas yang paling padat dan memiliki karakteristik sub-lapisan *finger-like* dan *sponge-like*, sedangkan membran non-solvent isopropanol dan methanol menunjukan bagian atas yang tipis dan sub-lapisan sponge-like (Behrouz dkk, 2019).

**Tabel 4.5.** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG/PEG-g-GO *non-solvent* IPA, water, dan methanol

| Non-Solvent | rm (µm) |
|---|---|
| IPA | 0.0137 |
| Water | 0.0176 |
| Methanol | 0.0422 |

Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG/PEG-g-GO *non-solvent* IPA, water, dan methanol ditampilkan pada **Tabel 4.5**, nilai tersebut didapat dari persamaan 3.3. Radius pori rata-rata merupakan ukuran radius pori rata-rata keseluruhan dari pori membran termasuk ukuran finger-like dan sponge-like nya, urutan radius pori terkecil dimulai dari membran isopropanol (IPA) diikuti membran water dan methanol. Radius pori rata-ratanya dipengaruhi dari hasil kinerja dan hidrofilisitasnya. Nilai fluks, water content, dan porositas yang semakin tinggi menunjukkan bahwa nilai radius pori rata-rata membran tersebut juga akan semakin tinggi.

**Tabel 4.6.** *Surface tension*, viskositas dan koefisien difusi dari *solvent* dan *non-solvent* (Lua A C dkk, 2013).

| | *Surface Tension* σ (mN/m) | Viskositas η (mPa/s) | $D_{DMF-NS}$ ($10^{-6}$ $cm^2/s$) | $D_{NS-DMF}$ ($10^{-6}$ $cm^2/s$) |
|---|---|---|---|---|
| *Water* | 72,8 | 1 | 9,6462 | 27,0225 |
| IPA | 23 | 2,4 | 4,9810 | 17,1379 |
| Methanol | 22 | 0,59 | 16,9884 | 22,7123 |
| IPA- *water* | 24,26 | 1,7 | 6,2315 | 20,9523 |
| Methanol- *water* | 32,86 | 0,795 | 20,0190 | 24,6379 |
| DMF | 36,4 | 0,802 | *N.A* | *N.A* |

$D_{DMF_NS}$ adalah koefisien difusi *solvent* DMF dalam *non-solvent,* sedangkan $D_{NS\text{-}DMF}$ adalah koefisien difusi *non-solvent* dalam *solvent* DMF. Pada **Tabel 4.6** menunjukan nilai $D_{DMF\text{-}NS}$ dan $D_{NS\text{-}DMF}$ yang dihitung dari Persamaan 2.3. Nilai $D_{NS\text{-}DMF}$ berkisar antara 17,13-27,02 ($10^{-6}$ $cm^2/s$) dan variasinya relatif kecil, hal ini diyakini bahwa efek $D_{NS\text{-}DMF}$ pada fase demixing tidak signifikan karena viskositas larutan DMF/Polimer yang tinggi, sehingga nilai $D_{DMF\text{-}NS}$ dianggap berperan penting dalam pertukaran *solvent* dan *non-solvent* (Lua AC dkk, 2013). Nilai $D_{DMF\text{-}NS}$ yang tertinggi adalah methanol-*water* dan methanol, hal ini menunjukkan bahwa adanya nilai tukar yang lebih cepat (*demixing* instan) antara *solvent* dan *non-solvent,* dengan kata lain hanya membutuhkan waktu yang sangat singkat bagi *solvent* DMF berdifusi dalam bak koagulasi non-solvent methanol. Terlihat pada **Tabel 4.6.** urutan nilai $D_{DMF\text{-}NS}$ adalah methanol-*water* > methanol > *water* > isopropanol-*water* > isopropanol, urutan ini menunjukan nilai $D_{DMF\text{-}NS}$ yang paling kecil yaitu isopropanol, sehingga terjadi *delay demixing* antara DMF dan isopropanol. Pada penelitian ini, *non-solvent* yang memiliki viskositas rendah dan koefisien difusi yang tinggi yaitu *non solvent* methanol, sehingga hal tersebut yang menyebabkan membran *non-solvent* methanol menjadi tipis, rapuh dan hasil SEMnya tidak menunjukkan adanya pori.

### 4.1.5 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan Variasi Non-Solvent

Pada penelitian ini dilakukan pengujian *water content* dan porositas untuk mengetahui seberapa hidrofilisitas suatu membran. Berikut hasil analisa analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variable *non-solvent.*

**Tabel 4.7** Hasil analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent*

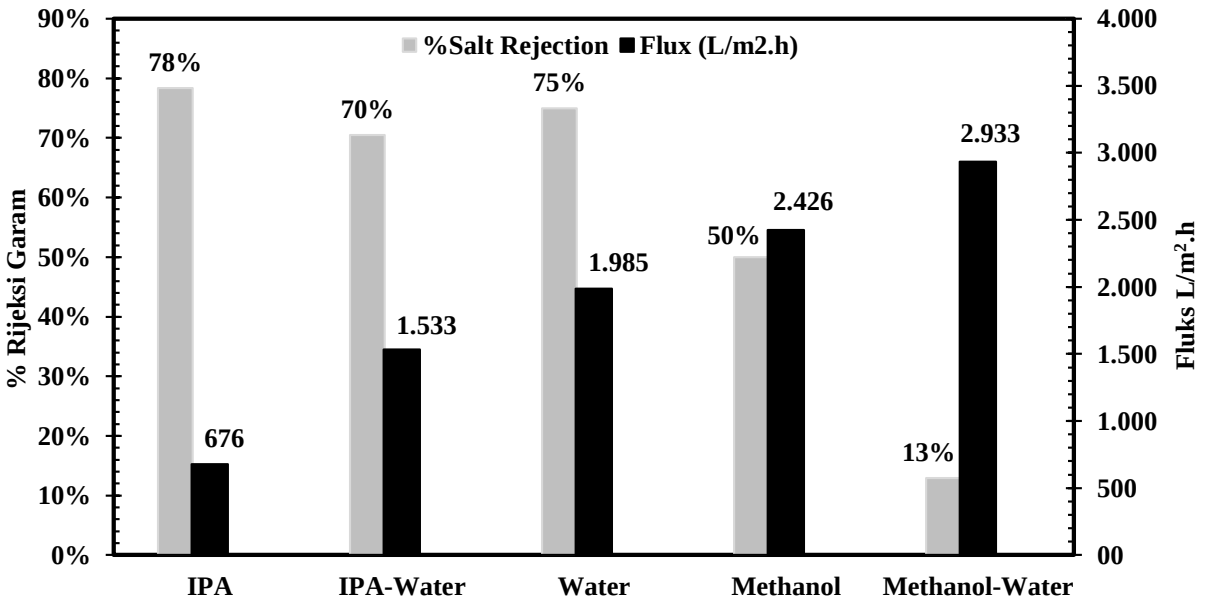
| | **Water Content** | | | **Porositas** |
|---|---|---|---|---|
| Sampel | Berat Basah | Berat Kering | X (%) | **(ε) (%)** |
| Water | 0.0482 | 0.0096 | 80 | 83.6 |
| Metanol-water | 0.0212 | 0.0057 | 73 | 77.5 |
| IPA-water | 0.0371 | 0.0106 | 71 | 76.0 |
| Metanol | 0.0176 | 0.0054 | 69 | 74.1 |
| IPA | 0.0101 | 0.0052 | 49 | 54.4 |

Pada **Tabel 4.7** menampilkan hasil *water content* dan porositas dari membran membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan *non-solvent* yang berbeda-beda. Membran *non-solvent water* memiliki nilai tertinggi pada analisa *water content* di ikuti oleh methanol- *water*, isopropanol- *water*, methanol dan isopropanol. Pada penelitian ini hasil analisa *water content* sebanding dengan hasil porositas membran. Membran *non-solvent water* memiliki nilai porositas tertinggi di ikuti oleh methanol- *water*, isopropanol- *water*, methanol dan isopropanol. Membran *non-solvent* isopropanol memiliki *water content* dan porositas yang kecil, hal ini disebabkan oleh bebrapa faktor yaitu dari tekstur membran isopropanol yang menyerupai plasik sehingga kurang hidrofilik, dan struktur membran yang dense dimana hanya terdapat *sponge-like* dan tidak ada finger-likenya seperti yang ditampilkan pada **Tabel 4.4**, sehingga luas permukaan untuk tempat penyerapan air dalam struktur membran *non solvent* isopropanol adalah kecil.

### 4.1.6 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan Variasi Non-Solvent

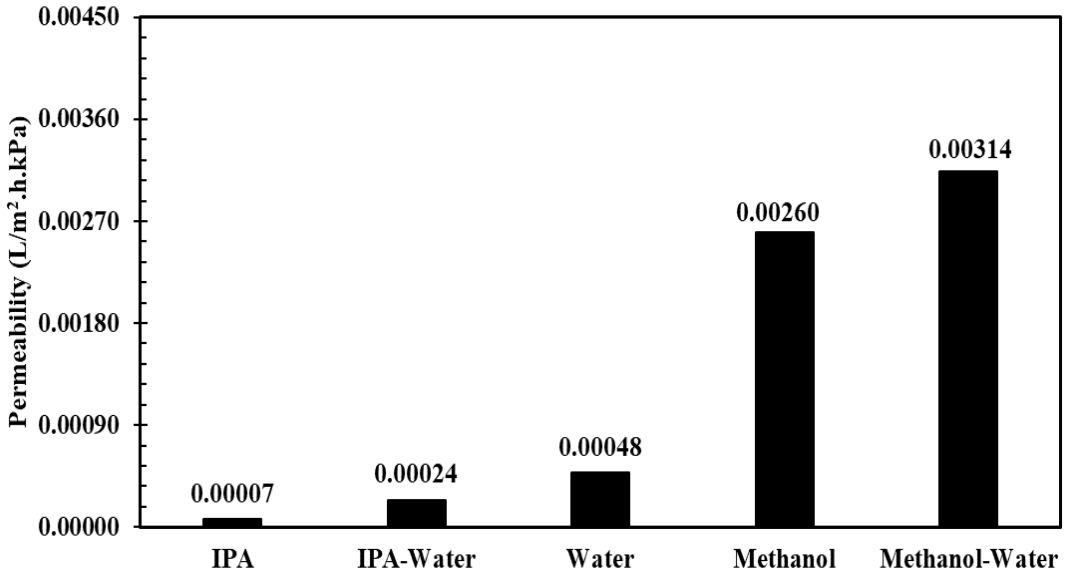
Analisa rijeksi garam, fluks permeate, dan permeabilitas membran dilakukan untuk mengetahui kinerja dari membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent.* **Gambar 4.5** menampilkan hasil analisa rijeksi garam dan fluks permeat dari membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan non-solvent isopropanol, *water*, dan methanol sedangkan pada **Gambar 4.6**

menampilkan hasil analisa permeabilitas dari membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan non-solvent isopropanol, *water*, dan methanol.




**Gambar 4.5** Rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent*

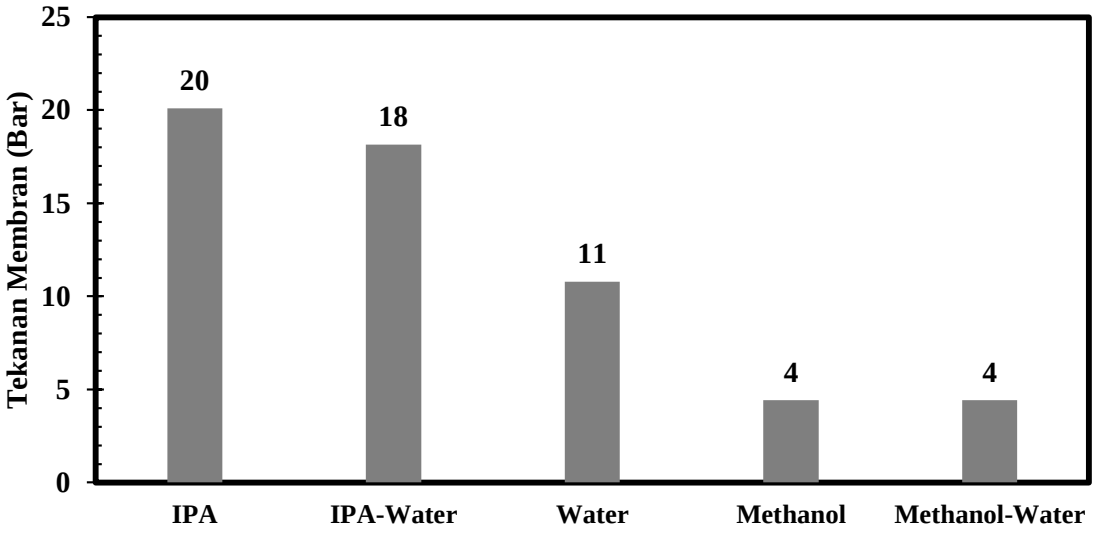
Dilihat pada **Gambar 4.5** hasil analisa rijeksi garam tertinggi yaitu isopropanol di ikuti oleh *water*, isopropanol-*water*, methanol, dan methanol-*water*. Namun, membran *non-solvent* isopropanol mengahasilkan fluks yang paling kecil di ikuti oleh isopropanol-*water*, *water*, methanol, dan methanol-*water*. Hal ini di karenakan tekstur membran *non-solvent* isopropanol yang menyerupai plastik, memiliki hidrofilisitas rendah, sub-lapisan sponge-like serta di dukung dengan porositas yang rendah, sehingga menyebabkan fluks pada membran *non-solvent* isopropanol rendah. Membran yang paling optimum pada analisa kinerja rijeksi garam dan fluks adalah membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan *non-solvent water*.




**Gambar 4.6** Permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variasi *non-solvent*

Pada **Gambar 4.6** merupakan hasil permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variable *non-solvent* yang berbeda-beda. Hasil permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan variable *non-solvent* sebanding dengan hasil fluks nya. Membran *non-solvent* isopropanol mengahasilkan permeabilitas yang paling kecil di ikuti oleh isopropanol-*water*, *water*, methanol, dan methanol- *water*. Pada membran methanol dan methanol-*water* nilai permeabilitasnya terpaut sangan jauh dari nilai membran isopropanol, isopropanol-*water* dan *water*, hal ini dikarenakan tekstur membran yang sangat rapuh sehingga diyakini adanya kebocoran saat pengujian pada membran methanol dan methanol-*water*.

### 4.1.7 Pengaruh Non-Solvent Terhadap Tekanan Membran CA/PEG/PEG-g-GO dengan Variasi Non-Solvent



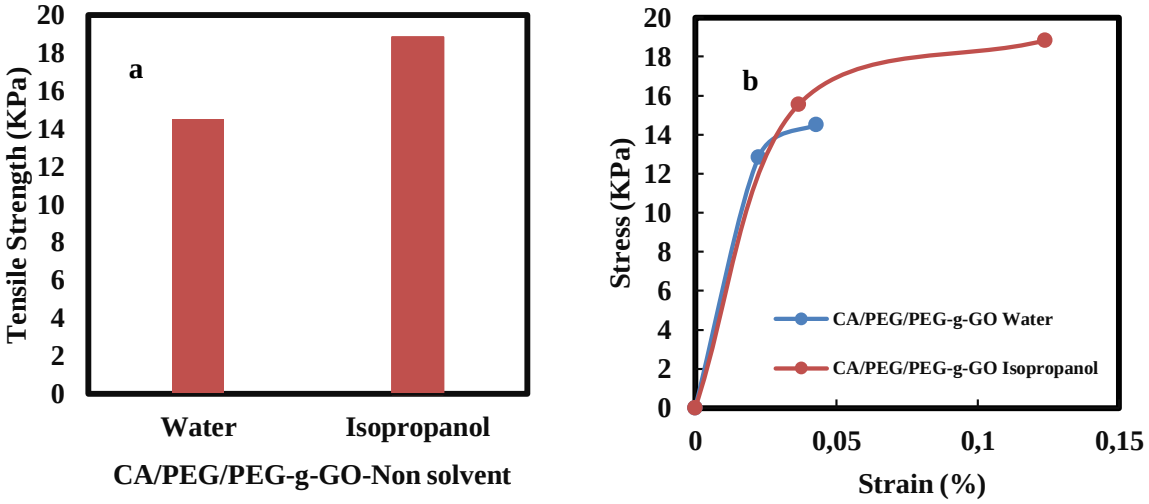

**Gambar 4.7** Tekanan membran CA/PEG/PEG-g-GO terhadap variable *non-solvent*

Jenis non solvent mempengaruhi tingkat kekuatan membran, kekuatan membran akan mempengaruhi tekanan membran. Pada penelitian ini membran CA/PEG/PEG-g-GO yang menggunakan *non-solvent* isopropanol memiliki tekstur yang kuat seperti plastik sehingga memiliki tekanan membran yang besar, sedangkan membran yang menggunakan *non-solvent* methanol memiliki tekstur yang rapuh sehingga memiliki tekanan membran yang kecil. Urutan tekanan membran berdasarkan tipe *non-solvent* adalah isopropanol>isopropanol-*water*>*water*>methanol>methanol-*water*. Dilihat pada **Gambar 4.7.** Tekanan membran yang optimum adalah membran yang menggunkan *non-solvent water* karena teksturnya tidak mudah rapuh dan tekanan membran pada membran *water* tebilang cukup kecil dibandingkan membran isopropanol dan isopropanol-*water* sehingga lebih ekonomis.

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa *non-solvent* yang paling terbaik bila digunakan pada membran CA/PEG/PEG-g-GO adalah non-solvent *water*, karena menghasilkan rijeksi dan fluks yang

cukup tinggi, water content dan porositas tertinggi, dilihat dari hasil SEM memiliki pori yang cukup kecil dibandingkan membran isopropanol, serta lebih ekonomis.

### 4.1.8 Analisa Dynamic Mechanical Analysis (DMA)




**Gambar 4.8** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent *water* dan isopropanol

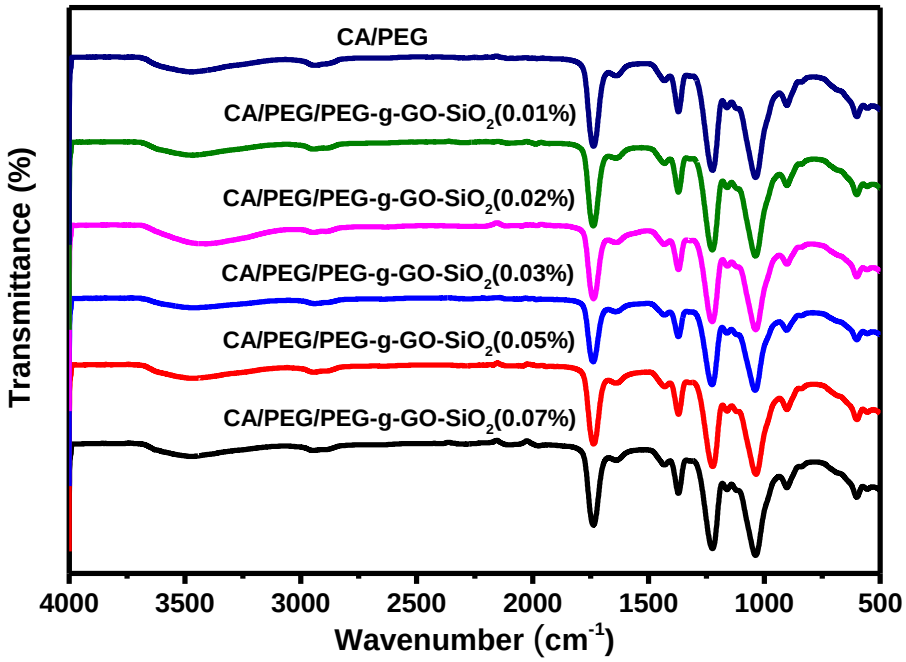
Hasil tensile strength dan stress-strain dari membran CA/PEG/PEG-g-GO non-solvent *water* dan isopropanol ditampilkan pada **Gambar 4.8 (a) dan (b).** Tensile strength tertinggi dimilliki oleh membran CA/PEG/PEG-g-GO isopropanol sebesar 18.8 kPa, hal ini disebabkan tekstur membran yang seperti plastik sehingga membuat tekanan tarik yang dihasilkan tinggi dibandingkan dengan membran CA/PEG/PEG-g-GO water, untuk membran CA/PEG/PEG-g-GO methanol tidak dilakukan uji DMA karena memiliki tekstur membran yang sangat mudah rapuh, sehingga dapat diprediksi tekanan tarik yang dihasilkan akan sangat kecil.

## 4.2 Pengaruh Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ pada Membran CA/PEG

Pada penelitian ini, nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ disintesis dengan mencangkok $SiO_2$ ke permukaan PEG-g-GO melalui *Hydrotermal treatment*.

Penambahan silika bukan dalam bentuk $SiO_2$ secara langsung melainkan dari perkusor *Tetraethyl orthosilicate* (TEOS). Sebelum penambahan TEOS, PEG-g-GO terlebih dahulu di ultrasonikasi, fungsi ultrasonikasi ini agar lapisan GO ter-eksfoliasi sehingga dihasilkan PEG-g-GO single layer. Setelah terbentuk PEG-g-GO single layer selanjutnya di tambahkan TEOS dan ammonia solution hingga pH 9, lalu dilakukan ultarasonikasi kembali dimana $SiO_2$ akan tecangkok kepermukaan PEG-g-GO sehingga dihasilkan PEG-g-GO-$SiO_2$. (Libin yang dkk, 2017).

### 4.2.1 Analisa Fourier Transformed Infra-Red (FTIR)

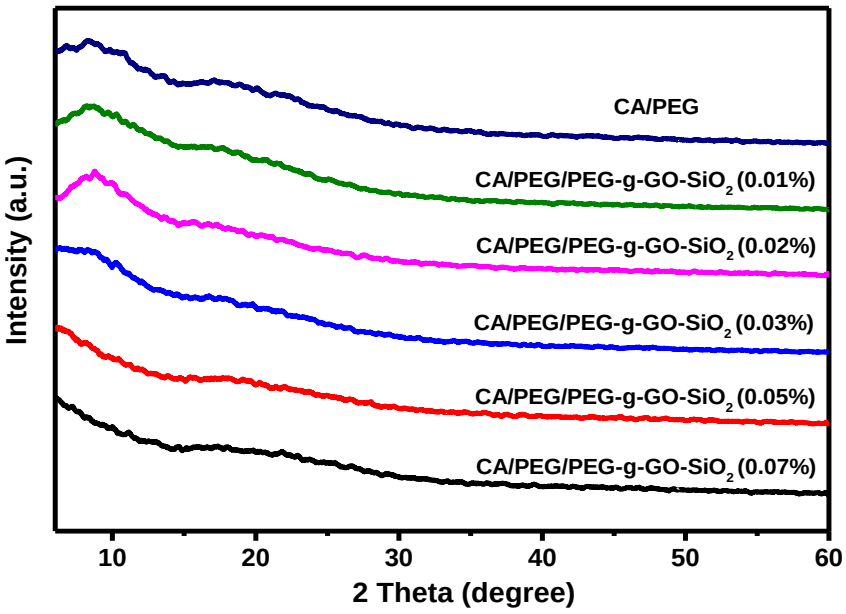



**Gambar 4.9** Hasil FTIR dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$

Hasil analisis FTIR membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ 0,01, 0,02, 0,03, 0,05 dan 0,07 (%berat) dapat dilihat pada **Gambar 4.9.** Gugus yang muncul pada wavenumber 1730 $cm^{-1}$, 1633 $cm^{-1}$ dan 1371 $cm^{-1}$ adalah C=O, C=C dan getaran deformasi –OH. Gugus –OH dan –C-H muncul pada wavenumber 3466 $cm^{-1}$ dan 2899 $cm^{-1}$. Gugus –OH menujukkan sifat hidrofilisitas suatu membran, hal ini menandakan bahwa penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ memiliki sifat hidrofilisitas yang bagus pada membran CA/PEG.

Intensitas puncak pada 1730 $cm^{-1}$ ini merupakan getaran C=O dari kelompok karboksilat dan sedikit menurun dalam spectrum membran CA/PEG/PEG-GO-$SiO_2$ bila dibandingkan dengan CA/PEG murni, hal ini diduga berasal dari konversi C=O pada PEG-g-GO yang menjadi C-O-Si setelah reaksi dengan TEOS, yang menunjukkan interkoneksi antara PEG-g-GO dan nanopartikel silika. Selanjutnya intensitas puncak pada 1041 $cm^{-1}$ merupakan gugus C-O-C (Zhenta Zhu, 2017).

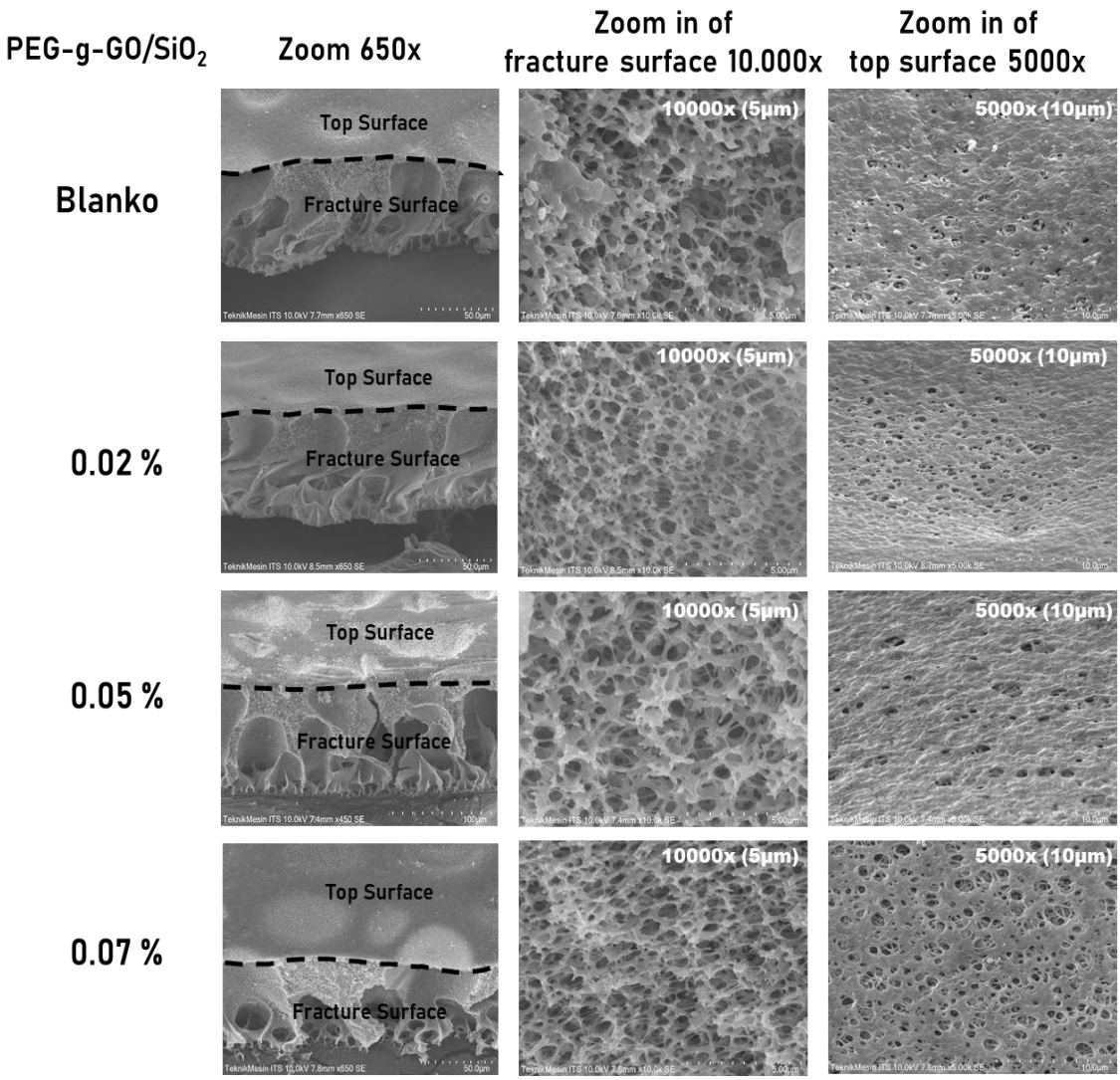
### 4.2.2 Analisa X-Ray Diffraction (XRD)




**Gambar 4.10** Hasil XRD dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$

Hasil XRD dari membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ dengan variasi penambahan (0,01; 0,02; 0,03; 0,05 dan 0,07) % berat ditampilkan pada **Gambar 4.10**. Pada pola XRD dari membran CA/PEG murni memiliki puncak 2θ yang lemah yaitu pada $8,7^0$ dan $18^0$ hal ini dikarenakan CA/PEG bersifat amorf. Semakin banyak penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ membran yang dihasilkan akan semakin amorf ditandai dengan puncak 2θ pada $8,7^0$ dan $18^0$ yang semakin lemah hingga tidak terlihat lagi, hal ini menunjukkan dispersi yang seragam pada nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ didalam membran CA/PEG.

### 4.2.3 Analisa Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)



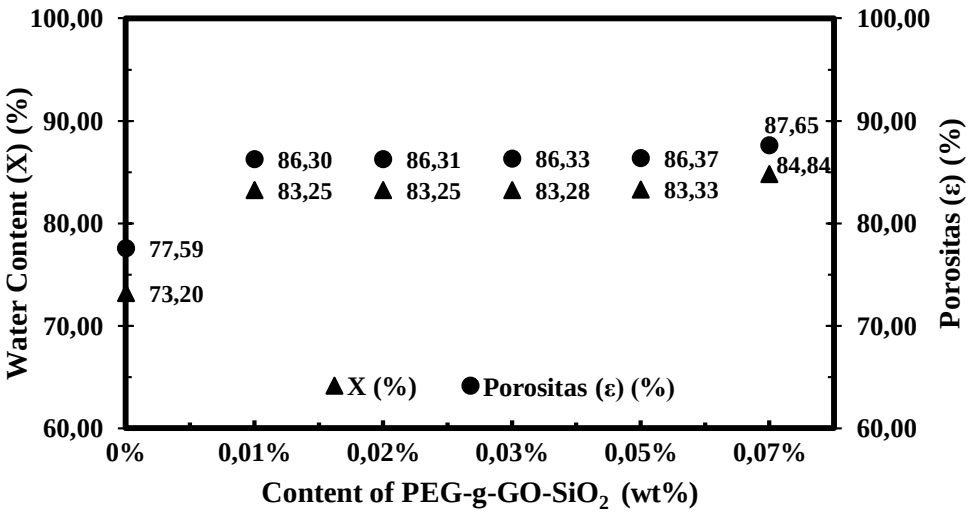

**Gambar 4.11** Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$

Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ ditampilkan pada **Gambar 4.11.** Pada hasil SEM ini menampilkan fracture surface, perbesaran dari fracture surface dan perbesaran dari top surface, terlihat bahwa nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ terdispersi dengan baik didalam membrane CA/PEG, karena tidak terlihat adanya tanda-tanda aglomerasi pada top surface maupun fracture surface membran. Semua membran ini menunjukkan tipikal struktur asimetris terdiri dari lapisan atas yang tipis padat dan berpori seperti jari dan spons.

Pada fracture surface mengunakan perbesaran 550x, perbesaran dari fracture surface menggunakan perbesaran 10.000x dan perbesaran dari top surface menggunakan perbesaran 5000x. Dari hasil SEM membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ 0,02, 0,05 dan 0,07 (%berat) memiliki ketebalan berkisar antara 80±20 µm.

### 4.2.4 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$

Pengujian *water content* dan porositas pada penalitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa hidrofilisitas suatu membran. Berikut hasil analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ dengan variable penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ sebesar 0%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.05%, dan 0.07% berat polimer.




**Gambar 4.12** Grafik analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

Dapat dilihat pada **Gambar 4.12** bahwa hasil *water content* dan porositas membran PEG-g-GO-$SiO_2$ berbanding lurus. Semakin banyak penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ maka persentase *water content* dan porositasnya akan semakin meningkat. Pada penelitian ini membran CA/PEG murni memiliki *water content* dan porositas terkecil yaitu sebesar 73.20% dan 77,59%. Nilai *water content* dan porositas terkecil pada

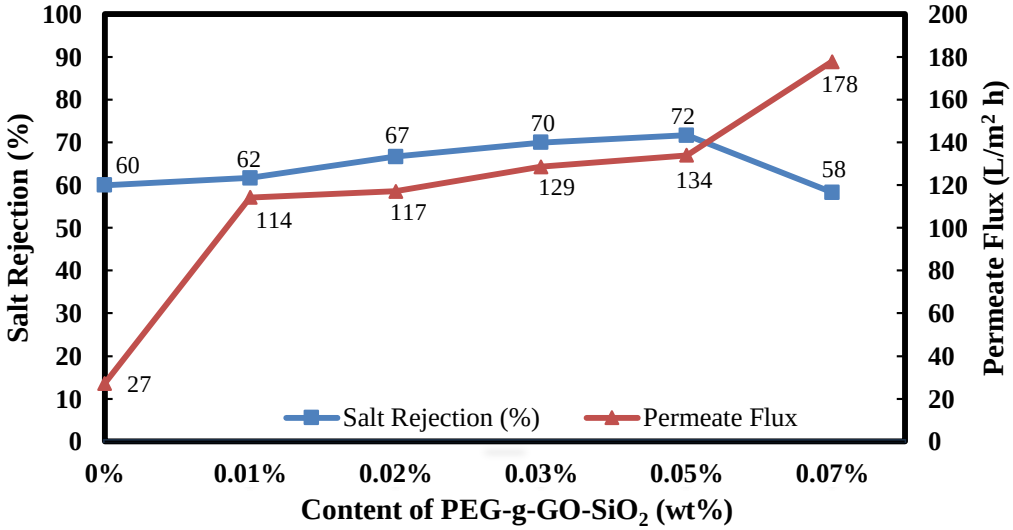
penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ yaitu pada PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.01% sebesar 83.25% dan 86.30%. Nilai tertinggi *%water content* dan porositas yaitu pada PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.07% sebesar 84.84% dan 87,65%. Bila dibandingkan antara membran CA/PEG murni (0%) dengan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ ini jelas jauh berbeda dimana membran CA/PEG murni memiliki nilai *%water content* dan porositas yang kecil dari pada membran dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$. Sehingga dapat di simpulkan bahwa penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ pada membran CA/PEG dapat meningkatkan *%water content* dan porositas, atau bisa diartikan membran penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ meningkatkan hidrofilisitas.

**Tabel 4.8** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$

| **PEG-g-GO-$SiO_2$** | **rm (µm)** |
|---|---|
| 0% | 0.0036 |
| 0.02% | 0.0070 |
| 0.05% | 0.0078 |
| 0.07% | 0.0081 |

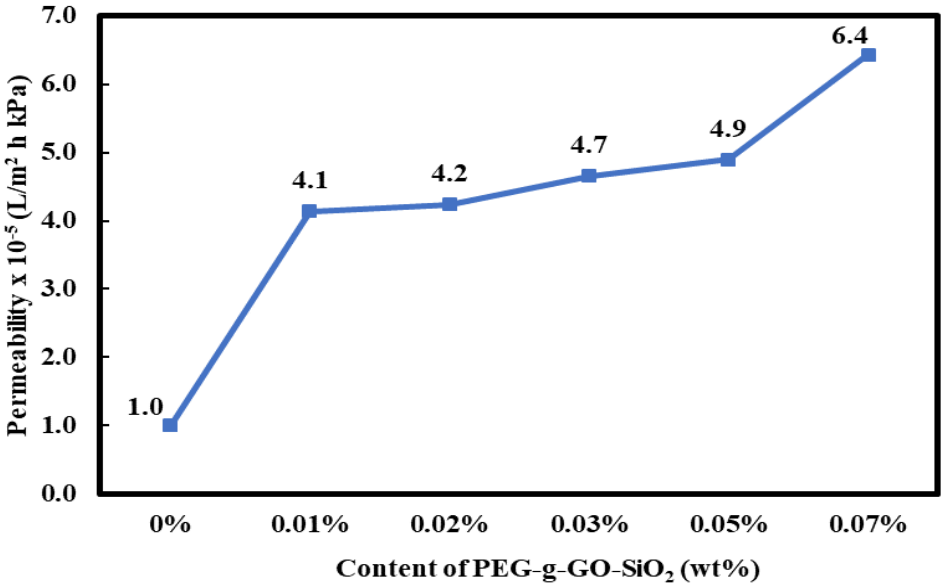
Pada **Tabel 4.8** menampilkan radius pori rata-rata membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ 0,02, 0,05 dan 0,07 (%berat). Radius pori rata-rata dihasil dari persamaan 3.3. Radius terkecil yaitu pada membrane CA/PEG murni dan radius terbesar yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ 0,07% berat. Pada penelitian ini semakin banyak penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ maka radius pori rata-ratanya juga semakin meningkat. Radius pori rata-ratanya dipengaruhi dari hasil kinerja dan hidrofilisitasnya. Nilai fluks, water content, dan porositas yang semakin tinggi menunjukkan bahwa nilai radius pori rata-rata membran tersebut juga akan semakin tinggi.

### 4.2.5 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$



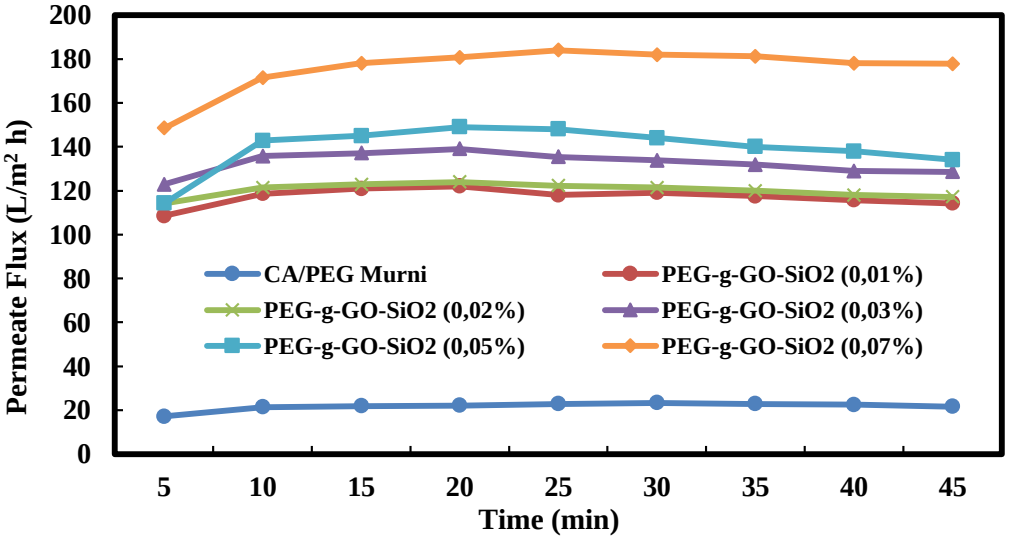

**Gambar 4.13** Grafik analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

**Gambar 4.13** menunjukkan grafik hasil analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran. Hasil Rijeksi garam yang tertinggi yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.05% sebesar 72%, diikuti membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.03%, 0.02%, 0.01%, 0% dan 0.07% sebesar 70%, 67%, 62%, 60%, dan 58%. Hasil fluks yang tertinggi yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.07% sebesar 178 L/$m^2$ h diikuti membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.05%, 0.03%, 0.02%, 0.01%, dan 0% sebesar 134, 129, 117, 114 dan 27 (L/$m^2$ h). Bila dibandingkan antara membran CA/PEG murni (0%) dengan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ hal ini terlihat sangat jauh berbeda dimana membran CA/PEG murni memiliki nilai fluks yang kecil dari pada membran dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$. Sehingga dari penelitian ini dapat diketahui bahwa penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ pada membran CA/PEG dapat meningkatkan nilai fluksnya.




**Gambar 4.14** Grafik analisa permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

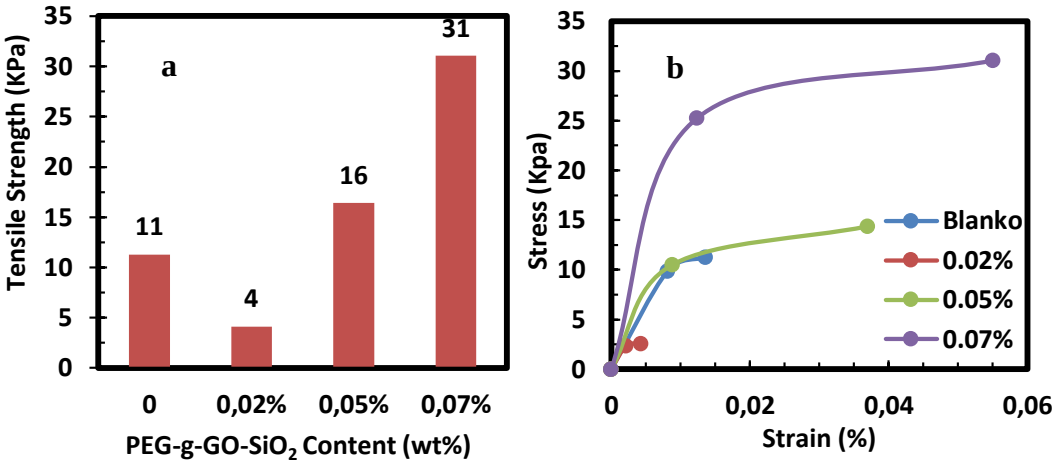
Hasil permabilitas pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ sebanding dengan nilai fluksnya. Dapat dilihat pada **Gambar 4.14**, permeabilitas yang terkecil yaitu pada membran CA/PEG murni (0%) sebesar $1x10^{-5}$ L/$m^2$ h kPa dan nilai permeabilitas tertinggi yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.07% sebesar $6.4x10^{-5}$ L/$m^2$ h kPa.




**Gambar 4.15** Grafik fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

Hasil fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ ditampilkan pada **Gambar 4.15**. Fluks permeat yang paling tinggi yaitu membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.07 % pada menit ke-5 sampai 25 fluks nya mengalami kenaikan dan mulai konstan pada memit ke 40 dan seterusnya, sedangkan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ variabel 0.01%, 0.02%, 0.03%, dan 0.05% mulai konstan pada menit ke 25 dan seterusnya. Fluks permeat yang terkecil yaitu pada membran CA/PEG murni tanpa penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ pada menit ke-5 sampai 15 fluks mengalami kenaikan dan mulai konstan pada menit ke 20 sampai 35 namun dimulai dari menit ke-40 dan seterusnya mengalami penurunan. Pengaruh penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ pada membran CA/PEG yaitu dapat meningkatkan nilai fluks nya.

### 4.2.6 Analisa Dynamic Mechanical Analysis (DMA)



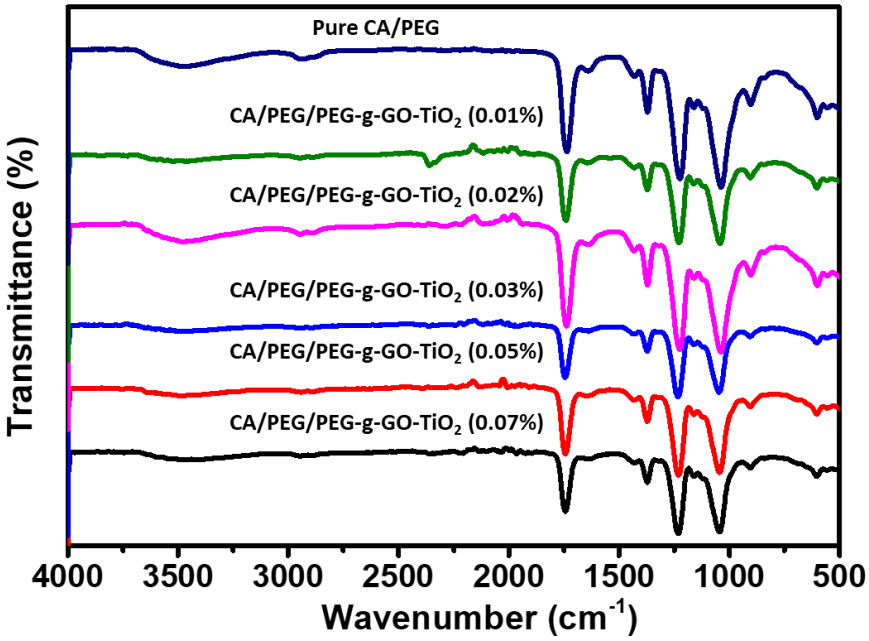

**Gambar 4.16** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

Uji tensile strength bertujuan untuk mengetahui elastisitas dari membran dan kemampuan maksimal dari membran terhadap tekanan saat melakukan reverse osmosis. Membran CA/PEG dengan penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ 0,07 %berat memiliki tensile strength paling tinggi sebesar 31 kPa dibanding membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-

GO-$SiO_2$ 0,02 dan 0,05 %berat, begitu juga dengan hasil stress-strain nya. Penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ yang semakin banyak dapat meningkatkan tensile strength atau kekuatan tarik membran CA/PEG. Pada penelitian Libin Yang, 2017 menghasilkan membran PVDF/PVP/GO-$SiO_2$ yang memiliki tensil strength paling tertinggi sebesar 0.85 MPa bila dibandingkan dengan membrane PVDF murni.

## 4.3 Pengaruh Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ pada Membran CA/PEG

### 4.3.1 Fourier Transformed Infra-Red (FTIR) Characterization

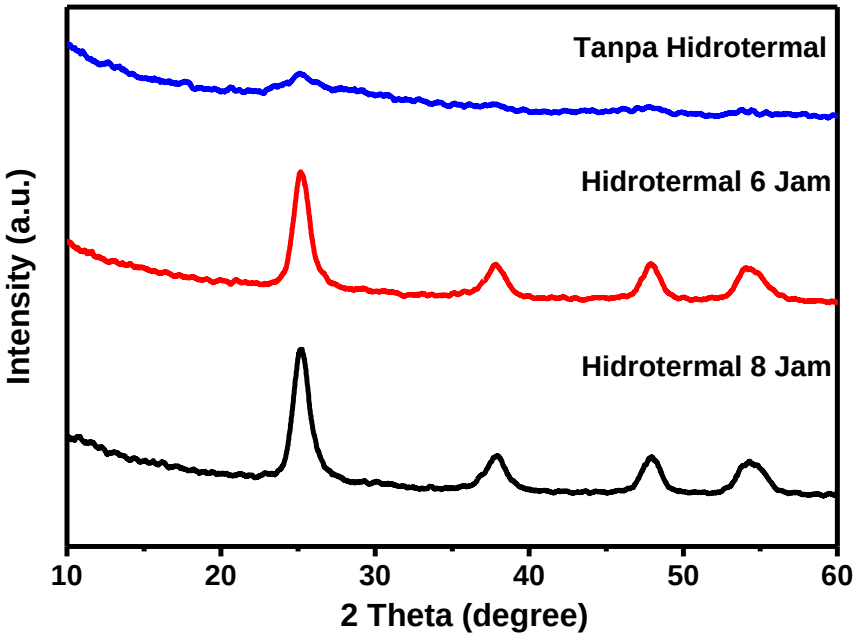



**Gambar 4.17** Hasil FTIR dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$

Fourier Transformed Infra-Red Spectroscopy (FTIR) merupakan metode analisis senyawa kimia dengan menggunakan sinar infra merah. **Gambar 4.17** menampilkan hasil FTIR membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$. Terdapat gugus karbonil (C=O) pada wavenumber 1737 $cm^{-1}$ yang berasal dari kelompok asetat CA. Terdapat gugus hidroksil (-OH) pada wavenumber 3460 $cm^{-1}$ yang berasal dari kelompok hidroksil PEG-400. Gugus C-H muncul pada wavenumber 2891 $cm^{-1}$. Dari hasi FTIR ini luasan gugus –OH semakin berkurang dengan

bertambahnya nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ dalam membran. Gugus –OH menandakan sifat hidrofiliknya suatu membran. Pita lemah yang terletak di 906 cm-1 mengkonfirmasi cincin piranosa. Pita lebar yang intens ditunjukkan oleh membran dengan penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ hal ini menandakan adanya nanopartikel $TiO_2$, dalam kisaran 600–800 $cm^{-1}$ menunjukkan getaran regangan Ti-O-Ti pada membran PEG-g-GO-$TiO_2$ (Hang Xu, 2017). Pita lebar muncul pada 688 cm-1 yang dianggap berasal getaran ikatan Ti-O-Ti.

### 4.3.2 X-Ray Diffraction (XRD) Characterization




**Gambar 4.18** Hasil XRD dari nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ dengan hidrotermal 6 jam, 8 jam dan tanpa hidrotermal

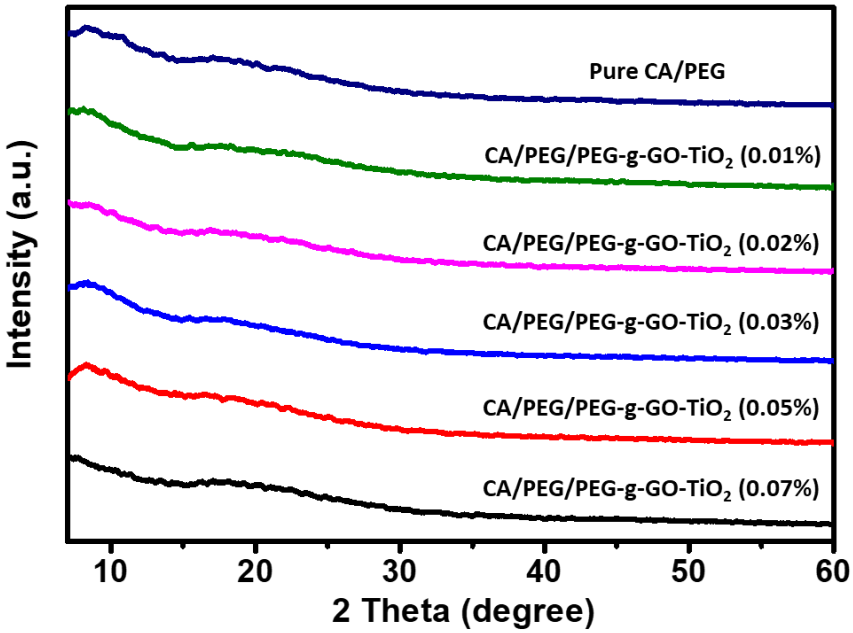
Pengujian XRD ini bertujuan untuk mengetahui fase $TiO_2$ yang terbentuk dari proses hidrotermal selama 6 jam dan 8 jam serta mengetahui ukuran partikelnya. **Gambar 4.18** merupakan hasil pengujian XRD nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ yang di peroleh dari proses hidrotermal antara PEG-g-GO dan perkusor TEOT. Pada kurva tersebut dapat dilihat bahwa pada proses tanpa hidrotermal tidak ada puncak yang muncul, hal ini menandakan $TiO_2$ bersifat amorf dan tidak dapat diidentifikasi masuk kedalam kategori $TiO_2$ anatase atau rutil. Pada proses hidrotermal 6 dan 8

jam puncak dari $TiO_2$ mulai muncul ditemukan $TiO_2$ fase anatase pada sudut 2θ dengan 25,52°, 37.6$^0$, 48,23° dan 73,11°, secara berurutan memiliki crystal plane (101), (004), (200) dan (220). Untuk menganalisa fase anatase digunakan acuan standar JCPDS 00-021-1272 dan 00-004-0551.

Pada pengujian XRD ini dapat dilakukan perhitungan ukuran Kristal menggunakan persamaan Scherrer pada persamaan 4.1 (Sardela, 2008)

$$D = \frac{k\lambda}{\cos(\theta) \times \mathrm{FWHM}} \quad (4.1)$$

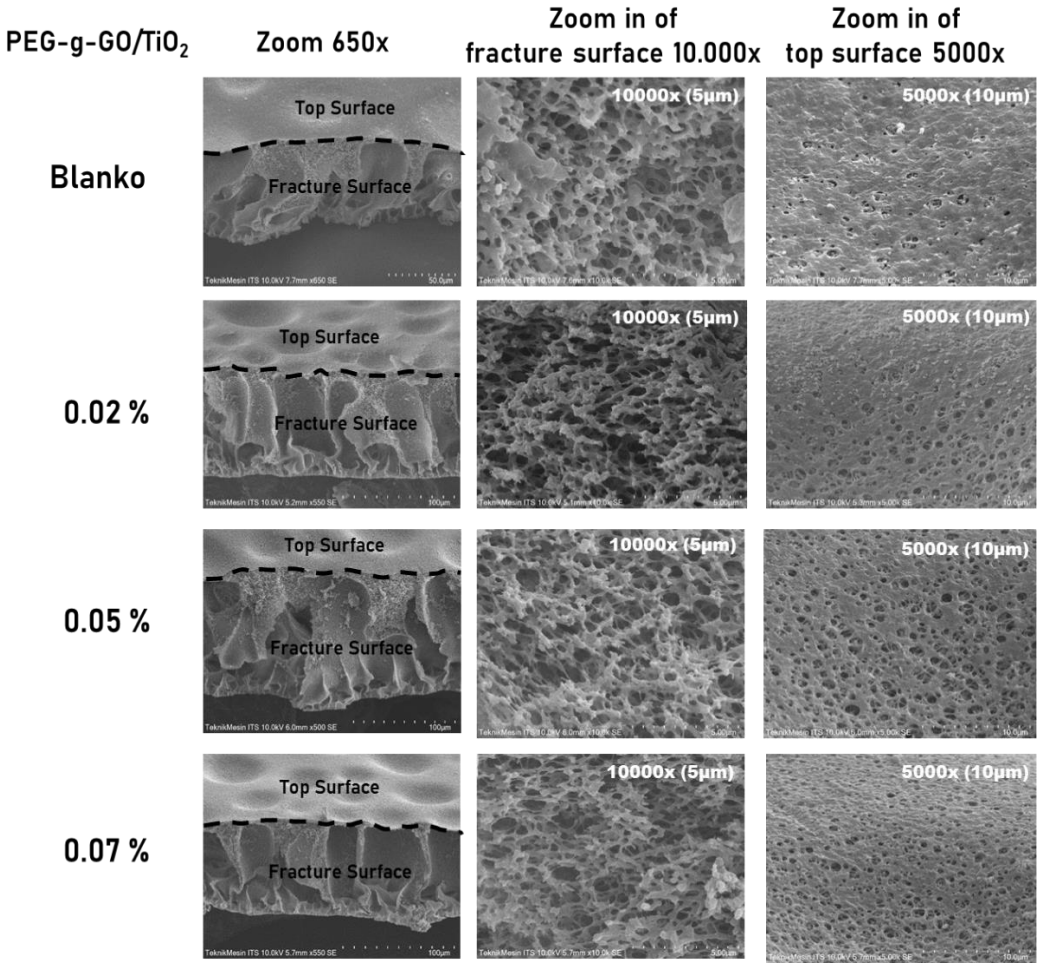
Dengan D adalah ukuran Kristal suatu bahan (nm), k adalah konstanta (k = 0,89), λ adalah panjang gelombang sinar-X (Cu Kλ) yang bernilai 0,154 nm, FWHM adalah *Full Width Half Maximum* (dalam radian) dan θ adalah sudut difraksinya. Didapat ukuran dari nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ hidrotermal 6 jam sebesar 4.8 sampai 7 nm, dan untuk ukuran dari nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ hidrotermal 8 jam sebesar 4.8 sampai 6.8 nm. Ukuran nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ hidrotermal 8 jam lebih kecil dari ukuran nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ hidrotermal 6 jam. Untuk penelitian selanjutnya kami menggunakan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ hidrotermal 8 jam.




**Gambar 4.19** Hasil XRD dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$

Hasil XRD dari membran CA/PEG dengan variasi penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ ditampilkan pada **Gambar 4.19.** Terlihat bahwa membran CA/PEG murni memiliki puncak 2θ yang lemah pada $8.7^0$ dan $18^0$ hal ini dikarenakan CA/PEG bersifat amorf, setelah penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ membran bersifat semakin amorf ditandai dengan puncak 2θ pada $8.7^0$ yang semakin mengecil. Dari hasil XRD membran ini tidak menunjukkan adanya difraksi dari PEG-g-GO-$TiO_2$, hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ dapat terdispersi dengan baik dalam membran CA/PEG.

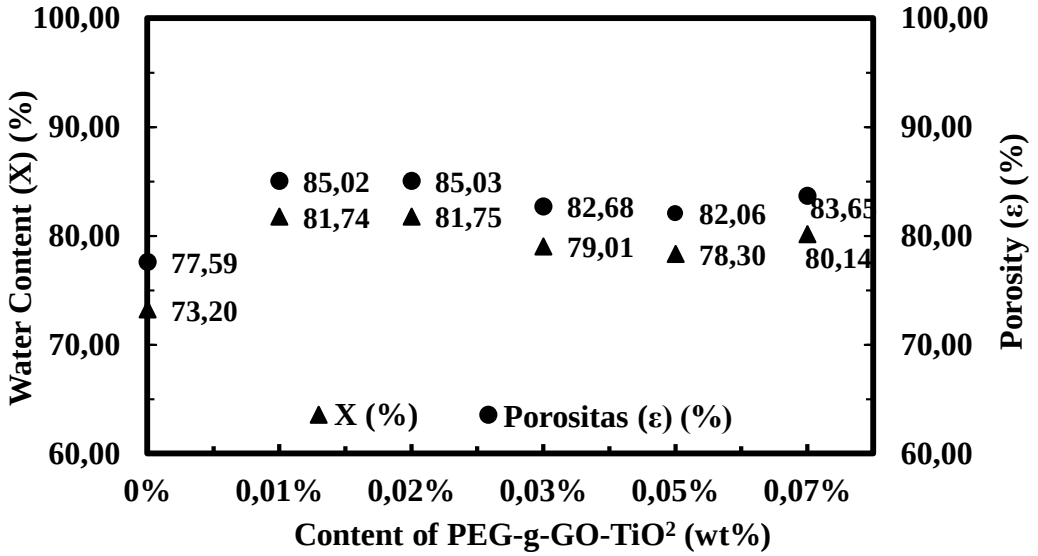
### 4.3.3 Scanning Electron Microscopy (SEM) Characterization




**Gambar 4.20** Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$

Permukaan dan cross-sectional hasil SEM pada membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ dapat dilihat pada **Gambar 4.20**. Semua membran ini menunjukkan tipikal struktur asimetris terdiri dari lapisan atas yang tipis padat dan berpori seperti jari dan spons. Pada fracture surface mengunakan perbesaran 550x, membrane spons-like menggunakan perbesaran 10.000x dan top surface menggunakan perbesaran 5000x. Pada penelitian ini ditambahkannya PEG- g-GO untuk mencegah aglomerasi nanopartikel $TiO_2$ dan menghasilkan distribusi nanopartikel yang baik pada lembar GO, sehingga di harapkan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ dapat terdispersi dengan sempurna pada membaran CA/PEG. Dari hasil SEM membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02, 0,05 dan 0,07 (%berat) memiliki ketebalan berkisar antara 100$\pm$20 µm. Pada permukaan membran PEG-g-GO-$TiO_2$ terdapat struktur butir halus yang tersebar, dan membran yang dihasilkan lebih kuat dan padat bila dibandingkan tanpa penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$.

### 4.3.4 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$




**Gambar 4.21** Grafik analisa *water content* dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$

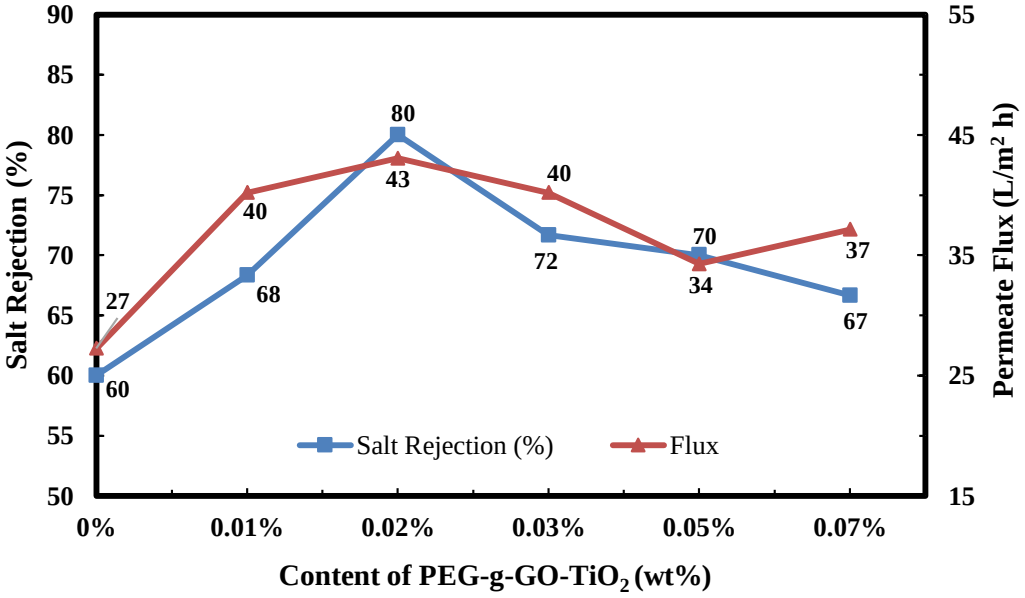
Hasil water content dan porositas pada membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ adalah berbanding lurus yang ditampilkan pada **Gambar 4.21**. Membran CA/PEG murni memiliki water content dan porositas yang rendah di bandingakan dengan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$, hal ini menunjukan bahwa penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ dengan komposi tertentu dapat meningkatkan hidrofilisitas suatu membran, namun jika nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ ditambahkan berlebih maka akan menurunkan water content dan porositasnya. Water content dan porositas tertinggi ada pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02% berat sebesar dan 81,75% dan 85,03%.

**Tabel 4.9** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$

| **PEG-g-GO-$TiO_2$** | **rm (µm)** |
|---|---|
| 0% | 0.0036 |
| 0.02% | 0.0047 |
| 0.05% | 0.0049 |
| 0.07% | 0.0038 |

Pada **Tabel 4.9** menampilkan radius pori rata-rata membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02, 0,05 dan 0,07 (%berat). Radius pori rata-rata dihasil dari persamaan 3.3. Radius terkecil yaitu pada membrane CA/PEG murni dan radius terbesar yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,05% berat. Radius pori rata-ratanya dipengaruhi dari hasil kinerja dan hidrofilisitasnya. Nilai fluks, water content, dan porositas yang semakin tinggi menunjukkan bahwa nilai radius pori rata-rata membran tersebut juga akan semakin tinggi.

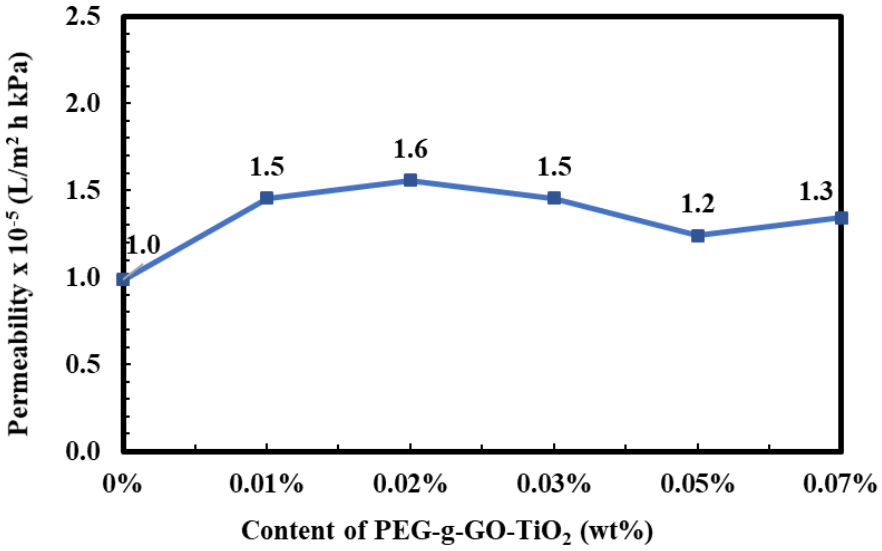
### 4.3.5 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$




**Gambar 4.22** Grafik analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$

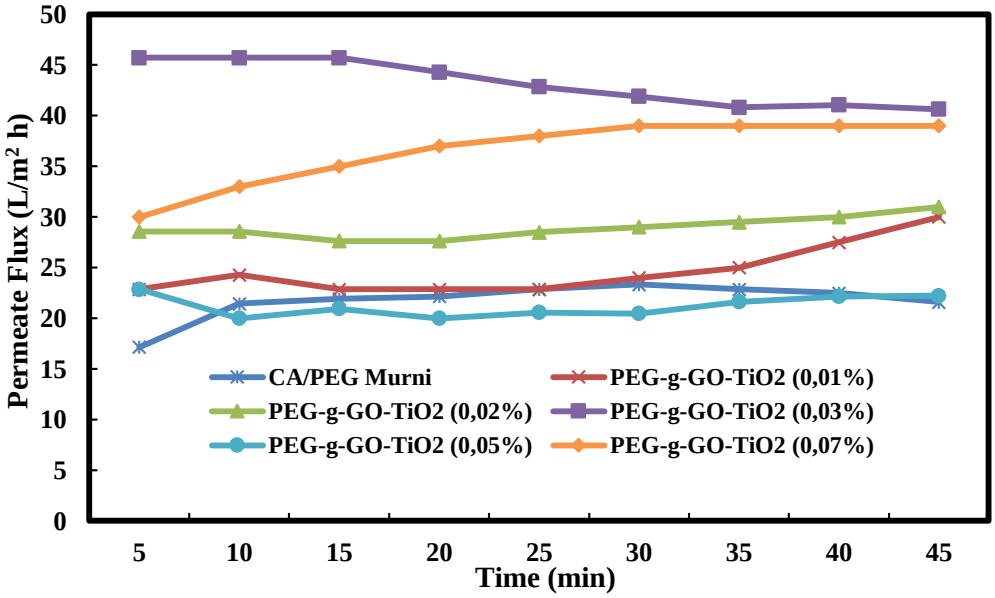
Uji rijeksi garam bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak garam yang tertahan pada membran dan uji fluks permeat bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak permeat yang dapat melewati membran per satuan waktu. Hasil dari uji rejeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG murni dan dengan penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,01, 0,02, 0,03, 0,05, dan 0,07 (%berat) ditampilkan pada **Gambar 4.22.** Membran CA/PEG yang menghasilkan rijeksi garam paling optimal yaitu pada penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02 %berat sebesar 80% diikuti membran CA/PEG penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,03, 0,05, 0,01, 0,07, dan 0 (%berat). Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02 %berat memiliki radius pori rata-rata sebesar 0.0047 µm dan juga memiliki porositas yang besar yaitu 85,03%. Membran CA/PEG yang menghasilkan fluks permeat paling tinggi yaitu pada penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02 %berat diikuti membran CA/PEG penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,03, 0,01, 0,07, 0,05 dan 0 (%berat). Membran CA/PEG murni atau ratio 0/0 memiliki fluks yang paling rendah, hasil fluks ini sebanding dengan hasil water content yang di

tampilkan pada Tabel 2, dimana penambahan nanopartikel ini dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas membran, sehingga fluks membran dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ meningkat bila dibandingkan dengan membrane CA/PEG murni.




**Gambar 4.23** Grafik analisa permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$

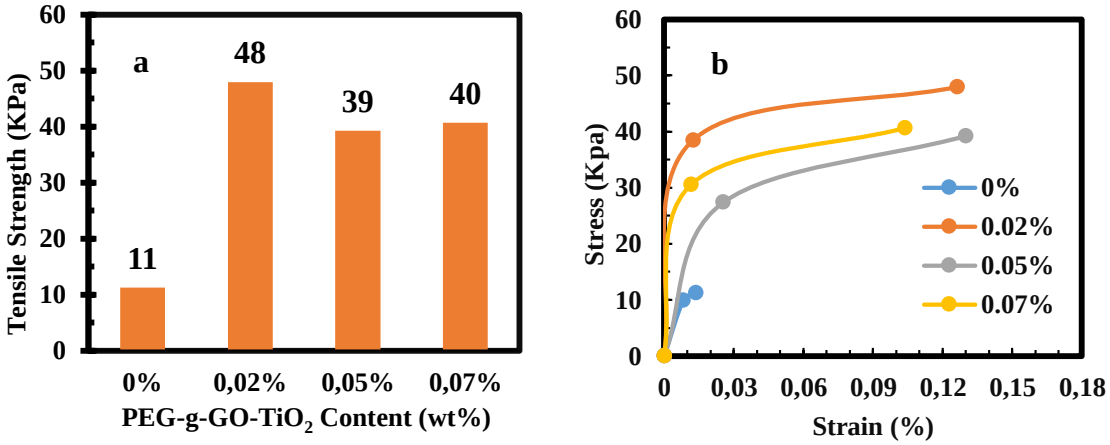
Penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ pada membran CA/PEG dapat meningkatkan permeabillitas membran. Hasil permeabilitas membran pada **Gambar 4.23** sebanding dengan hasil fluks permeat membran pada **Gambar 4.22.** Membran CA/PEG yang menghasilkan permeabilitas paling tinggi yaitu pada penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02 %berat diikuti 0,03, 0,01, 0,07, 0,05 dan 0 (%berat).




**Gambar 4.24** Grafik fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$

Hasil fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ ditampilkan pada **Gambar 4.24.** Pada membran CA/PEG murni fluks yang kecil, pada menit ke-5 sampai 15 fluks mengalami kenaikan dan mulai konstan pada menit ke 20 sampai 35 namun dimulai dari menit ke-40 dan seterusnya mengalami penurunan. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.01 dan 0.02% terjadi kenaikan fluks dari menit ke 20 sampai 45, dan ini akan naik terus hingga konstan pada fluks 40 dan 43 L/$m^2$ h. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.03% mengalami konstan pada menit 5 sampai 15 namun dari menit 15 sampai 35 mengalami penurunan hingga konstan kembali pada menit 40 sampai 45. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.05% memiliki fluks yang kecil mulai mengalami kenaikan pada menit ke 30 sampai konstan pada fluks ke 34 L/$m^2$ h. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.07% mengalami kenaikan pada menit ke 5 sampai 30, dan konstan sampai menit ke 40, namun setelah menit ke 40 mengalami sedikit penuruan hingga konstan pada fluks ke 37 L/$m^2$ h. Hasil fluks ini menunjukkan semakin banyak penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ maka fluks yang dihasilkan semakin mengecil hal ini di duga karena akibat dari aglomerasi $TiO_2$.

### 4.3.6 Dynamic Mechanical Analysis (DMA) Characterization



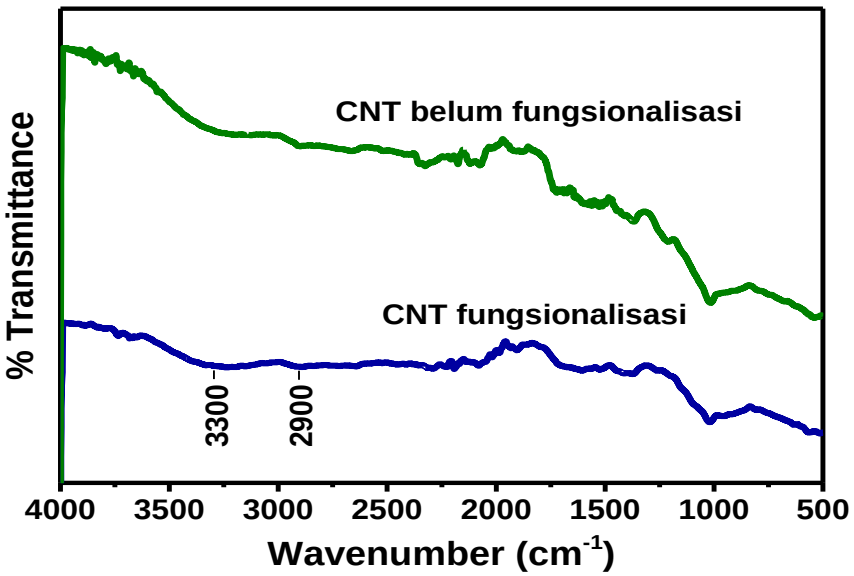

**Gambar 4.25** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$.

Hasil tensile strength dan stress-strain dari membran CA/PEG dan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ ditampilkan pada **Gambar 4.25.** Uji tensile strength bertujuan untuk mengetahui elastisitas dari membran dan kemampuan maksimal dari membran terhadap tekanan saat melakukan pengujian reverse osmosis. Membran CA/PEG dengan penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0,02 %berat memiliki tensile strength paling tinggi sebesar 47.9 MPa dibanding membran dengan PEG-g-GO-$TiO_2$ 0, 0,05 dan 0,07 %berat dan membran CA/PEG dengan penambahan PEG-g-GO-$TiO_2$ memiliki stress-strain yang mayoritas tinggi dibandingkan membrane CA/PEG murni. Pada penelitian Mahendra Kumar, 2016 dihasilkan membran PSf/GO-$TiO_2$ yang memiliki tensil strength paling tertinggi yaitu sebesar 2.3 MPa bila dibandingkan dengan membrane PSf murni.

## 4.4 Pengaruh Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO/CNT pada Membran CA/PEG

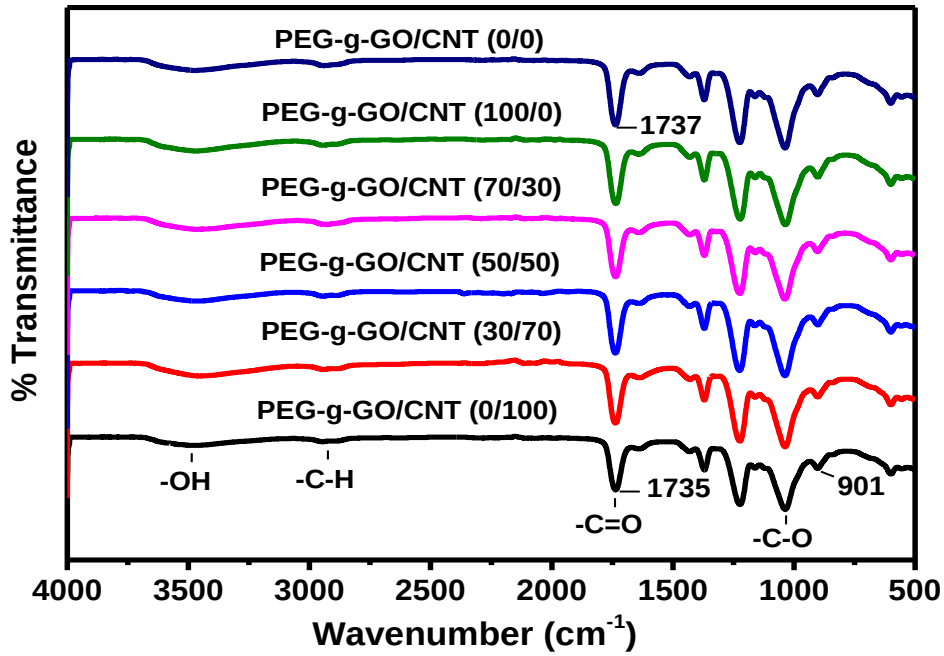
Pada penelitian ini PEG-g-GO yang telah disiapkan akan ditambahkan bersama dengan CNT *fungsionalisasi* kedalam membran CA/PEG. Variabel PEG-g-GO/CNT yang ditambahkan sebesar 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, dan 0/100 dari 0.05% berat polimer.

### 4.4.1 Fourier Transformed Infra-Red (FTIR) Characterization




**Gambar 4.26** Hasil FTIR dari CNT dan CNT fungsionalisasi

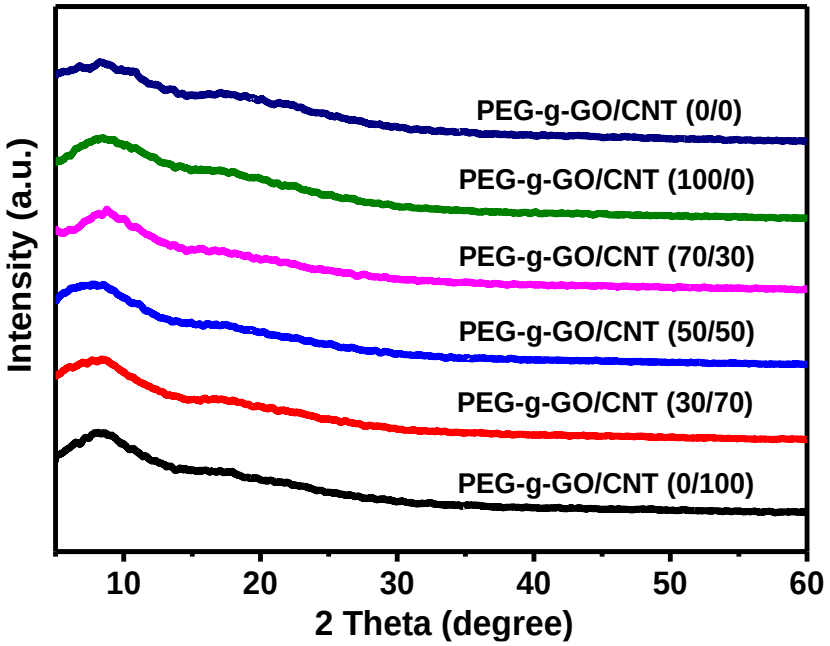
Fourier Transformed Infra-Red Spectroscopy (FTIR) merupakan metode analisis senyawa kimia dengan menggunakan sinar infra merah. **Gambar 4.26** menampilkan hasil FTIR dari CNT dan CNT fungsionalisasi. Terdapat gugus –OH pada wavenumber 3300 $cm^{-1}$ dan -C-H pada wavenumber 2900 $cm^{-1}$ dari hasil FTIR CNT fungsionalisasi, hal ini menunjukan bahwa fungsionalisasi pada CNT dengan larutan asam berhasil merubah sifat dari CNT yang semula hidrofobik atau tidak terdapat gugus –OH dan -C-H menjadi CNT yang bersifat hidrofilik. Hidrofilik merupakan suatu sifat yang suka dengan air, sehingga CNT yang bersifat hidrofilik ini digunakan sebagai nanopartikel yang ditambahkan pada membran.




**Gambar 4.27** Hasil FTIR dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT

Hasil analisis FTIR membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT ratio 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, dan 0/100 dapat dilihat pada **Gambar 4.27** Pada semua jenis membran memiliki gugus –OH pada wavenumber 3488 $cm^{-1}$, gugus –C-H pada wavenumber 2945 $cm^{-1}$, gugus -C=O pada wavenumber 1735-1737 $cm^{-1}$, gugus –C-O pada wavenumber 1034 $cm^{-1}$ dan semua membran juga terdapat cincin piranosa dan struktur sakarin pada wavenumber 901 $cm^{-1}$ dan 1157 $cm^{-1}$. Pada membran CA/PEG murni terdapat gugus karbonil (-C=O) pada wavenumber 1737 $cm^{-1}$, namun dengan adanya penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT, gugus karbonil sedikit bergeser ke wavenumber yang lebih rendah menjadi 1735 $cm^{-1}$, hal ini di sebabkan karena ikatan hidrogen mengusulkan interaksi antara gugus fungsi -COOH dari CNT-COOH dan gugus –C=O dari CA (Aneela Sabir, 2015).

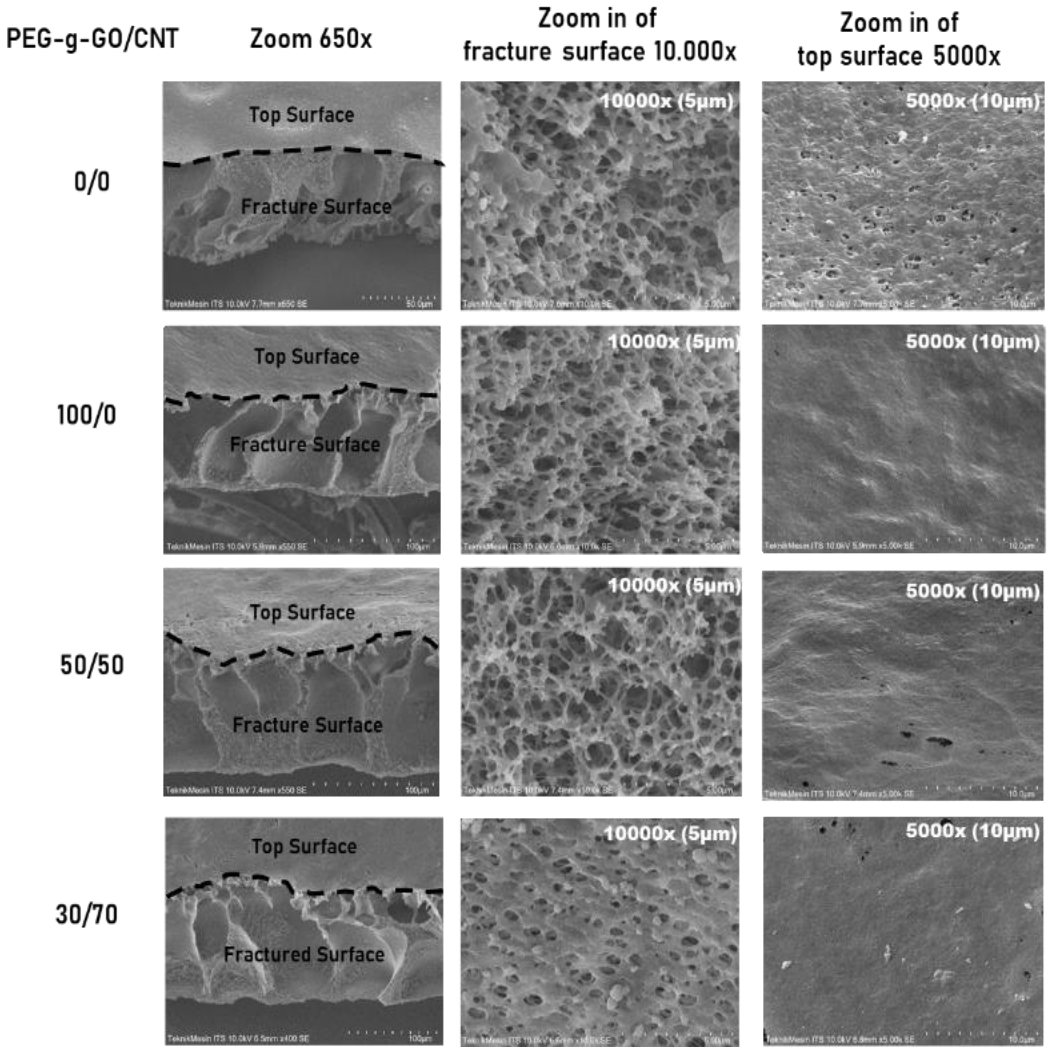
### 4.4.2 X-Ray Diffraction (XRD) Characterization




**Gambar 4.28** Hasi XRD dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT

Pada **Gambar 4.28** menampilkan hasil XRD dari membran CA/PEG murni (PEG-g-GO/CNT (0/0)) dan membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT ratio 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, dan 0/100. Pada pola XRD dari CA/PEG murni dan CA/PEG/PEG-g-GO/CNT memiliki puncak 2θ yang lemah yaitu pada $8{,}7^0$ dan $18^0$, namun setelah penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT puncak 2θ pada $18^0$ semakin melemah, hal ini disebabkan karena adanya fase amorf dari CA/PEG/PEG-g-GO/CNT, dan juga tidak terlihat puncak difraksi GO maupun CNT pada hasil XRD membrane CA/PEG/PEG-g-GO/CNT, hal ini menunjukkan dispersi yang seragam dan peningkatan mobilitas nanopartikel PEG-g-GO/CNT terhadap CA/PEG (wenqi wu, 2020).

### 4.4.3 Scanning Electron Microscopy (SEM) Characterization



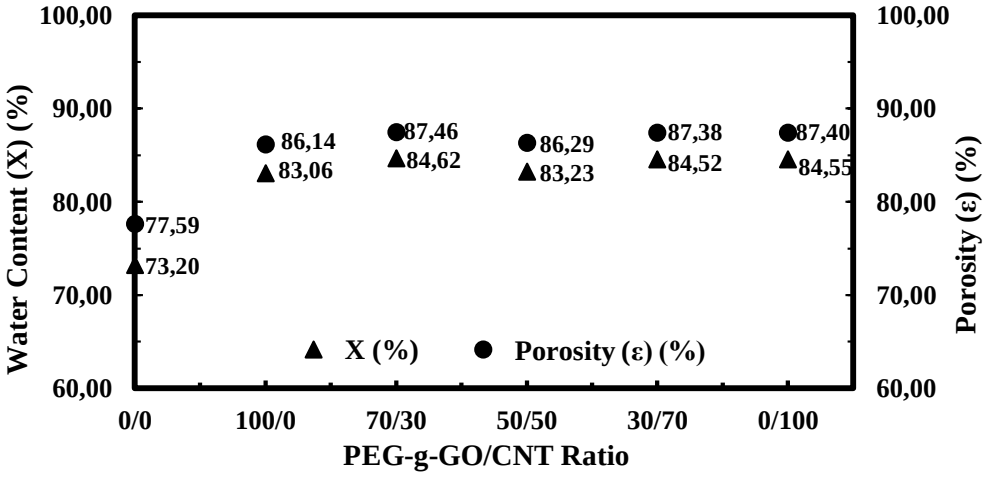

**Gambar 4.29** Hasil SEM dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT

Hasil analisis SEM membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT 100/0, 50/50 dan 30/70 dapat dilihat pada **Gambar 4.29**. Pada fracture surface mengunakan perbesaran 550x, membrane spons-like menggunakan perbesaran 10.000x dan top surface menggunakan perbesaran 5000x. Dari hasil SEM ini dapat terlihat bahawa PEG-g-GO dapat terdispersi secara maksimal dalam membrane CA/PEG, namun dengan ditambahkan CNT terdapat bercak hitam di top surface membrane CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio 50/50 dan 30/70 yang diduga itu adalah aglomerasi dari CNT, sehingga dengan penambahan PEG-

g-GO ini dapat mengurangi aglomerasi CNT pada membran dan dapat membuat performa dari membrane meningkat (Li. dkk, 2011). Dari hasil SEM membrane CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio 0/0, 100/0, 50/50 dan 30/70 struktur membran yang terlihat tegak lurus dan kuat yaitu pada rasio 50/50, pada rasio ini terdapat spons-like dan finger-like, namun semakin banyak CNT yang ditambahkan struktur membrane menjadi finger-like dan hanya terdapat sedikit spons like.

### 4.4.4 Analisa Hidrofilisitas Membran CA/PEG penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT

Hidrofilisitas suatu membran dapat diketahui salah satunya dari hasil FTIR yaitu dengan adanya gugus –OH yang menandakan membran tersebut bersifat hidrofilik ditampilkan pada **Gambar 4.27**, selain itu dari hasil pengujian water content dan porositas. Uji water content dan porositas dapat membandingkan tingkat hidrofilisitas membran CA/PEG tanpa dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT. Hasil water content dan porositas membran CA/PEG tanpa dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT di tampilkan pada **Gambar 4.30**.




**Gambar 4.30** Grafik water content dan porositas dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT

Hasil water content dan porositas pada membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT adalah berbanding lurus. Membran CA/PEG murni atau ratio 0/0 memiliki water content dan

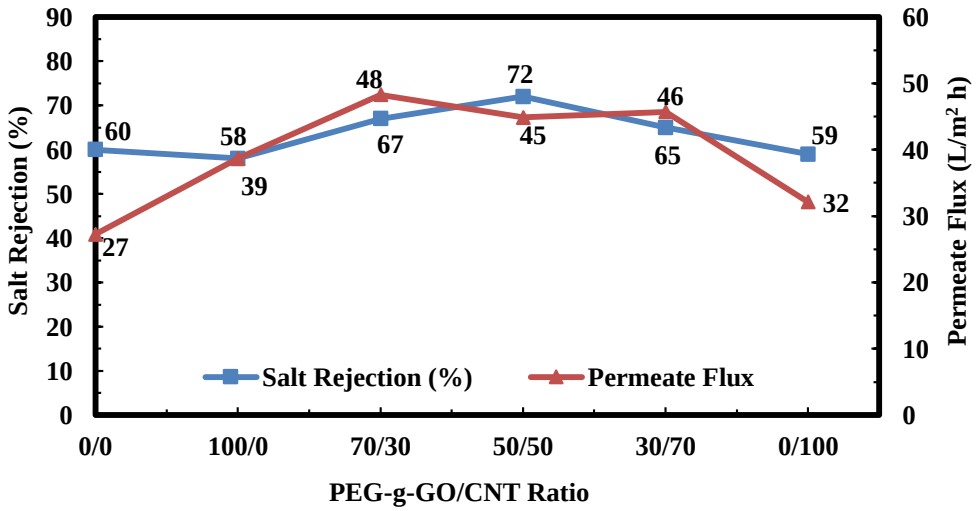
porositas yang rendah di bandingakan dengan membran CA/PEG dengan penambahaan nanopartikel PEG-g-GO/CNT, hal ini menunjukan bahwa penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT dapat meningkatkan hidrofilisitas suatu membran. Water content dan porositas tertinggi ada pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT ratio 70/30.

**Tabel 4.10** Radius pori rata-rata dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT

| PEG-g-GO/CNT | rm (µm) |
|---|---|
| 0/0 | 0.0038 |
| 100/0 | 0.0041 |
| 50/50 | 0.0049 |
| 30/70 | 0.0056 |

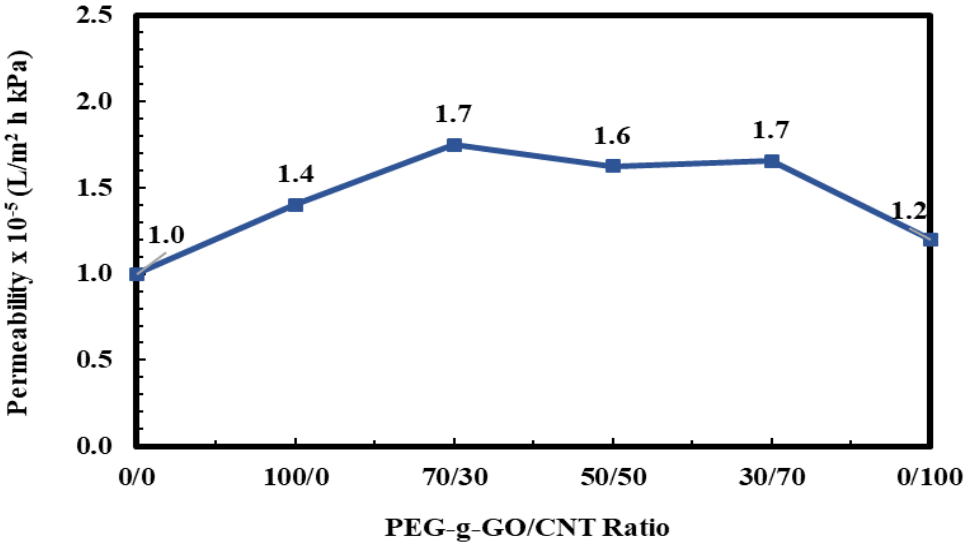
Pada **Tabel 4.10** menampilkan radius pori rata-rata membran CA/PEG murni dan membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT 100/0, 50/50 dan 30/70, hasil ini di dapat dari persamaan 3.3. Radius terbesar yaitu pada membrane CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio 30/70. Radius pori rata-ratanya dipengaruhi dari hasil kinerja dan hidrofilisitasnya. Nilai fluks, water content, dan porositas yang semakin tinggi menunjukkan bahwa nilai radius pori rata-rata membran tersebut juga akan semakin tinggi.

### 4.4.5 Analisa Kinerja Membran: Rejeksi Garam, Fluks Permeate, dan Permeability Membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT



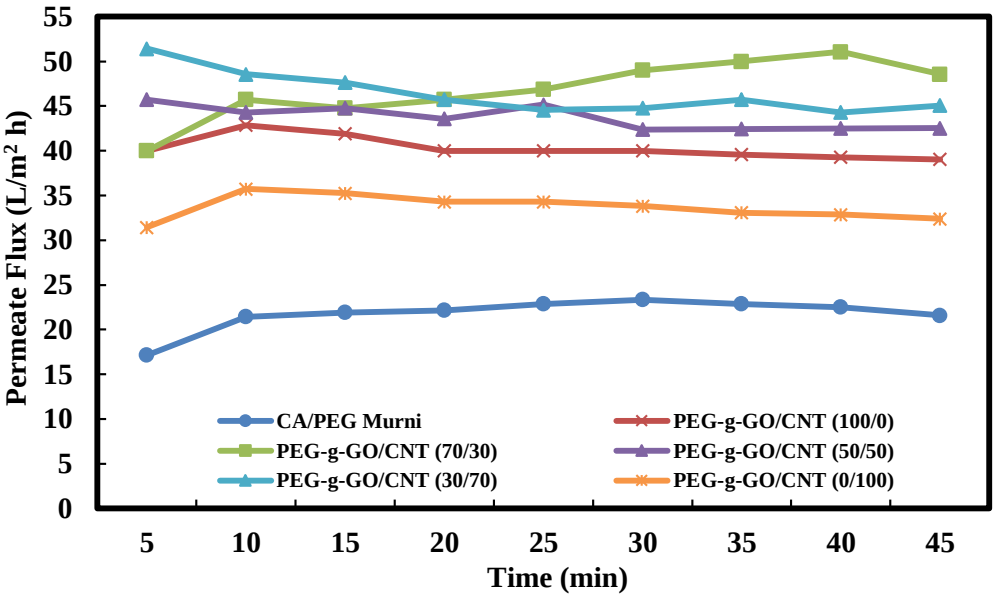

**Gambar 4.31** Grafik analisa rijeksi garam dan fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT

Uji rijeksi garam bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak garam yang tertahan pada membran dan uji fluks permeat bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak permeat yang dapat melewati membran per satuan waktu. Hasil dari uji rejeksi garam dan fluks permeat untuk variasi rasio PEG-g-GO/CNT: 0/0, 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 (0,05% wt polimer) ditampilkan pada **Gambar 4.31.** Membran CA/PEG yang menghasilkan rijeksi garam paling optimal yaitu pada penambahan PEG-g-GO/CNT ratio 50/50 sebesar 72% diikuti membran CA/PEG penambahan PEG-g-GO/CNT ratio 70/30, 30/70, 0/0, 0/100, dan 100/0. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT ratio 50/50 memiliki radius pori rata-rata sebesar 0.0049 µm dan juga memiliki porositas yang besar yaitu 86,3%. Membran CA/PEG yang menghasilkan fluks permeat paling tinggi yaitu pada penambahan PEG-g-GO/CNT ratio 70/30, diikuti membran CA/PEG penambahan PEG-g-GO/CNT ratio 30/70, 50/50, 100/0, 0/100 dan 0/0. Membran CA/PEG murni atau ratio 0/0 memiliki fluks yang paling rendah, hasil fluks ini sebanding dengan hasil water content yang di tampilkan pada Tabel 2, dimana penambahan nanopartikel ini dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas membrane namun jika CNT yang ditambahkan berlebih akan terjadi aglomerasi yang menyebabkan fluksnya menurun.




**Gambar 4.32** Grafik analisa permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT

Penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT pada membran CA/PEG dapat meningkatkan permeabillitas membran. Hasil permeabilitas membran pada **Gambar 4.32** sebanding dengan hasil fluks permeat membran pada **Gambar 4.31**. Membran CA/PEG yang menghasilkan permeabilitas paling tinggi yaitu pada penambahan PEG-g-GO/CNT ratio 70/30 diikuti ratio 30/70, 50/50, 100/0, 0/100 dan 0/0.

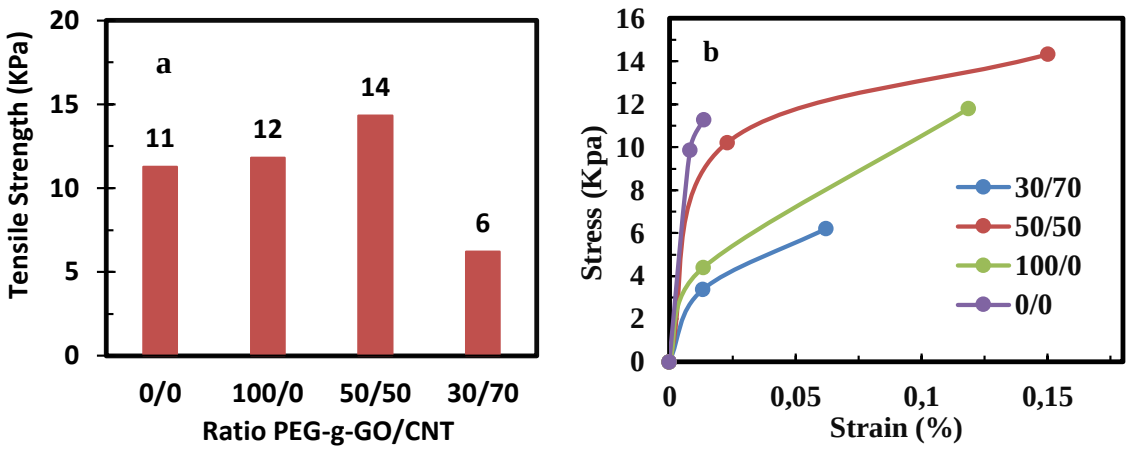



**Gambar 4.33** Grafik fluks permeat terhadap waktu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT

Hasil fluks permeat terhadap waktu dari membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT ditampilkan pada **Gambar 4.33**. Membran CA/PEG murni memiliki fluks yang paling kecil, pada menit ke-5 sampai 15 fluks mengalami kenaikan dan mulai konstan pada menit ke 20 sampai 35 namun dimulai dari menit ke-40 dan seterusnya mengalami penurunan. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio (100/0) mengalami kenaikan pada menit ke 5 sampai 10, mengalami penurunan pada menit ke 10 sampai 20 dan konstan pada menit ke 20 sampai 45. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio (70/30) mengalami kenaikan pada menit ke 5 sampai 40 dan mengalami penurunan ada menit ke 40 sampai 45. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio (50/50), mengalami penurunan dan kenaikan pada menit ke 5 sampai 30, dan konstan pada menit ke 30 sampai

45. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio (30/70) mengalami penurunan dari menit ke 5 sampai 25 lalu mengalami kenaikan dan penurunan kembali pada menit ke 25 sampai 45. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT rasio (0/100) memiliki fluks yang kecil dibandingkan dengan rasio PEG-g-GO/CNT lainnya, pada menit ke 5 sampai 10 mengalami kenaikan dan konsatan pada menit ke 10 sampai 45. Dari hasil uji fluks ini semakin banyak penambahan rasio dari CNT maka fluks yang dihasilakan akan semakin kecil, hal ini diduga karena efek aglomerasi dari CNT, penambahan PEG-g-GO ini dapat menghindari terjadinya aglomerasi dari CNT.

### 4.4.1 Dynamic Mechanical Analysis (DMA) Characterization

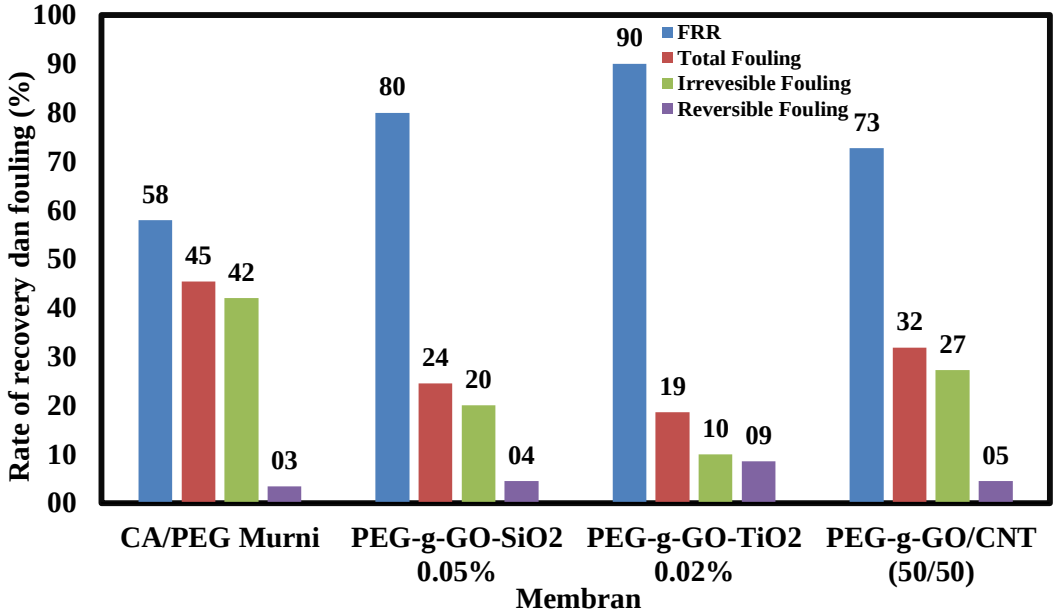



**Gambar 4.34** (a) Grafik tensile strength dan (b) grafik stress-strain dari membran CA/PEG murni dan dengan penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT.

Uji tensile strength bertujuan untuk mengetahui elastisitas dari membran dan kemampuan maksimal dari membran terhadap tekanan saat melakukan uji reverse osmosis. Membran CA/PEG dengan penambahan PEG-g-GO/CNT ratio 50/50 memiliki tensile strength paling tinggi sebesar 14.3 kPa, dibanding membran dengan PEG-g-GO/CNT ratio 0/0, 100/0, dan 30/0. Hal ini terjadi karena integrasi mechanical properties dari GO dan CNT membuat membran yang dibuat semakin kuat. Interaksi $\pi$ - $\pi$ yang kuat

antara GO dan CNT membuat 1-D CNT secara efektif menguhubungkan 2-D GO, sehingga menghasilkan jaringan 3-D GO-CNT yang kuat (Wu. dkk, 2017). Pada penelitian Wu. dkk, 2017 menghasilkan tensil strength yang tinggi pada GO/CNT ratio 1/1 sebesar 155 Mpa.

## 4.5 Uji Anti Fouling




**Gambar 4.35** Grafik fouling dan *rate of recovery* dari membran

Fouling pada membran merupakan factor terpenting dalam pengoperasian membran. Sifat antifouling membran dievaluasi dengan menghitung FRR yaitu *Flux Recovery Ratio*, *Rt* yaitu rasio fouling total, *Rir* yaitu rasio fouling irreversible dan *Rr* yaitu rasio fouling reversible dari persamaan 3.7, 3.8, 3.9 dan 3.10. **Gambar 4.35** menampilkan hasil dari fouling dan *rate of recovery* dari membran. Dari gambar grafik ini terlihat bahwa penambahan nanopartikel sangat berpengaruh meningkatkan anti fouling pada membran. Pada membran CA/PEG murni atau tanpa penambahan nanopartikel menghasilkan fouling terbesar dan *flux recovery ratio* (FRR) yang kecil. Membran terbaik yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.02% dimana menghasilkan FRR sebesar 90%, Rt sebesar 18.6%, Rir sebesar 10% dan Rr sebesar 8.6%. Pada penelitian Mahendra Kumar, 2016 menghasilkan membran anti fouling terbaik pada membran PSf penambahan nanopartikel GO-$TiO_2$ dimana dihasilkan FRR sebesar 96.8%, pada penelitian Yi

Han, 2015 menghasilkan membran anti fouling terbaik pada membran PVDF/GO/CNT ratio 8:1 dimana dihasilkan FRR sebesar 86.5% dan pada penelitian Zhenya Zhu, 2017 menghasilkan membran anti fouling terbaik pada penambahan nanopartikel GO-$SiO_2$ dihasilkan FRR sebesar 77.5%, dari ketiga referensi ini membran anti fouling terbaik sama dengan penelitian kami yaitu membran dengan penambhan nanopartikel GO-$TiO_2$. Berdasarkan penelitian yang telah kami lakukan nanopartikel terbaik adalah PEG-g-GO-$TiO_2$ sebesar 0.02% berat karena memiliki sifat antifouling tertinggi dibandingkan PEG-g-GO-$SiO_2$ dan PEG-g-GO/CNT, hal ini disebabkan karena sifat unik dari $TiO_2$ yang tidak dimiliki oleh $SiO_2$ dan CNT yaitu fotokatalitik atau fotokatalis. Fotokatalisis $TiO_2$ mempunyai dua fungsi. Pertama, fotokatalisis dapat menguraikan polutan organik dalam air selama perembesannya melalui membran berpori, yang ditunjuk untuk menjadi aliran melalui fotokatalisis. Kedua, fotokatalisis $TiO_2$ dapat menguraikan molekul organik yang teradsorpsi lingkungan pada permukaan membran, yang menunjukkan pembersihan diri yang diinduksi cahaya dan fungsi antifouling (Zang C Meng, 2014).

# BAB V
# KESIMPULAN

## 5.1 Kesimpulan

### 5.1.1 Kesimpulan Penelitian

Pada penelitian yang telah saya lakukan dapat disimpulkan bahwa

- *Non-solvent* terbaik yang digunakan untuk pembuatan membran CA/PEG/PEG-g-GO adalah *water*, karena menghasilkan rijeksi garam dan fluks yang cukup tinggi sebesar 75% dan 1985.3 L/$m^2$ h. Water content dan porositas juga tinggi sebesar 80% dan 83,6%. Pada hasil FTIR membran *water* terdapat gugus –OH yang cukup besar luas areanya bila dibandingkan dengan membran isopropanol dan methanol, sehingga membran water bersifat hidofilik. Dilihat dari hasil SEM membran non-solvent water memiliki pori yang cukup kecil dan tekanan membran juga kecil dibandingkan membran isopropanol, sehingga lebih ekonomis.
- Pada penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$, variable yang paling terbaik adalah 0,05% berat polimer, dimana menghasilkan rijeksi garam tertinggi sebesar 72%, fluks sebesar 134 L/$m^2$ h, permeabilitas sebesar 4.9 $\times$ $10^{-5}$ L/$m^2$.h.kPa. Water content dan porositas yang dihasilkan sebesar 83.33 % dan 86.37%. Semakin banyak penambahan PEG-g-GO-$SiO_2$ tensile strength pada membran juga semakin meningkat. Pada penelitian ini penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$ dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas seperti fluks, water content dan porositas pada membran.
- Pada penambahan nanopartikel PEG-g-GO-$TiO_2$ variabel yang paling terbaik yaitu pada variable 0.02% berat polimer, karena menghasilkan rijeksi garam tinggi sebesar 80% dan fluks sebesar 43 L/$m^2$ h, permeabilitas yang dihasilkan sebesar 1.6 $\times 10^{-5}$ L/$m^2$ h kPa. Water content dan porositas yang dihasilkan sebesar 81.75% dan 85.03%. Pada membran CA/PEG/ PEG-g-GO-$TiO_2$ variabel 0.02% memiliki tensile strength tertinggi dan lebih hidrofilik dibandingkan dengan variable lainnya.

- Pada penambahan nanopartikel PEG-g-GO/CNT, variable yang paling terbaik adalah perbandingan 50/50 dari 0,05% berat polimer, dimana menghasilkan rijeksi garam tertinggi sebesar 72%, fluks sebesar 45 $L/m^2$ h, permeabilitas sebesar 1.6 $\times 10^{-5}$ $L/m^2$.h.kPa. Water content dan porositas yang dihasilkan sebesar 83.23% dan 86.29%. Pada membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT perbandingan 50/50 dari 0.05% berat polimer memiliki tensil strength tertinggi, sehingga tekanan tariknya lebih tinggi dibanding rasio PEG-g-GO/CNT lainnya.
- Interaksi antara polimer, pelarut, dan aditif pada membran terjadi secara fisik yang dibuktikan tidak adanya gugus fungsi baru pada uji FT-IR, serta konfirmasi puncak karakteristik XRD yang berasal dari polimer dan aditif PEG (Fithri Y H, 2015). Membran terbaik yaitu pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.02% karena memiliki sifat anti fouling yang baik bila dibandingkan dengan membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.05% dan CA/PEG/PEG-g-GO/CNT 50/50.

# DAFTAR PUSTAKA


Arthanareeswaran, G., Thanikaivelan, P., Srinivasn, K., Mohan, D., Rajendran, M. (2004). Synthesis, Characterization and Thermal Studies on Cellulose Acetate Membranes with Additive. *European Polymer Journal*. 40, 2153-2159.

A, G, Osorio., I, C, L, Silveira., V, L, Bueno., C, P, Bergmann. (2008). $H_2SO_4$/$HNO_3$/HCl Functionalization and its effect on dispersion of carbon nanotubes in aqueous media.

Abdulreza Tabe, M., Juan P, Gracia V., Hyo J, Kim., Thereza, Chan and Vanesa, R. (2014). *Effect of* Polymer Solvent's of Cellulose Acetate Membranes in Methanol/ Methyl Tertiary Buthyl Ether Separation.

Aria, Adrianus I., Gharib and Morteza. (2013). Dry Oxidation and Vacuum Annealing Treatments for Tuning the Wetting Properties of Carbon Nanotube Arrays. *Journal of Visualized Experiments.* 74, 1-9.

Bottino, A., Camera-Roda, G., Capannelli, G and Munari, S. (1991). The formation of microporous polyvinylidene difluoride membranes by phase separation. *Journal of Membrane Science.* 57, 1-20.

Brandrup, J., Immergut, E. H., & Grulke, E. A. (1999). *Polymer Handbook* (4th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc

Chae, H.R., Lee, J., Lee, C.H., Kim, I.C., Park, P.K. (2015). Graphene oxide-embedded thin-film composite reverse osmosis membrane with high flux, anti-biofouling, and chlorine resistance. *Journal of Membrane Science*. 483, 128-35.

Das, R.; Eaqub Ali, Md.; Hamid, S. B. Abd.; Ramakrishna, S.; Chowdury, Z. Z. (2014). Carbon Nanotube Membranes for Water Purification. A Bright Future in Water Desalination. *Desalination*. 365, 70-78.

Fritzmann, C; Lowenberg, J; Wintgens, T; Melin, T. (2006). State of the art of Reverses Osmosis Desalination. *Desalination* 1-76.

Fadhil, S., Marino, T., Makki, HF., Alsalhy, QF., Blefari, S. (2016). Novel PVDF-HFP flat sheet membranes prepared by triethyl phosphate (TEP) solvent for direct contact membrane distillation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 102, 16-26.

Ghaseminezhad, S. M., Barikani, M., & Salehirad, M. (2019). Development of graphene oxide-cellulose acetate nanocomposite reverse osmosis membrane for seawater desalination. *Composites Part B: Engineering*, 161, 320–327.

Ghorani, B., Kadkhodaee, R., Rajabzadeh, G and Tucker, N. (2019). Assembly of odour adsorbent nanofilters by incorporating cyclodextrin molecules into electrospun cellulose acetate webs. *Reactive and Functional Polymers.* 134 121-132.

Han, Y., Jiang, Y., dan Gao, C. (2015). High-flux Graphene Oxide Nanofiltration Membrane Intercalated by Carbon Nanotubes. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, Just Accepted Manuscript.

Hansen, C. M. (1967). The Three Dimensional Solubility Parameter and Solvent Diffusion Coefficient. Their Importance in Surface Coating Formulation. *J. Paint Technology*, 104.

Hansen, C. M. (2007). *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook* (2nd ed., Vol. 53).

Ibrahim, A.G., Elshamarka, S.E. (2015). Performance study of a modified basin type solar still. *Solar Energy*. 118, 397-409.

Kucera, J. (2015). Reverse Osmosis: Design, Processes, and Application for Engineer 2nd Edition. *Canada: Scrivener Publishing.*

Kevin A. Wepasnick; Billy A. Smith; Kaitlin E. Schrote; Hannah K. Wilson; Stephen R. Diegelmann; D. Howard Fairbrother. (2011). Surface and structural characterization of multi-walled carbon nanotubes following different oxidative treatments *Kibrom Alebel Gebru; Chandan.*

Kim, Jang-Kyo; Lung, Man. (2007). Functionalization of Carbon Nanotube Surface Via UV/O3 Treatment. *Solid State Phenomena.* 121-123:1407-1410.

Kim.; Kew Ho Lee.; Mu Shik Jhon Kew Ho Lee b.; Mu Shik Jhon a. (2016). The effect of co-solvent on fabrication of cellulose acetat membranes from solution in 1-ethyl-3-mthyl diazolium acetate. *Jurnal of Membran Science.* 520, 541-548.

L.A. Nezam El-Din; A. El-Gendi; N. Ismail; K.A. Abed; Awd I. Ahmed. (2014). Evaluation of cellulose acetate membrane with carbon nanotubes additives.

Li, D.; Krantz, W. B.; Greenberg, A. B.; Sani, R. L. (2006). Membrane Formation via Thermally Induced Phase Separation (TIPS): Model Development and Validation. *Journal of Membrane Science*. 279, 50-60.

Lua, A.C., Shen, Y. (2013). Preparation and characterization of asymmetric membranes based on nonsolvent/NMP/P84 for gas separation. *Journal of Membrane Science*. 429, 155–167.

Lee, K. P; Arnot, T. C; Matia, D. (2011). A Review of Reverse Osmosis Membrane Materials for Desalinatio – Development to Date and Future Potential. *Journal of Membrane Science,* 370, 1 – 22.

Liu, Y., Liu, J., Jiang, Y., Meng, M., Ni, L., Qiu, Hengli., Yang, R., dan Liu, Z. (2019). Synthesis of novel high flux thin-film nanocomposite nanofiltration membrane containing GO-SiO2 via interfacial polymerization. *Ind. Eng. Chem. Res.* Just Accepted Manuscript.

Mazinani, S., Darvishmanesh, S., Ehsanzadeh, A and der Bruggen, B, V. (2017) Phase separation analysis of Extem/solvent/non-solvent systems and relation with membrane morphology. *Journal of Membrane Science*. 526 301-304.

Mulder, (1996). Basic Principles of Membran Technology second edition *dotchreckt:Cuwer Academic Publisher*

Nurkhamidah, S., Ramadhani, A., Devi, B. C., Febriansyah, B. A., Nyamiati, R.D., dan Rahmawati, Y. (2020). Modified of Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol Membrane By the Addition of Graphene Oxide. *Indonesian Polymer Journal*. 1410-7864.

Nurkhamidah, S., Ramadhani, A., Devi, B. C., Febriansyah, B. A., Nyamiati, R.D., dan Rahmawati, Y. (2020). Characteristics of Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol membrane with the addition of Graphene Oxide by using surface coating method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 732 012002.

Nurkhamidah, S.; Rahmawati, Y.; Taufany, F.; Merta,I.M.P.A.; Putra, D.D.D. 2015. Synthesis of Polymeric Membrane for Desalination Process. *Proceeding ISST Seminar.*

Shi, Y., Li, C., He, D., Shen, L., dan Bao, N. (2017). Preparation of graphene oxide–cellulose acetate nanocomposite membrane for high-flux desalination. *Journal of Membrane Science*. 52, 13296-13306

Safarpour, M., Khataee, A., dan Vatanpour, V. (2014) Preparation of a novel PVDF ultrafiltration membrane modified with reduced graphene oxide/TiO2 nanocomposite with enhanced hydrophilicity and antifouling properties. *Journal of Membrane Science*. 15, 376-7388.

Saljoughi, Ehsan; Sadrza, Mohtada; Mohammadin, Toraj. 2008). Effect of Preparation Variables on Morphology and pure water permeation flux

through asymmetric cellulose acetate membranes. *Journal of Membrane Science*. 326, 627 – 634 .

Sears, Kallista; Dumee, Ludovic; Schutz, Jurg, et. Al. (2010). Recent Development in Carbon Nanotube Membranes for Water Purification and Gas Separation. *Materials.* 127 - 149

Singh Rajindar. (2014). Membrane Technology and Engineering for Water Purification: Application, Systems Design and Operation second edition.*england:Butterworth-Heinemann.*

Zhu, Zhenya; Lei Wang; Yawei Xu; Qingqing Li; Jialiang Jiang; Xudong Wang. (2017). Preparation and characteristics of graphene oxide-blending PVDF nanohybrid membranes and their applications for hazardous dye adsorption and rejection. *Journal of Colloid and Interface Science.* 504, 429–439.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# DAFTAR NOTASI

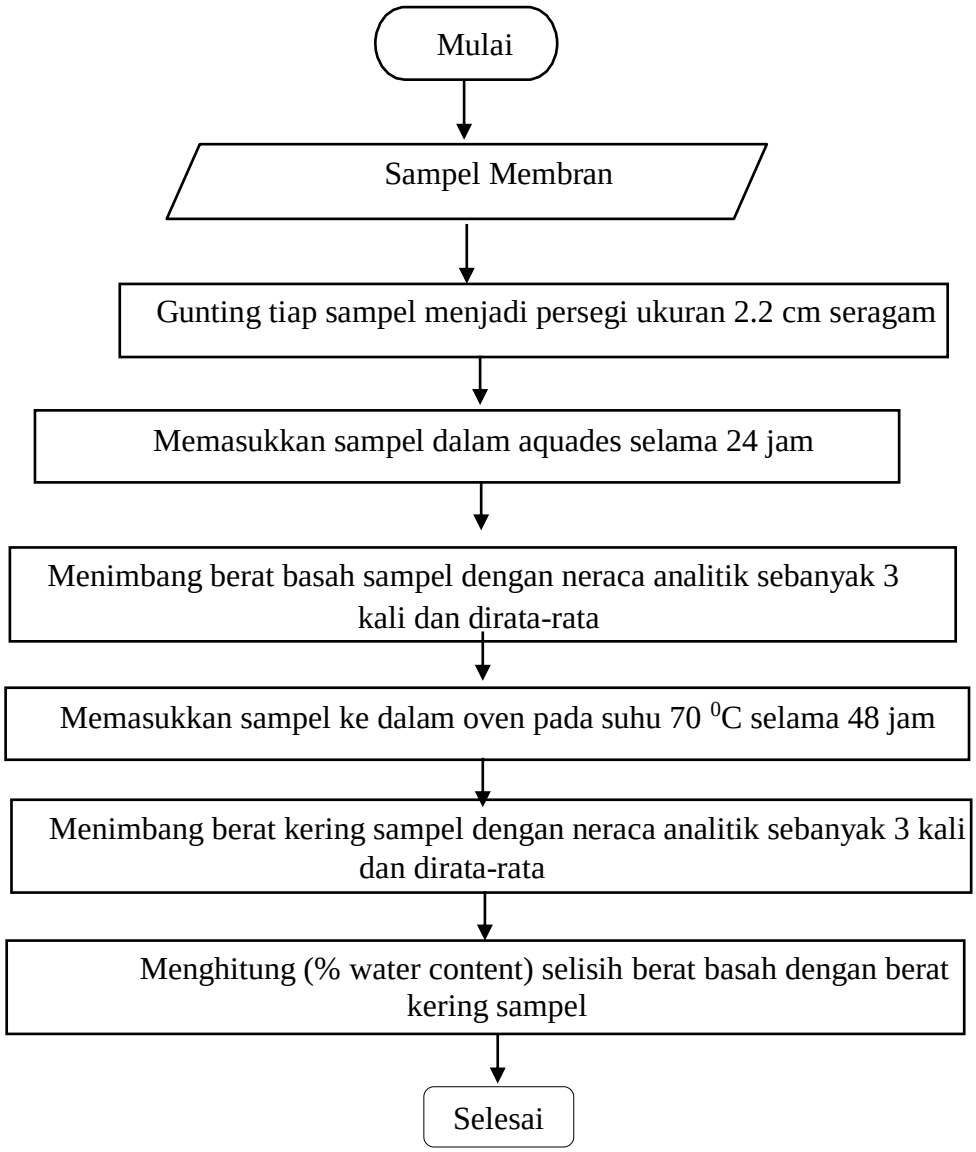
| | |
|---|---|
| A | = luas permukaan membran ($m^2$) |
| BM | = berat massa (gram/mol) |
| J | = Fluks permeat ($L/m^2.h$) |
| M | = konsentrasi (mol/L, ppm) |
| m | = massa (gram) |
| n | = mol (kmol) |
| P | = tekanan (kPa) |
| $P_m$ | = permeabilitas membran (L/m.h.kPa) |
| $P_{os}$ | = tekanan osmotik (kPa) |
| Q | = debit (mL/sekon) |
| R | = konstanta tetapan gas (L.atm/K.mol) |
| T | = Suhu (Kelvin) |
| t | = waktu (sekon) |
| V | = volume (mL, L) |
| %R | = rejeksi garam (%) |
| $\Delta P$ | = Selisih tekanan operasi dan osmotik (kPa) |
| $\Delta z$ | = tebal membran (m) |
| $\delta$ | = *Hildebrand Solubility Parameter* |
| $\delta_d$ | = *dispesion parameter* |
| $\delta_h$ | = *hydrogen bond parameter* |
| $\delta_p$ | = *polar parameter* |
| $D_{AB}$ | = koefisien difusi |
| V | = volume molar |
| Tb | = boiling point |
| $\eta$ | = viskositas |
| $\sigma$ | = *surface tension* |

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# APPENDIKS A
# METODE ANALISA

## A.1. Analisa *Water Content* dan Porositas

Analisa *water content* dan porositas berfungsi untuk megetahui kemampuan membran dalam menyerap air (hidrofilisitas). Hasil analisa *water content* yaitu selisih antara berat basah dengan berat kering. Cara analisa *water content* adalah:




**Gambar A.1** Flow Diagram Analisa *Water Conten*

## A.2. Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan membran. Hasil yang didapatkan adalah gambar membran dengan perbesaran sesuai variable seperti 650x, 5000x, 10000x, dan 10000x dimana yang diamati adalah pori dari membran tersebut. Diharapkan pori yang didapatkan yaitu pori dengan ukuran yang lebih kecil dari ukuran partikel garam, sehingga kinerja membran dalam menyaring garam dapat lebih efektif.

## A.3. Analisa Uji Kinerja Membran

Analisa uji desalinasi berfungsi untuk mengetahui kinerja membran dalam proses desalinasi. Kondisi operasi yang digunakan yaitu tekanan sebesar 10-20 bar dengan suhu operasi 29 °C. Hasil yang didapatkan yaitu fluks, permeabilitas dan *salt rejection* dari membran. Langkah kerja uji kinerja membran yaitu:

### A.3.1 Preparasi Membran

1. Menyiapkan membran yang akan di uji kinerjanya
2. Memotong membran menjadi berukuran 5 x 5 cm sesuai dengan ukuran lubang pada akrilik pada **Gambar A.2**.
3. Merekatkan membran yang sudah dipotong pada permukaan akrilik tepat diatas lubang akrilik dengan *scotlite* sesuai **Gambar A.2**.
4. Memasang akrilik dalam alat Uji desalinasi **Gambar A.3**.
5. Mengunci dan memastikan sambungan pada alat uji desalinasi **Gambar A.3** supaya tidak ada kebocoran saat proses pengujian kinerja membran.

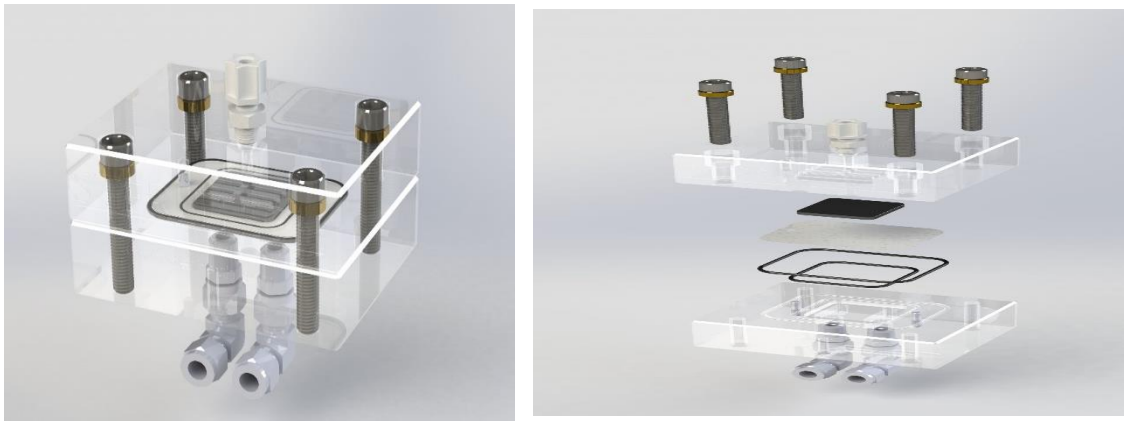
### A.3.2 Preparasi Larutan Garam

1. Menimbang 1-1,5 gram NaCl dengan neraca ohaus.
2. Menyiapkan 1 liter aquadest, mencampurkan NaCl ke dalam 1 liter aquades, kemudian diaduk menggunakan sendok.
3. Mengukur kadar garam pada larutan dengan menggunakan analisa

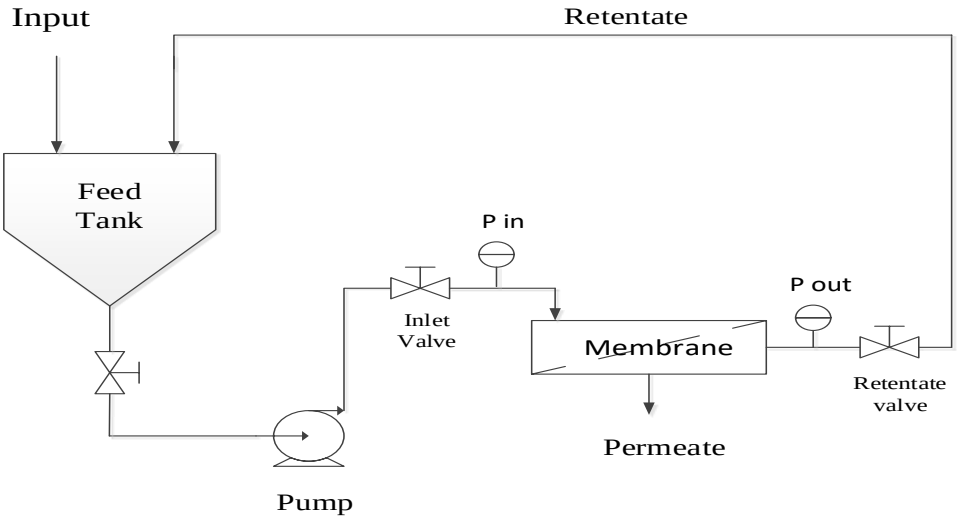
argentometric, dengan menggunakan larutan $AgNO_3$ dan larutan $KMnO_4$ sebagai indicator, volume titrasi akan dicatat ketika terjadi perubahan warna yang semula kuning menjadi orange.

### A.3.3 Uji Kinerja Membran

1. Memasukkan air garam 1 L ke dalam feed tank seperti **Gambar A.3.**
2. Meletakkan membrane pada alat uji modul RO seperti **Gambar A.3.**
3. Menghubungkan alat (pompa) ke sumber listrik
4. Menyalakan pompa dengan menekan tombol on.
5. Mengatur tekanan *in* dan tekanan *out* nya
6. Air garam yang dapat melewati modul RO ditampung di dalam gelas ukur, kemudian diukur kadar garamnya dengan alat konduktometer
7. Menghitung fluks permeat, permeabilitas dan rijeksi garam



**Gambar A.2** Penampang Horizontal Akrilik dan Membran




**Gambar A.3** Alat Uji Desalinasi

# APPENDIKS B

# METODE ANALISA

## B.1. Water Content dan Porositas

**Tabel B.1** Hasil uji water content dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

| Water Content | | | | Porositas (ε) (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Sampel** | **Berat Basah** | **Berat Kering** | **X (%)** | |
| 0% | 0.025 | 0.0067 | 73.20 | 77.59 |
| 0.01% | 0.0391 | 0.0066 | 83.25 | 86.30 |
| 0.02% | 0.0412 | 0.0069 | 83.25 | 86.31 |
| 0.03% | 0.0580 | 0.0097 | 83.28 | 86.33 |
| 0.05% | 0.0360 | 0.0060 | 83.33 | 86.37 |
| 0.07% | 0.0442 | 0.0067 | 84.84 | 87.65 |

**Tabel B.2** Hasil uji water content dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$

| Water Content | | | | Porositas (ε) (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Sampel** | **Berat Basah** | **Berat Kering** | **X (%)** | |
| 0% | 0.025 | 0.0067 | 73.20 | 77.59 |
| 0.01% | 0.0586 | 0.0107 | 81.74 | 85.02 |
| 0.02% | 0.0663 | 0.0121 | 81.75 | 85.03 |
| 0.03% | 0.0567 | 0.0119 | 79.01 | 82.68 |
| 0.05% | 0.0470 | 0.0102 | 78.30 | 82.06 |
| 0.07% | 0.0705 | 0.0140 | 80.14 | 83.65 |

**Tabel B.3** Hasil uji water content dan porositas membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT

| Water Content | | | | Porositas (ε) (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Sampel** | **Berat Basah** | **Berat Kering** | **X (%)** | |
| 0/0 | 0.025 | 0.0067 | 73.20 | 77.59 |
| 100/0 | 0.044 | 0.0075 | 83.06 | 86.14 |
| 70/30 | 0.046 | 0.0070 | 84.62 | 87.46 |
| 50/50 | 0.043 | 0.0072 | 83.23 | 86.29 |
| 30/70 | 0.058 | 0.0089 | 84.52 | 87.38 |
| 0/100 | 0.044 | 0.0068 | 84.55 | 87.40 |

## B.2. Uji Rijeksi Garam

**Tabel B.4** Hasil uji rijeksi garam membran CA/PEG/PEG-g- GO-$SiO_2$

| Sampel | Kadar Garam | | Rijeksi Garam |
|---|---|---|---|
| | Feed | Permeat | |
| 0% | 1000 | 395.877 | 60% |
| 0.01% | 1000 | 379.382 | 62% |
| 0.02% | 1000 | 329.897 | 67% |
| 0.03% | 1000 | 296.907 | 70% |
| 0.05% | 1000 | 280.413 | 72% |
| 0.07% | 1000 | 412.372 | 58% |

**Tabel B.5** Hasil uji rijeksi garam membran CA/PEG/PEG-g- GO-$TiO_2$

| Sampel | Kadar Garam | | Rijeksi Garam |
|---|---|---|---|
| | Feed | Permeat | |
| 0% | 1000 | 395.877 | 60% |
| 0.01% | 1000 | 313.402 | 68% |
| 0.02% | 1000 | 197.938 | 80% |
| 0.03% | 1000 | 280.413 | 72% |
| 0.05% | 1000 | 296.907 | 70% |
| 0.07% | 1000 | 329.897 | 67% |

**Tabel B.6** Hasil uji rijeksi garam membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT

| Sampel | Kadar Garam | | Rijeksi Garam |
|---|---|---|---|
| | Feed | Permeat | |
| 0/0 | 1000 | 395.877 | 60% |
| 100/0 | 1000 | 412.372 | 58% |
| 70/30 | 1000 | 329.897 | 67% |
| 50/50 | 1000 | 280.413 | 72% |
| 30/70 | 1000 | 346.392 | 65% |
| 0/100 | 1000 | 404.124 | 59% |

## B.3. Uji Fluks Permeat

**Tabel B.7** Hasil uji fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$

| Sampel | Permeat (mL) | Waktu (s) | Fluks Peermeat ($L/m^2$ h) |
|---|---|---|---|
| 0% | 124 | 3900 | 27.25 |
| 0.01% | 360 | 2700 | 114.29 |
| 0.02% | 369 | 2700 | 117.14 |
| 0.03% | 405 | 2700 | 128.57 |
| 0.05% | 423 | 2700 | 134.29 |
| 0.07% | 560 | 2700 | 177.78 |

**Tabel B.8** Hasil uji fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$

| Sampel | Permeat (mL) | Waktu (s) | Fluks Peermeat ($L/m^2$ h) |
|---|---|---|---|
| 0% | 124 | 3900 | 27.25 |
| 0.01% | 197 | 4200 | 40.20 |
| 0.02% | 211 | 4200 | 43.06 |
| 0.03% | 197 | 4200 | 40.20 |
| 0.05% | 168 | 4200 | 34.29 |
| 0.07% | 78 | 1800 | 37.14 |

**Tabel B.9** Hasil uji fluks permeat membran CA/PEG/PEG-g- GO/CNT

| Sampel | Permeat (mL) | Waktu (s) | Fluks Peermeat ($L/m^2$ h) |
|---|---|---|---|
| 0/0 | 124 | 3900 | 27.25 |
| 100/0 | 35 | 3900 | 38.68 |
| 70/30 | 41.5 | 3000 | 48.29 |
| 50/50 | 35.15 | 3000 | 44.86 |
| 30/70 | 37.5 | 3900 | 45.71 |
| 0/100 | 32 | 3900 | 41.10 |

## B.4. Permeabilitas Membran

**Tabel B.10** Hasil uji Permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g- GO-$SiO_2$

| Sampel | $P_{osmotik}$ (kPa) | $P_{operasi}$ (kPa) | Tebal membran (m) | Permeabilitas ($L/m^2.h.kPa$) ($10^{-5}$) |
|---|---|---|---|---|
| 0% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 0.98 |
| 0.01% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 4.13 |
| 0.02% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 4.23 |
| 0.03% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 4.65 |
| 0.05% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 4.86 |
| 0.07% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 6.43 |

**Tabel B.11** Hasil uji Permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g- GO-$TiO_2$

| Sampel | $P_{osmotik}$ (kPa) | $P_{operasi}$ (kPa) | Tebal membran (m) | Permeabilitas ($L/m^2.h.kPa$) ($10^{-5}$) |
|---|---|---|---|---|
| 0% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 0.98 |
| 0.01% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.45 |
| 0.02% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.55 |
| 0.03% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.45 |
| 0.05% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.24 |
| 0.07% | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.34 |

**Tabel B.12** Hasil uji Permeabilitas membran CA/PEG/PEG-g- GO/CNT

| Sampel | $P_{osmotik}$ (kPa) | $P_{operasi}$ (kPa) | Tebal membran (m) | Permeabilitas ($L/m^2.h.kPa$) ($10^{-5}$) |
|---|---|---|---|---|
| 0/0 | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 0.98 |
| 100/0 | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.40 |
| 70/30 | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.74 |
| 50/50 | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.62 |
| 30/70 | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.65 |
| 0/100 | 84.837 | 637.432 | 0,0002 | 1.48 |

# APPENDIKS C

# CARA PERHITUNGAN

## C.1. Perhitungan Water Content dan Porositas

Analisa water content (%X) dan porositas merupakan salah satu analisa yang dilakuakan untuk mengetahui sifat hidrofilisitas dari suatu membrane. Berikut adalah contoh perhitungan water content dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%) atau CA/PEG Murni:

Keterangan :

X% = *water content* (%)

$W_w$ = berat membran basah

$W_d$ = berat membran kering

- Menentukan water content dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%):

$$X\% = \frac{W_w - W_d}{W_w} \text{ x } 100\ \%$$

$$X\% = \frac{0.025-0.0067}{0,025} \text{ x } 100\ \%$$

$$X\% = 73.20\%$$

Berikut adalah contoh perhitungan porositas dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%):

Keterangan :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Densitas Water | = | 0.997 | ($g/cm^3$) |
| Densitas Polimer | | | |
| CA | = | 1.3 | ($g/cm^3$) |
| PEG | = | 1.12 | ($g/cm^3$) |
| 80/20 | = | 1.264 | ($g/cm^3$) |

$W_w$ = berat membran basah

$W_d$ = berat membran kering

$\rho_w$ = densitas *water*

$\rho_p$ = densitas polimer

- Menentukan porositas dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%):

$$\varepsilon = \frac{(W_w - W_d)/\rho_w}{\frac{W_w - W_d}{\rho_w} + \frac{W_d}{\rho_p}} \; x\; 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{(0{,}025 - 0{,}0067)/0{,}997}{\frac{0{,}025 - 0{,}0067}{0{,}997} + \frac{0{,}0067}{1{,}264}} \; x\; 100\%$$

$$\varepsilon = 77{,}59\ \%$$

**C.2. Perhitungan Kadar Air Garam**

- Bahan:
  1. Garam NaCl
  2. Aquades
- **Langkah Kerja:**
  1. Menimbang berat garam NaCl
  2. Melarutkan garam ke dalam aquades
- **Perhitungan**

Kadar Garam

1000 ppm = 1000 mg/L

= 1 g/L

Massa NaCl = 1 gram

Sehingga, untuk membuat kadar garam menjadi 1000 ppm, 1 gram NaCl dilarutkan ke dalam 1 L aquades

**C.3. Perhitungan rijeksi garam**

Hasil uji kinerja rijeksi garam dapat ditentukan dengan argentometri metode Mohr. Berikut adalah contoh langkah perhitungan rijeksi garam membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%) :

- Menentukan konsentrasi NaCl pada *feed*

Volume titran = 0,4125 mL

M $AgNO_3$ = 0,0141 mol/L

BM Cl = 35,45 gr/mol

Volume titran blanko = 0,3 mL

Pengenceran = 500 kali

$V_{sample}$ = 25 mL

Konsentrasi $Cl^-$ dalam ppm:

$$Conc. = \frac{(V_{titran} - V_{blanko}) \times M\ AgNO_3 \times BM\ Cl}{Pengenceran \times V_{sample} \times 1000}$$

$$Conc. = \frac{(0{,}6 - 0{,}3) \times 0{,}0141 \times 35{,}45}{100 \times 25 \times 1000}$$

$$Conc. = 599.814\ ppm$$

Konsentrasi NaCl pada *feed*:

$$Conc. = 599.814 \times 1{,}65$$

$$Conc. = 989.6931\ ppm = 1000\ \text{ppm}$$

- Menentukan konsentrasi NaCl pada membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%):

Volume titran = 0,37 mL

M $AgNO_3$ = 0,0141 mol/L

BM Cl = 35,45 gr/mol

Volume titran blanko = 0,3 mL

Pengenceran = 500 kali

$V_{sample}$ = 25 mL

Konsentrasi $Cl^-$ dalam ppm:

$$Conc. = \frac{(V_{titran} - V_{blanko}) \times M\ AgNO_3 \times BM\ Cl}{Pengenceran \times V_{sample} \times 1000}$$

$$Conc. = \frac{(0{,}42 - 0{,}3) \times 0{,}0141 \times 35{,}45}{500 \times 25 \times 1000}$$

$$Conc. = 239.925\ ppm$$

Konsentrasi NaCl :

$$Conc. = 239.925 \times 1{,}65$$

$$Conc. = 395.877\ ppm$$

- Menentukan % rejeksi garam:

$$\%\ Rejeksi = \frac{Conc.feed - Conc.sampel}{Conc.feed}$$

$$\%\ Rejeksi = \frac{1000 - 395.877}{1000}$$

$$\%\ Rejeksi = 60\ \%$$

**C.4. Perhitungan Fluks Permeat**

Analisa fluks membran diperoleh data luas membran ($m^2$) dan data dari analisis garam yaitu volume garam (mL) dan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan sejumlah volume garam tersebut (sekon). Berikut perhitungan fluks permeat dari ata yang didapat:

$$J = \frac{Q}{A \times t}$$

$$J = \frac{Q\ (liter)}{A\ (m^2) \times t(jam)}$$

Berikut adalah contoh perhitungan dari membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%):

$$J = \frac{124\ /1.000}{42/10000 \times 3900/3600}$$

$$J = 27.25\ {}^{L}/_{m^2.h}$$

**C.5. Perhitungan Tekanan Osmotik**

Untuk 1855,6745 ppm larutan NaCl pada suhu 25$^o$C

NaCl = 1000 ppm

BM NaCl = 58,44 g/mol

Mol = 0.0171 mol

Volume = 1 L

Suhu = 298,15 K

Tetapan gas = 0,082057 L.atm/K.mol

$$P_{os} = \frac{2 \times n \times R \times T}{V}$$

$$P_{os} = \frac{2 \times 1.71 \times 10^{-5} kmol \times 0{,}082 \frac{L.atm}{K.mol} \times 298{,}15\ K}{1L}$$

$$P_{os} = 0.8372\ atm$$

$$P_{os} = 84.83\ kPa$$

**C.5. Perhitungan Anti Fouling**

FRR = Flux Recovery Ratio

Rt = Total fouling

Rir = Irreversible fouling ratio

Rr = Reversible fouling ratio

Contoh perhitungan fouling dari membran CA/PEG Murni :

Diketahui : Jw = Fluks air murni 1 = 20.95 L/m$^2$ h

Jf = Fluks larutan BSA = 11.43 L/m$^2$ h

Jc = Fluks air murni 2 = 12.14 Lm$^2$ h

$$FRR = \frac{Jc}{Jw} \times 100\%$$

$$FRR = \frac{12.14}{20.95} \times 100\%$$

$$FRR = 58\%$$

$$Rt = \left(1 - \frac{Jf}{Jw}\right) \times 100\%$$

$$Rt = \left(1 - \frac{11.43}{20.95}\right) \times 100\%$$

$$Rt = 45.5\%$$

$$Rir = \left(1 - \frac{Jc}{Jw}\right) \times 100\%$$

$$Rir = \left(1 - \frac{12.14}{20.95}\right) \times 100\%$$

$$Rir = 42\%$$

$$Rr = \left(\frac{Jc - Jf}{Jw}\right) \times 100\%$$

$$Rr = \left(\frac{12.14 - 11.43}{20.95}\right) \times 100\%$$

$$Rr = 3.4\%$$

Jadi didapat :

| Membran | FRR | Total Fouling | Irrevesible Fouling | Reversible Fouling |
|---|---|---|---|---|
| CA/PEG Murni | 58.0 % | 45.5% | 42.0% | 3.4% |

**C.6. Permeabilitas Membran**

Pada uji kinerja, diperoleh tekanan operasi membran dan dapat menghitung tekanan osmotik dari *feed* air garam sehingga nilai dari permeabilitas membran dapat ditentukan.

Persamaan untuk menghitung permeabilitas membran adalah:

$$P_m = \frac{J}{\Delta P} \times \Delta z$$

Dimana: J = Fluks Permeat (L/m$^2$.h)

ΔP = Selisih tekanan operasi dan osmotik (kPa)

Δz = Tebal membran (m)

Contoh perhitungan permeabilitas untuk membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$ (variabel 0%):

Dimana: J = 27.25 (L/m$^2$.h)

P operasi = 637.432 kPa

P osmotik = 84.83 kPa

Δz = 0,0002 (m)

Maka,

$$P_m = \frac{27.25\ \frac{L}{m^2.h}}{(637.432 - 84.83)\ kPa} \times 0{,}0002\ m$$

$$P_m = 0.98 \times 10^{-5} \frac{L}{m^2.h.kPa}$$

## C.7. Perhitungan Hansen Solubility Parameter

Parameter kelarutan digunakan untuk menentukan kelarutan polimer tertentu. Representasi parameter kelarutan yang dikembangkan oleh Hansen adalah dispersi (δd), polar (δp) dan ikatan hidrogen (δh) (Hansen C, 2007). Untuk mengetahui interaksi antara *non-solvent-solvent* dan *polymer-non-solvent* dapat dilihat dari hasil perbedaan parameter kelarutan antara *non solvent - solvent* (Δδ (ns-s)) dan *polymer - non-solvent*. pelarut (Δδ (p -ns)).

**Tabel C.1.** *Hansen solubility parameter* dari *non-solvent, solvent* dan polimer

| | $\delta_d$ | $\delta_p$ | $\delta_h$ | $\delta_{sp}$ |
|---|---|---|---|---|
| *Water* | 15,5 | 16 | 42,4 | 47.9 |
| IPA | 15.8 | 6.1 | 16.4 | 23.6 |
| Methanol | 15,1 | 12,3 | 22,3 | 29,6 |
| DMF | 17,4 | 13,7 | 11,3 | 24,9 |
| CA | 16,9 | 16,3 | 3,7 | 23,8 |
| PEG | 16,8 | 10,2 | 8,6 | 21,5 |

**Tabel C.2.** Perbedaan *solubility parameter non-solvent-solvent* dan polimer-*non-solvent*

| Polimer | Solvent | Non-Solvent | $\Delta\delta_{(ns-s)}$ | $\Delta\delta_{(p-ns)}$ |
|---|---|---|---|---|
| CA-PEG | DMF | *Water* | 31,2428 | 37,7564 |
| CA-PEG | DMF | IPA | 9,2914 | 14,8042 |
| CA-PEG | DMF | Methanol | 11,3248 | 17,9266 |
| CA-PEG | DMF | IPA- *Water* | 18,3765 | 25,0765 |
| CA-PEG | DMF | Methanol- *Water* | 21,1593 | 27,7307 |

- Cara perhitungan perbedaan parameter kelarutan antara *non-solvent* water terhadap *solvent* DMF (Δδ (ns-s)), data berdasarkan pada **Tabel C.1** :

Keterangan : ns = *nonsolvent*

s = solvent

**Tabel C.3.** *Hansen solubility parameter* dari CA/PEG 80/20

| Polimer | Fraksi CA | Fraksi PEG | δd | δp | δh |
|---|---|---|---|---|---|
| CA/PEG | 0.8 | 0.2 | 16.88 | 15.08 | 4.68 |

$$\Delta\delta_{ns-s} = \sqrt{\left(\delta_{d,ns} - \delta_{d,s}\right)^2 + \left(\delta_{p,ns} - \delta_{p,s}\right)^2 + \left(\delta_{h,ns} - \delta_{h,s}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(15{,}5 - 17{,}4)^2 + (16 - 13{,}7)^2 + (42{,}4 - 11{,}3)^2}$$

$$= 31{,}2428$$

- Cara perhitungan perbedaan parameter kelarutan antara polimer CA/PEG terhadap *non-solvent water* (Δδ (p-ns)), data berdasarkan pada **Tabel C.1** dan **Tabel C.3**:

  Keterangan : ns = *nonsolvent*

  s = solvent

$$\Delta\delta_{p-ns} = \sqrt{\left(\delta_{d,p} - \delta_{d,ns}\right)^2 + \left(\delta_{p,p} - \delta_{p,ns}\right)^2 + \left(\delta_{h,p} - \delta_{h,ns}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(16{,}88 - 15{,}5)^2 + (15{,}08 - 16)^2 + (4{,}68 - 42{,}4)^2}$$

$$= 37{,}7564$$

## C.8. Perhitungan Koefisien Difusi

**Tabel C.4.** Volume molar, densitas dan boiling point pada *non-solvent*, *solvent* dan polimer

| | V ($cm^3$/mol) | Densitas ($g/cm^3$) | Tb ($^0$C) |
|---|---|---|---|
| *Water* | 18 | 0.997 | 100 |
| IPA | 76.8 | 0.781 | 82 |
| Methanol | 40,7 | 0,7918 | 65 |
| DMF | 77 | 0,95 | 153 |
| CA | - | 1,3 | 210 |
| PEG | - | 1,12 | 290 |

**Tabel C.5.** *Surface tension*, viskositas dan koefisien difusi dari *solvent* dan *non-solvent* (Lua A C dkk, 2013).

| | *Surface Tension* σ (mN/m) | Viskositas η (mPa/s) | $D_{DMF-NS}$ ($10^{-6}$ $cm^2/s$) | $D_{NS-DMF}$ ($10^{-6}$ $cm^2/s$) |
|---|---|---|---|---|
| *Water* | 72,8 | 1 | 9,6462 | 27,0225 |
| IPA | 23 | 2,4 | 4,9810 | 17,1379 |
| Methanol | 22 | 0,59 | 16,9884 | 22,7123 |
| IPA- *water* | 24,26 | 1,7 | 6,2315 | 20,9523 |
| Methanol- *water* | 32,86 | 0,795 | 20,0190 | 24,6379 |
| DMF | 36,4 | 0,802 | *N.A* | *N.A* |

- Cara perhitungan koefisien difusi dari *solvent* DMF terhadap *non-solvent* water $D_{DMF-NS}$ :

  Keterangan :

  A = DMF

  B = *nonsolvent* water

  Data $\eta_B$, VB, VA, $\sigma_B$, $\sigma_A$ di peroleh dari table :

$$D_{AB} = 8{,}93 \text{ x } 10^{-8} \left(\frac{V_B^{0.267}}{V_A^{0.433}}\right) \left(\frac{T}{\eta_B}\right) \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_A}\right)^{0.15}$$

$$D_{DMF-NS} = 8{,}93 \text{ x } 10^{-8} \left(\frac{18^{0.267}}{77^{0.433}}\right) \left(\frac{295{,}15}{1}\right) \left(\frac{72{,}8}{36{,}4}\right)^{0.15}$$

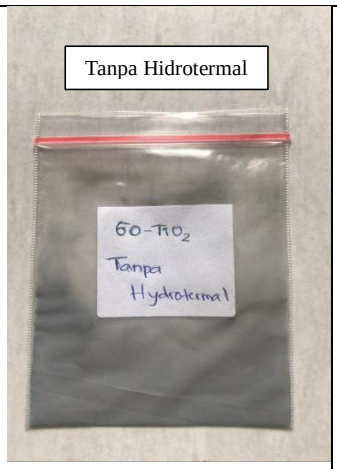
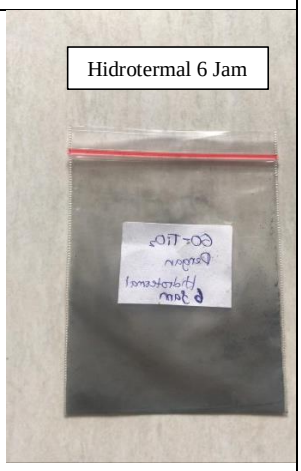
$$D_{DMF-NS} = 9{,}6462$$

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# Lampiran Foto Hasil

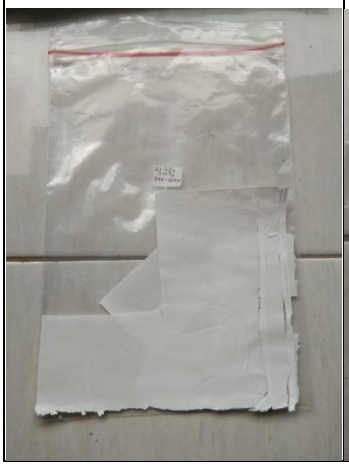
- **Nanopartikel**

| PEG-g-GO | CNT Fungsionalisasi |
|---|---|
| | |

| PEG-g-GO-$SiO_2$ | PEG-g-GO-$TiO_2$ | |
|---|---|---|
| |   |   |

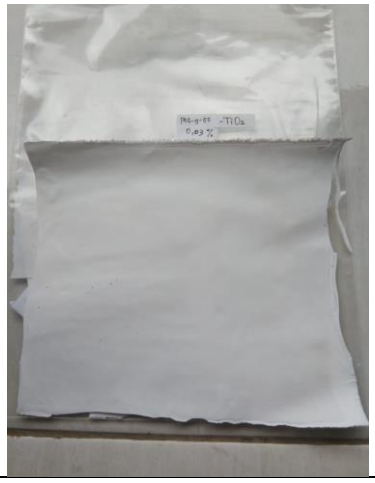
- **Membran CA/PEG Murni**

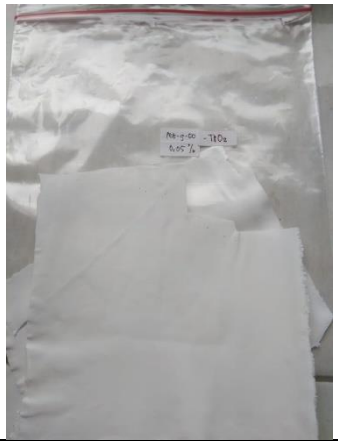
- **Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$SiO_2$**

| **PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.01%** | **PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.02%** | **PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.03%** |
|---|---|---|
|  | | |

| PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.05% | PEG-g-GO-$SiO_2$ 0.07% |
|---|---|
| | |

- **Membran CA/PEG/PEG-g-GO-$TiO_2$**

| PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.01% | PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.02% | PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.03% |
|---|---|---|
| | |  |

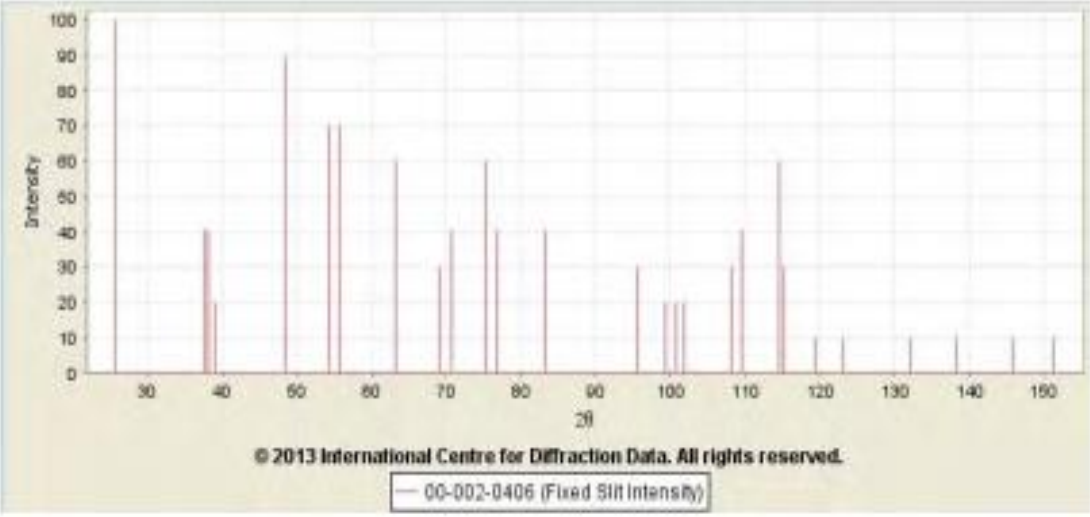
| PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.05% | PEG-g-GO-$TiO_2$ 0.07% |
|---|---|
|  | |

- **Membran CA/PEG/PEG-g-GO/CNT**

| PEG-g-GO/CNT 0/100 | PEG-g-GO/CNT 30/70 | PEG-g-GO/CNT 50/50 |
|---|---|---|
| | | |

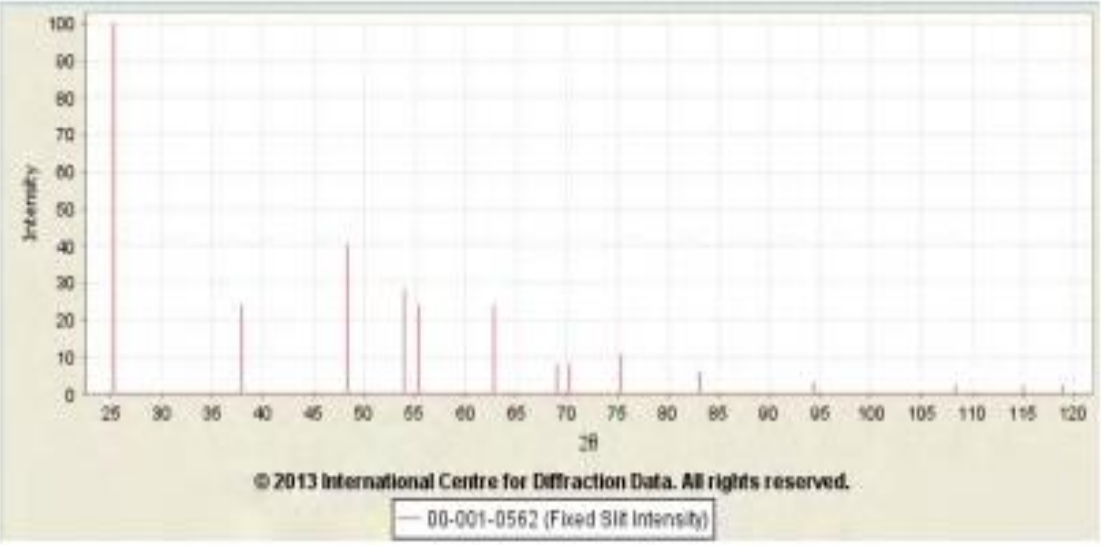
| PEG-g-GO/CNT 70/30 | PEG-g-GO/CNT 100/0 |
| --- | --- |
| | |

# $TiO_2$ Fase *Anatase* (JCPDS 21-1272)




| 2θ | d(Å) | Intensity | h | k | l |
|---|---|---|---|---|---|
| 25.6510 | 3.470000 | 100 | 1 | 0 | 1 |
| 37.6033 | 2.390000 | 40 | 0 | 0 | 4 |
| 38.2680 | 2.350000 | 40 | | | |
| 38.9572 | 2.310000 | 20 | 1 | 1 | 2 |
| 48.3749 | 1.880000 | 90 | 2 | 0 | 0 |
| 54.2312 | 1.690000 | 70 | 1 | 0 | 5 |
| 55.6583 | 1.650000 | 70 | 2 | 1 | 1 |
| 63.2019 | 1.470000 | 60 | 2 | 0 | 4 |
| 68.9967 | 1.360000 | 30 | 1 | 1 | 6 |
| 70.7827 | 1.330000 | 40 | 2 | 2 | 0 |
| 75.3719 | 1.260000 | 60 | 2 | 1 | 5 |
| 76.8067 | 1.240000 | 40 | | | |
| 83.2166 | 1.160000 | 40 | 3 | 1 | 2 |
| 95.5743 | 1.040000 | 30 | 3 | 2 | 1 |
| 99.3974 | 1.010000 | 20 | | | |

# $TiO_2$ Fase *Anatase* (JCPDS 04-0551)




| 2θ | d(Å) | Intensity | h | k | l |
|---|---|---|---|---|---|
| 25.2806 | 3.520000 | 100 | 1 | 0 | 1 |
| 37.9327 | 2.370000 | 24 | 1 | 0 | 3 |
| 48.3749 | 1.880000 | 40 | 2 | 0 | 0 |
| 53.8863 | 1.700000 | 28 | 1 | 0 | 5 |
| 55.2942 | 1.660000 | 24 | | | |
| 62.7262 | 1.480000 | 24 | 2 | 1 | 3 |
| 68.9967 | 1.360000 | 8 | 1 | 1 | 6 |
| 70.1763 | 1.340000 | 8 | | | |
| 75.3719 | 1.260000 | 11 | 1 | 0 | 7 |
| 83.2166 | 1.160000 | 6 | 3 | 0 | 3 |
| 94.3781 | 1.050000 | 3 | 3 | 1 | 4 |
| 108.3525 | 0.950000 | 2 | 3 | 1 | 6 |
| 115.0616 | 0.913000 | 2 | 4 | 0 | 2 |
| 118.9958 | 0.894000 | 2 | 4 | 1 | 1 |

# BIODATA PENULIS

**Arnesya Ramadhani**, putri kedua dari dua bersaudara. Lahir di Ketapang, 27 Januari 1996. Mulai mengenyam pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 07 Ketapang, KALBAR (2001-2007), Sekolah Menengah Pertama Negeri 03 Ketapang, KALBAR (2007-2010), Sekolah Menengah Atas Negeri 02 Mranggen (2010-2013). Pada jenjang perkuliahan, telah menyelesaikan pendidikan Diploma III Teknik Kimia Universitas Diponegoro (2013-2016), telah menyelesaikan sarjananya di Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Program Lintas Jalur Genap (2017-2019) dan telah menyelesaikan program magister di Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2019-2021). Pada tahun 2018, menyelesaikan skripsi dengan judul "Sintesa Membran *Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol* (CA/PEG) dengan Penambahan *Carbon Nanotube* (CNT), dan sekarang telah selesai mengerjakan tesis dengan judul "Modifikasi Membran *Cellulose Acetate/Polyethylene Glycol (CA/PEG)* dengan Penambahan Nanopartikel PEG-g-GO-$SiO_2$, PEG-g-GO-$TiO_2$, dan PEG-g-GO/CNT untuk Proses Desalinasi.

Email : arnesyaramadhai6@gmail.com