

**STUDI PENGARUH KONDISI *DIP-COATING* TERHADAP PENINGKATAN  
PERFORMA MEMBRAN KOMPOSIT SILIKA HIDROFOBİK UNTUK  
PEMISAHAN MINYAK-AIR**

**SKRIPSI  
TEKNIK KIMIA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**HARRYSON MARTUA MANIK  
NIM 175061100111027**

**ALBERT RANDA  
NIM 175061107111013**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG**

**2021**





**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI PENGARUH KONDISI *DIP-COATING* TERHADAP PENINGKATAN  
PERFORMA MEMBRAN KOMPOSIT SILIKA HIDROFOBİK UNTUK  
PEMISAHAN MINYAK-AIR**

**SKRIPSI**

**TEKNIK KIMIA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**HARRYSON MARTUA MANIK**

**NIM 175061100111027**

**ALBERT RANDA**

**NIM 175061107111013**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 19 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, MS  
NIP. 196001261986031001

Dosen Pembimbing II

Supriyono, ST., MT.  
NIK. 2016079104251001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D  
NIP. 196706021998021001

**IDENTITAS DOSEN PENGUJI**

**Judul Skripsi** : **STUDI PENGARUH KONDISI DIP-COATING TERHADAP PENINGKATAN PERFORMA MEMBRAN KOMPOSIT SILIKA HIDROFOBİK UNTUK PEMISAHAN MINYAK-AIR**

**Nama Mahasiswa/NIM** : 1. Harryson Martua Manik / 175061100111027  
 2. Albert Randa / 175061107111013

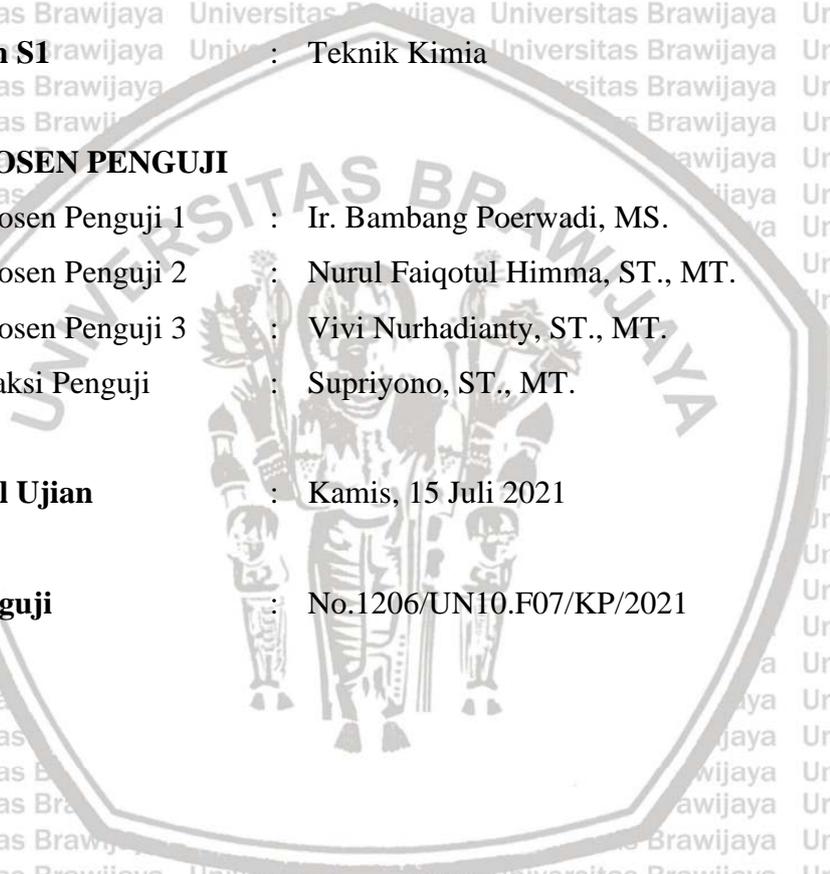
**Jurusan S1** : Teknik Kimia

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Poerwadi, MS.  
 Dosen Penguji 2 : Nurul Faiqotul Himma, ST., MT.  
 Dosen Penguji 3 : Vivi Nurhadianty, ST., MT.  
 Saksi Penguji : Supriyono, ST., MT.

**Tanggal Ujian** : Kamis, 15 Juli 2021

**SK Penguji** : No.1206/UN10.F07/KP/2021



**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Juli 2021

Mahasiswa,



Harryson Martua Manik

175061100111027



UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 21/UN10.F07.18/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

**HARRYSON MARTUA MANIK**

Dengan Judul Skripsi :

**Studi Pengaruh Kondisi Dip-coating Terhadap Peningkatan Performa Membran Komposit Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Minyak-Air ( *Study of the Effect of Dip-coating Conditions on the Performance Improvement of Hydrophobic Silica Composite Membrane for Oil-Water Separation* )**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 21 Juli 2021



Dr. Noh Salsudin, M.T., Ph.D

NIP. 19670602 199802 1 001

**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Juli 2021

Mahasiswa,



Albert Randa

175061107111013



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM SARJANA**



## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : **21/UN10.F07.13/PP/2021**

Sertifikat ini diberikan kepada :

**ALBERT RANDA**

Dengan Judul Skripsi :

**Studi Pengaruh Kondisi Dip-coating Terhadap Peningkatan Performa Membran Komposit Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Minyak-Air ( *Study of the Effect of Dip-coating Conditions on the Performance Improvement of Hydrophobic Silica Composite Membrane for Oil-Water Separation* )**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 21 Juli 2021

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Ir. Moh. Sholichin, M.T., Ph.D

NIP. 196706021998021001



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:  
Ayahanda, Ibunda, kakak, adik, dan teman-teman tercinta*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusunan naskah skripsi yang berjudul Studi Pengaruh Kondisi

*Dip-coating* Terhadap Peningkatan Performa Membran Komposit Silika Hidrofobik Untuk Pemisahan Minyak dan Air. Naskah skripsi ini kami ajukan sebagai bentuk pemenuhan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik. Dalam penyusunan laporan ini kami mengucapkan terimakasih atas doa dan bimbingannya kepada:

1. Kedua Orang Tua, kakak-kakak dan adik-adik kami yang telah memberikan segala yang terbaik, motivasi, materi tanpa pamrih, dan tidak pernah penulis lupakan atas jasa-jasanya.
2. Bapak Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Bambang Poerwadi, MS., selaku pembimbing utama kami
4. Bapak Supriyono, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua kami
5. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya serta seluruh rekan-rekan kami yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, namun telah membantu kami dalam menyelesaikan naskah skripsi ini.

Kami berharap naskah skripsi yang telah kami susun ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca dalam meningkatkan pengetahuan atau wawasan. Kami juga sadar bahwa pada naskah skripsi ini masih banyak sekali terdapat kekurangan serta jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kami juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Malang, 18 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

**KATA PENGANTAR**.....1

**DAFTAR ISI**.....ii

**DAFTAR TABEL**.....v

**DAFTAR GAMBAR**.....vi

**BAB I PENDAHULUAN**.....1

    1.1. Latar Belakang.....1

    1.2. Rumusan Masalah.....3

    1.3. Pembatasan Masalah.....3

    1.4. Tujuan.....3

    1.5. Manfaat Penelitian.....3

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**.....5

    2.1. Kelapa Sawit.....5

        2.1.1. *Crude Palm Oil* (CPO).....7

    2.2. Teknologi Membran.....8

        2.2.1. Membran Hidrofobik.....11

        2.2.2. Membran Komposit.....13

            2.2.2.1. Natrium Silikat.....14

            2.2.2.2. *Surface Modifying Agent*.....15

        2.2.3. Fabrikasi Membran Komposit Hidrofobik.....16

            2.2.3.1. Proses Sol-Gel.....17

            2.2.3.2. Proses Modifikasi Gel.....19

            2.2.3.3. Proses Pelapisan.....20

                2.2.3.3.1. *Dip-Coating*.....20

                2.2.3.3.2. *Spray Coating*.....22

                2.2.3.3.3. *Spin Coating*.....23

            2.2.3.4. Proses Pengeringan Gel Termodifikasi.....23

            2.2.3.5. Pengaruh Waktu Pelapisan.....24

    2.3. Penelitian Terdahulu.....25

**BAB III METODE PENELITIAN**.....27

    3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....27

        3.1.1. Waktu Penelitian.....27

        3.2.1. Lokasi Penelitian.....27

    3.2. Rancangan Penelitian.....27

        3.2.1. Variabel Tetap.....27





3.2.2. Variabel Bebas .....	27
3.2.3. Variabel Terikat.....	28
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.3.1. Alat.....	28
3.3.2. Bahan.....	28
3.4. Prosedur Penelitian .....	29
3.4.1. Skema Penelitian.....	29
3.4.2. Pembuatan Membran Komposit.....	30
3.4.2.1. <i>Pretreatment</i> Media Kain Katun.....	30
3.4.2.2. Pembuatan Larutan Sol Silika.....	32
3.4.2.3. Preparasi Silika Hidrofobik.....	33
3.4.2.4. Pelapisan Silika Hidrofobik dengan Kain Katun.....	35
3.4.3. Karakterisasi Membran Komposit Silika Hidrofobik.....	36
3.4.3.1. Uji Hidrofobitas Permukaan Membran.....	36
3.4.3.2. Analisa Morfologi Permukaan Dan Ketebalan Membran Komposit.....	37
3.4.4. Uji Pemisahan Campuran Minyak-Air.....	37
3.4.4.1. Uji Fluks Membran Komposit.....	39
3.4.4.2. Uji Selektivitas Membran Komposit.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1. Pengaruh Porsen Berat Gel Silika Hidrofobik dengan Pendispersi Terhadap Hidrofobitas Membran Komposit Silika Hidrofobik.....	43
4.2. Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Hidrofobitas Membran Komposit Silika Hidrofobik.....	45
4.3. Uji Performa Membran Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Campuran Minyak dan Air.....	47
4.3.1. Uji Performa Fluks Membran Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Campuran Minyak dan Air.....	47
4.3.2. Uji Performa Selektivitas Membran Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Campuran Minyak dan Air.....	49
4.4. Analisa Permukaan Membran Komposit Silika Hidrofobik dengan Uji SEM.....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	53
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>
LAMPIRAN A. DATA DAN PERHITUNGAN.....	61
LAMPIRAN A.1. HASIL PENGUJIAN SUDUT KONTAK.....	61

LAMPIRAN A.2. DATA FLUKS ..... 66

LAMPIRAN A.3. DATA SELEKTIVITAS ..... 68

LAMPIRAN A.3.1. DATA PENGUJIAN KADAR AIR ..... 68

LAMPIRAN A.3.2. DATA PENGUJIAN SELEKTIVITAS ..... 73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Mutu pada *Crude Palm Oil*.....7

Tabel 2.2 Energi Permukaan pada Berbagai Jenis Material.....11

Tabel 4.1 Sudut Kontak pada Variabel Waktu Perendaman dan Komposisi Berat Gel Silika Hidrofobik Terhadap Pendispersi.....43

Tabel 4.2 Data fluks membran silika hidrofobik.....47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pemisahan Pada Membran.....7

Gambar 2.2 Mekanisme Pemisahan Dengan Membran.....8

Gambar 2.3 Struktur Molekular Natrium Silikat.....14

Gambar 2.4 Struktur Molekular TEOS.....14

Gambar 2.5 Ilustrasi Skematik Pendekatan *Top-down* dan *Bottom-up* Dalam Fabrikasi atau Sintesis Nanopartikel.....16

Gambar 2.6 Skema Proses Sol-gel Beserta Produknya.....17

Gambar 2.7 Mekanisme Reaksi Hidrolisis.....18

Gambar 2.8 Mekanisme Reaksi Kondensasi.....18

Gambar 2.9 Skema Mekanisme *Dip-Coating*.....21

Gambar 2.10 Skema Proses Teknik *Spray Coating*.....22

Gambar 3.1 Skema Penelitian.....28

Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Larutan Alkali.....30

Gambar 3.3 Diagram Alir Proses *Pretreatment* Kain Katun.....31

Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Pembuatan Larutan Sol Silika.....32

Gambar 3.5 Diagram Alir Proses Preparasi Silika Hidrofobik.....33

Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Pelapisan Silika Hidrofobik dengan Kain Katun.....35

Gambar 3.7 Diagram Alir Pengujian Hidrofobitas Permukaan Membran.....36

Gambar 3.8 Rangkaian Modul Membran dalam Pemisahan Campuran Minyak-Air.....37

Gambar 3.9 Diagram Alir Uji Pemisahan Campuran Minyak-Air.....38

Gambar 3.10 Diagram Alir Pengujian Kadar Air Permeat.....39

Gambar 4.1 Hubungan antara komposisi gel silika terhadap pendispersi dan waktu perendaman dengan sudut kontak membran.....44

Gambar 4.2 Fluks membran terhadap waktu perendaman.....48

Gambar 4.3 Selektivitas membran pada komposisi gel silika 1%.....50

Gambar 4.4 Selektivitas membran pada komposisi gel silika 1,4%.....51

Gambar 4.5 Selektivitas membran pada komposisi gel silika 1,8%.....51

Gambar 4.6 Hasil pengujian SEM pada permukaan kain katun.....54



## RINGKASAN

Proses pemurnian *crude palm oil* (CPO) pada industri minyak kelapa sawit saat ini masih memerlukan waktu operasi yang lama serta energi yang besar. Sehingga diperlukan metode alternatif berupa pemisahan dengan menggunakan teknologi membran. Membran komposit merupakan gabungan atau kombinasi dari dua atau lebih lapisan polimer yang dapat menjadi salah satu solusi untuk pemisahan pada industri minyak kelapa sawit. Salah satu lapisan polimer dari membran komposit yang sering digunakan adalah aerogel silika (Aergterter, 2011). Pada umumnya aerogel silika tidak memiliki sifat hidrofobik, sehingga diperlukan modifikasi aerogel silika dengan menggunakan agen pemodifikasi untuk meningkatkan hidrofobisitasnya sehingga dapat digunakan untuk memisahkan air pada proses pemurnian.

Pada penelitian ini, aerogel silika hidrofobik dibuat dengan menggunakan prekursor berupa *waterglass* dengan agen pemodifikasi berupa *tetraethyl orthosilicate* (TEOS). Variabel yang ditinjau pada penelitian ini meliputi waktu perendaman pada proses *dip-coating* dengan lama waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit; dan juga komposisi gel silika hidrofobik terhadap pendispersi sebesar 1%, 1,4%, dan 1,8%. Karakter aerogel silika yang dihasilkan akan dilihat berdasarkan nilai sudut kontak permukaannya, yang kemudian akan digunakan untuk uji performa pada pemisahan minyak dan air. Performa dilihat berdasarkan fluks minyak dan selektivitas yang dihasilkan selama 60 menit proses pemisahan. Pada pengujian variabel lama waktu perendaman, sudut kontak aerogel silika meningkat dari lama waktu 5 menit hingga 20 menit. Pada pengujian variabel komposisi gel silika hidrofobik terhadap pendispersi, sudut kontak aerogel silika meningkat pada komposisi 1%, 1,4%, dan 1,8%. Nilai sudut kontak tertinggi yang dihasilkan sebesar  $171,813^\circ$  pada waktu perendaman 20 menit dan komposisi gel silika 1,8%. Pada pengujian pemisahan minyak dan air, performa terbaik diperoleh pada waktu perendaman 15 menit dan komposisi gel silika 1,8% dengan fluks minyak sebesar  $276,06 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$  dan selektivitas sebesar 98,72%.

Kata kunci : Aerogel silika, Hidrofobik, Komposisi gel silika, Membran komposit, Waktu perendaman.

## SUMMARY

The current purification process of crude palm oil (CPO) in the palm oil industry is still having some disadvantages, such as a long operating time and requires higher energy inputs. Hence, an alternative method of purification is needed. Composite membranes consist of two or more of different polymers which can be used for purification process in the palm oil industry. One of the most commonly used polymers for composite membranes is silica aerogels (Aergerter, 2011). Silica aerogels mostly are not hydrophobic. Therefore, a modification process on the surface of silica aerogels to render it's hydrophobic is needed, so it can be used for water separation on purification process.

In this study, hydrophobic silica aerogels were made by *waterglass* as its precursor and *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) as its surface modification agent. Immersion time of cotton fabric in dip-coating process were run at different times which are 5, 10, 15, and 20 minutes; and diluted silica gel were run at different concentration which are 1%, 1,4%, and 1,8% (w/w). The contact angle of the silica composite membranes reaches the highest 171,813° when the immersion time is 20 minutes and diluted silica gel concentration is 1,8%. The composite membranes' optimal performance for oil-water separation occurred at 15 minutes of immersion time and 1,8% concentration of diluted silica gel, which achieved permeate flux of 276,06 L/m<sup>2</sup>.h and 98,72% water rejection.

Keywords : Composite membrane, Hydrophobic, Immersion time, Silica aerogel, Silica aerogel concentration



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu produsen dan eksportir minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Berdasarkan data yang diperoleh dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2019 mencapai 51,8 juta ton atau sekitar 9% lebih tinggi dibandingkan produksi pada tahun 2018. Adapun volume ekspor produk sawit pada tahun 2019 mencapai 35,7 juta ton dimana mengalami peningkatan sebesar 4% dibandingkan tahun 2018. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa permintaan dunia akan minyak kelapa sawit menunjukkan kecenderungan meningkat sejalan dengan jumlah populasi dunia yang bertumbuh.

Pada industri minyak kelapa sawit, *crude palm oil* sebelumnya akan melewati proses pemurnian/pembersihan yang bertujuan untuk memisahkan minyak dan air, sehingga kemudian diperoleh minyak dengan kualitas sebaik mungkin (Pahan, 2008). Menurut Amri (2018), pada akhir proses pemurnian minyak akan didapatkan minyak dengan kadar air berkisar 0,4% hingga 0,6%. Pada proses pemurnian *crude palm oil* pada *continuous settling tank* (CST) yang mengandalkan gaya gravitasi memiliki beberapa kelemahan utama seperti waktu retensi yang lama berkisar 1-5 jam dan memerlukan energi yang besar untuk mencapai suhu operasi sebesar 80-95°C (Lai dkk., 2012). Sehingga, karena kelemahan-kelemahan diperlukan alternatif lain dalam pemurnian *crude palm oil* yang dapat menggantikan metode ini dengan metode lain yang lebih cepat dan ekonomis. Menurut Padaki dkk (2014) teknologi pemisahan membran merupakan solusi yang menjanjikan dalam pemisahan campuran minyak dan air.

Membran hidrofobik sedang berkembang sebagai membran pemisahan cairan yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam pemisahan campuran minyak-air, dan pemurnian biodiesel. Saat ini telah berkembang penelitian tentang pemanfaatan membran polimer alam sebagai membran yaitu membran selulosa atau turunannya, namun membran alam berbahan selulosa memiliki beberapa kelemahan yaitu sensitif terhadap suhu dan stabilitas kimianya yang kurang baik. Sehingga untuk mengatasi masalah ini, diperlukan membran polimer alternatif yaitu membran silika yang memiliki kelebihan stabilitas termal,

kimia dan struktural yang baik serta struktur seperti ukuran pori dapat disesuaikan dengan mengontrol metode dan kondisi fabrikasi (Korotcenkov, 2016). Sehingga, membran polimer yang dapat menjadi alternatif dalam pemisahan campuran minyak-air adalah membran silika aerogel yang merupakan material padatan ultrapori yang memiliki volume pori yang besar dengan porositas pada rentang 80-99% dan luas permukaan berkisar  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  (Pan dan Gong, 2011). Membran komposit silika aerogel dapat difabrikasi dengan menggunakan bahan utama larutan prekursor sebagai sumber silika untuk pembuatan sol. Partikel silika kemudian didepositkan pada lapisan penyangga atau *support* seperti kain katun dengan metode *dip-coating* hingga membentuk lapisan selektif gel silika. Permukaan lapisan selektif kemudian dimodifikasi melalui proses sililasi dengan menggunakan agen pemodifikasi permukaan untuk meningkatkan sifat hidrofobitasnya (Aergerter dkk., 2011).

Menurut Han dkk. (2017), salah satu faktor yang mempengaruhi performa membran dalam proses pemisahan adalah ketebalan membran. Dimana semakin tebal suatu membran komposit, maka resistensi transfer massa membran tersebut akan semakin besar sehingga menyebabkan penurunan fluks membran. Selain itu, untuk meningkatkan performa membran hidrofobik, telah banyak dikembangkan metode untuk meningkatkan hidrofobitas membran. Dimana, hidrofobitas membran sangat berkaitan dengan distribusi partikel hidrofobik (Safitri dan Aritonang, 2019).

Penelitian yang telah dilakukan adalah sintesis membran hidrofobik silika aerogel untuk pemisahan campuran minyak-air. Penelitian ini mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Hardo Triwahyu Septiadi dan Muhammad Ichya Yuniardi (2019) yang telah berhasil membuat lapisan silika aerogel hidrofobik dengan bahan baku natrium silikat dan prekursor *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) dan sumber air *deionized water* pada rasio 1:2 dengan media kain katun menggunakan metode sol-gel. Uji sudut kontak dilakukan untuk mengetahui hidrofobitas dari membran silika aerogel dan didapatkan nilai sudut kontak tertinggi sebesar  $158,068^\circ$  dengan jumlah pelapisan sebanyak 3 kali. Pada penelitian ini juga diperoleh fluks pemisahan campuran minyak-air sebesar  $319,99 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam})$  pada laju alir umpan  $15 \text{ mL}/\text{menit}$  dan selektivitas pada rentang  $97,744\%$  hingga  $99,197\%$ . Namun pada penelitian ini, tidak dijelaskan pengaruh waktu pencelupan atau *dip time* lapisan penyangga ke dalam sol silika dalam proses *coating* pada performa membran yang dihasilkan. Menurut Guan dkk. (2017) membran komposit yang

difabrikasi dengan waktu pencelupan yang berbeda dapat menghasilkan ketebalan membran komposit dan fluks pemisahan yang berbeda.

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka penelitian ini akan membahas tentang pengaruh dari waktu pencelupan dan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  terhadap peningkatan fluks dan selektivitas membran komposit yang dihasilkan dalam proses pemisahan campuran minyak-air.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu pencelupan dan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  pada proses *dip-coating* terhadap peningkatan performa membran komposit silika hidrofobik?
2. Bagaimana performa optimum pada membran komposit silika hidrofobik untuk pemisahan minyak-air?

## 1.3. Pembatasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian ini adalah:

1. Proses sililasi menggunakan rasio volume larutan TEOS dan n-heksana sebesar 1:2
2. Uji pemisahan campuran minyak-air dilakukan pada tekanan atmosferik
3. Persen massa minyak dalam campuran minyak-air sebesar 76% (w/w)
4. Minyak goreng merk *Sunco* sebagai pengganti CPO
5. Penyangga membran yang digunakan adalah kain katun dengan merek *Toyobo*

## 1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh waktu pencelupan dan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  pada proses *dip-coating* terhadap peningkatan performa membran komposit silika hidrofobik
2. Optimasi performa pada membran komposit silika hidrofobik untuk pemisahan campuran minyak-air

## 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi upaya peningkatan performa (fluks dan selektivitas) pemisahan campuran minyak-air berbasis membran.



*Halaman ini sengaja dikosongkan.*



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu dari tanaman yang menghasilkan minyak nabati. Komoditas kelapa sawit telah menjadi komoditas perkebunan yang penting dan menjanjikan, karena hasilnya yang berupa minyak kelapa sawit dan inti sawit merupakan bahan baku industri sekaligus bahan ekspor yang sangat penting karena pemanfaatannya yang luas (Setyamidjaja, 2006). Minyak kelapa sawit merupakan salah satu jenis minyak yang paling banyak baik dikonsumsi maupun diproduksi di dunia. Kebanyakan minyak sawit diproduksi di Benua Asia, Afrika, dan Amerika Selatan, yang disebabkan karena pohon kelapa sawit membutuhkan suhu yang hangat, adanya sinar matahari, serta curah hujan yang tinggi untuk memaksimalkan produksinya. Produksi minyak sawit dunia ini didominasi oleh Indonesia dan Malaysia, dimana kedua negara ini dapat menghasilkan hingga 85-90% dari total minyak kelapa sawit dunia. Berdasarkan data dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) produksi minyak kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2019 dapat mencapai angka 51,8 juta ton dan volume ekspor mencapai 35,7 juta ton. Dimana hal ini menjadikan Indonesia sebagai produsen dan eksportir minyak kelapa sawit terbesar di dunia.

Berdasarkan kandungan asam lemaknya, minyak kelapa sawit dapat dikategorikan sebagai golongan asam lemak tak jenuh yaitu oleat dan lenoleat. Minyak kelapa sawit sendiri memiliki panjang rantai sebesar 14 hingga 20 atom karbon serta terdiri atas berbagai trigliserida dengan rantai asam lemak yang berbeda. Sehingga sifat minyak kelapa sawit dapat ditentukan dengan perbandingan dan komposisi trigliserida tersebut. Adapaun mutu minyak kelapa sawit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti faktor lingkungan, faktor genetik, faktor sistem pemanenan, faktor penundaan pengolahan tandan buah segar, dan pengolahan buah sawit (Ruswanto, 2019). Salah satu komponen yang terdapat dalam minyak kelapa sawit adalah karotenoid. Komponen yang paling banyak terkandung dalam karotenoid adalah  $\beta$ -karoten yang menyebabkan minyak kelapa sawit berwarna merah.  $\beta$ -karoten merupakan salah satu senyawa yang mampu memberikan perlindungan oksidatif bagi minyak dan dapat digunakan sebagai penyusun vitamin A (Shahidi, 2005).

Pengolahan buah sawit menjadi CPO dilakukan dalam beberapa tahap yaitu penerimaan tandan buah segar (TBS), perebusan, perontokan, pelumatan, ekstraksi minyak dan klarifikasi (Basiron, 2005).

#### 1. Penerimaan Tandan Buah Segar

Tandan Buah Segar (TBS) akan disimpan dengan hati-hati sehingga tidak terjadi kerusakan pada buah yang dapat menyebabkan turunnya kualitas minyak kelapa sawit yang dihasilkan.

#### 2. Perebusan

Perebusan dilakukan untuk mempertahankan kadar asam lemak bebas (FFA) sehingga perontokan buah menjadi lebih mudah. Dimana perebusan dilakukan dengan bantuan uap pada tekanan  $3 \text{ kg/cm}^2$  dan suhu  $143^\circ\text{C}$  selama kurang lebih 1 jam.

#### 3. Perontokan

Perontokan dilakukan untuk memisahkan buah sawit yang telah direbus sebelumnya dari tandannya. Perontokan dapat dilakukan dengan dua teknik yaitu penggoyangan dengan cepat disertai dengan pemukulan.

#### 4. Ekstraksi Minyak

Ekstraksi minyak dilakukan setelah pengondisian umpun dengan suhu  $95\text{-}100^\circ\text{C}$  selama 20 menit. Ekstraksi minyak biasanya dilakukan dengan mesin pres akan menghasilkan dua kelompok produk berupa campuran antara air, minyak dan padatan serta cake yang mengandung serat.

#### 5. Klarifikasi

Minyak kasar hasil ekstraksi dengan komposisi 66% minyak, 24% air, dan 10% padatan bukan minyak (*non-oily solids*). Kandungan padatannya cukup tinggi menyebabkan dibutuhkan proses pelarutan dengan menggunakan air sehingga terjadi. Minyak pada bagian atas kemudian dilewatkan pada pemurni setrifugal yang disertai oleh pengeringan secara vakum. Kemudian akan didinginkan diumpunkan ke tangki penyimpanan.

Pemurnian CPO umumnya terbagi atas dua metode utama yaitu pemurnian secara fisik dan pemurnian secara kimiawi. Kedua metode pemurnian ini memiliki perbedaan

utama atas cara penghilangan kandungan asam lemak bebasnya (FFA). Kedua metode ini tetap dapat menghasilkan *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) yang memiliki kualitas dan stabilitas yang diinginkan. Adapun metode pemumian fisik merupakan metode pemurnian yang paling umum untuk digunakan pada industri karena sifatnya yang lebih efektif dan efisien (Basiron, 2005).

### 1. Degumming

Proses *degumming* dapat disebut juga proses *pretreatment*. Proses *degumming* ini dimulai dengan penambahan asam fosfat (80-85%) yang bertujuan untuk mengendapkan kandungan fosfatida. Penambahan asam fosfat memiliki perbandingan 0,05-0,2% terhadap CPO, yang kemudian dilanjutkan dengan pemanasan hingga suhu 90-110°C selama kurang lebih 15 hingga 30 menit. Selanjutnya ditambahkan *bleaching earth* pada konsentrasi 0,8%-2% untuk menyerap pengotor seperti logam, air, padatan tidak terlarut dan lain sebagainya. Penambahan *bleaching earth* ini juga dapat memisahkan kandungan asam fosfat yang berlebih pada minyak kelapa sawit.

### 2. Deodorisasi

Pada proses ini minyak dideaerasi dan dipanaskan pada suhu 240-270°C dengan tekanan sebesar 0,003-0,007 kg/cm<sup>2</sup> yang dilakukan dalam unit *heat exchanger*. Pada kondisi ini, kandungan asam lemak bebas yang tersisa dalam minyak setelah dilakukan proses penyaringan akan teruapkan bersamaan dengan bahan-bahan yang memiliki bau tajam dan produk-produk oksidasi berupa aldehid dan keton. Produk-produk oksidasi ini dapat menyebabkan timbulnya rasa dan aroma yang tidak diinginkan dalam minyak. Pada waktu yang sama, karotenoid yang tersisa akan terdekomposisi oleh panas, dan kemudian menghasilkan *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) dengan warna terang dan tidak berasa.

#### 2.1.1. Crude Palm Oil (CPO)

CPO (*Crude Palm Oil*) adalah minyak nabati yang diperoleh dari sabut atau mesocarp buah pohon kelapa sawit yang secara alami memiliki warna kemerah-merahan yang memiliki kandungan beta-karoten yang tinggi. CPO umumnya diperoleh dari hasil proses ekstraksi atau dari proses pengempaan daging buah kelapa sawit dan belum mengalami pemurnian. *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* atau *Olein* adalah produk rafinasi dan fraksinasi dari *Crude Palm Oil* (CPO) yang digunakan sebagai bahan minyak

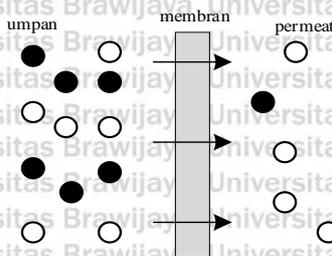
goreng, *shortenings*, maupun margarin (Damarani dkk, 2019). Adapun syarat mutu minyak kelapa sawit dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Syarat Mutu pada *Crude Palm Oil* (CPO)

No	Parameter	Persyaratan	Referensi
1	Asam lemak bebas	Maks. 0,5%	SNI 01-2901-2006
2	Air	Maks. 0,5%	SNI 01-2901-2006
3	Bilangan yodium	50-50 gr yodium/100 gr CPO	SNI 01-2901-2006
4	Warna	Jingga kemerah-merahan	SNI 01-2901-2006

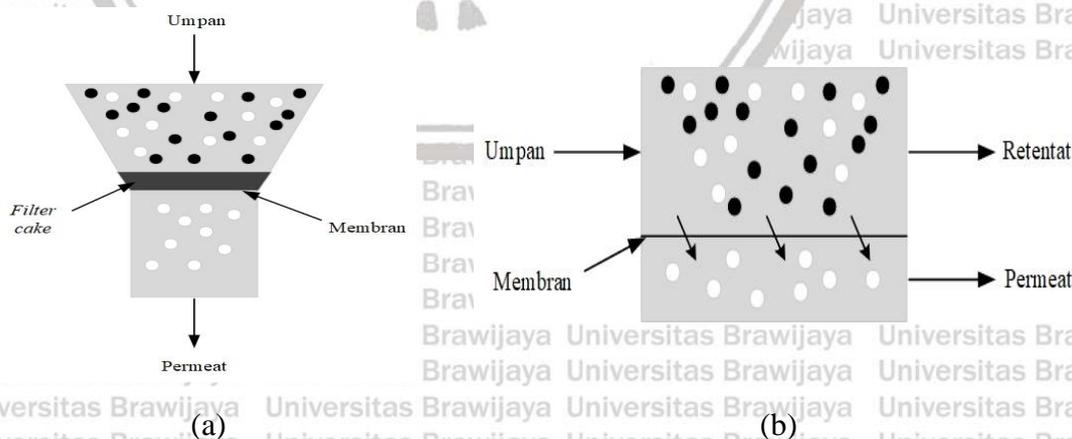
## 2.2. Teknologi Membran

Membran berasal dari istilah latin yaitu *membrana* yang memiliki arti kulit. Membran sendiri dapat didefinisikan sebagai suatu penghalang (*barrier*) yang berfungsi untuk melakukan proses pemisahan komponen-komponen tertentu (Nath, 2008). Proses pemisahan dengan membran dapat dilakukan karena membran memiliki kemampuan untuk memindahkan salah satu komponen lebih cepat dibandingkan dengan komponen lain berdasarkan perbedaan baik sifat fisik maupun kimia dari membran serta komponen yang ingin dipisahkan. Membran akan bertindak sebagai penghalang semipermeabel dan selektif untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran molekuler atau fisik. Partikel dan molekul yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori membran akan mampu melewati membran sebagai permeat. Sedangkan partikel dan molekul yang lebih besar dari ukuran pori membran akan dipertahankan pada permukaan membran (Nurika & Suhartini, 2018). Skema pemisahan membran dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1. Perpindahan yang terjadi pada membran dapat terjadi karena membran memiliki kemampuan untuk memindahkan satu atau lebih komponen yang lebih baik daripada komponen-komponen lain dari campuran umpan. Perpindahan terjadi karena adanya *driving force* atau gaya dorong yang berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, temperatur, dan potensial listrik, yang dinyatakan sebagai laju pemisahan atau separasi yang diatur (Nath, 2008). Teknologi membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan proses lain, diantaranya yaitu *up-scaling* yang mudah, material membran dapat divariasasi atau disesuaikan berdasarkan metode pemisahan, proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*), biaya operasi yang rendah, dan konsumsi energi yang umumnya relatif lebih rendah (Gupta dan Saleh, 2016).



Gambar 2.1. Skema Pemisahan Pada Membran

Pada umumnya membran memiliki dua jenis sistem aliran atau konfigurasi, yaitu aliran *dead-end* dan aliran *cross-flow* yang digambarkan pada Gambar 2.2. Aliran *dead-end* merupakan konfigurasi membran yang paling sederhana dengan biaya operasional yang lebih murah, dimana aliran umpan akan mengarah langsung ke permukaan membran dan partikel atau molekul yang memiliki ukuran lebih besar dibandingkan pori membran akan tertahan di atas permukaan membran, sedangkan aliran permeat atau filtrat akan melewati membran dan jatuh ke arah bawah. Namun, aliran *dead-end* memiliki kelemahan yaitu adanya partikel padatan yang tertahan di atas permukaan membran, sehingga harus dilakukan proses *backwash* untuk menghilangkan partikel padatan atau *cake* yang terbentuk pada permukaan membran yang dapat menurunkan nilai fluks karena pori-pori membran dapat tertutup (*fouling*). Sedangkan pada aliran *cross-flow*, aliran umpan mengarah dari arah atas ke permukaan membran, dan terdapat dua aliran yang melewati membran yaitu sebagai retentat yaitu sebagai umpan yang tidak terfiltrasi dan mengandung partikel padatan, dan permeat yaitu umpan yang telah terfiltrasi. Pada aliran *cross-flow*, partikel padatan atau *cake* yang terbentuk tidak sebesar pada aliran *dead-end*, dimana hal ini disebabkan karena *cake* dipengaruhi oleh gaya geser (Field dkk., 2013).



Gambar 2.2 Mekanisme pemisahan dengan membran menggunakan konfigurasi: (a) *dead-end* dan (b) *cross-flow*.

Sumber: Field dkk., 2013.

Menurut Nasir (2011), kinerja atau efisiensi perpindahan dalam proses pemisahan dengan membran ditentukan oleh dua parameter utama yaitu sebagai berikut,

a. Permeabilitas

Permeabilitas atau biasa disebut dengan fluks merupakan jumlah volume permeat yang melewati suatu satuan permukaan luas membran yang disebabkan karena gaya dorong berupa tekanan, konsentrasi, atau lain sebagainya. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi nilai fluks adalah jumlah dan ukuran pori, interaksi antara permukaan membran dengan umpan, viskositas serta ukuran dari luar. Nilai fluks dapat dihitung dengan persamaan 2.1 dibawah ini (Arahman, 2017).

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (2.1)$$

Dimana:

J = fluks (L/m<sup>2</sup>.jam)

V = volume permeat (Liter)

A = luas permukaan membran yang digunakan (m<sup>2</sup>)

t = waktu filtrasi (jam)

b. Selektivitas

Selektivitas merupakan ukuran kemampuan suatu membran untuk dapat menahan suatu komponen serta melewatkan suatu komponen tertentu lainnya. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi selektivitas adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewati membran dan ukuran pori pada membran, serta polaritas.

Parameter yang digunakan untuk meindikasikan atau mewakili sifat selektivitas suatu membran adalah koefisien rejeksi (R), yaitu fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran. Koefisien rejeksi dapat dihitung dengan persamaan 2.2 dibawah ini (Arahman, 2017).

$$R = \left(1 - \frac{C_P}{C_R}\right) \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana:

R = koefisien rejeksi

C<sub>P</sub> = konsentrasi komponen terlarut dalam tangki permeat (mg/L)

$C_R$  = konsentrasi komponen terlarut dalam tangki umpan (mg/L)

Membran dapat diklasifikasikan berdasarkan material dasar pembuatannya, struktur atau morfologi, prinsip pemisahan dan lainnya. Berdasarkan struktur atau morfologinya, membran dikelompokkan menjadi membran simetri dan asimetri. Membran simetri merupakan membran yang memiliki ukuran dan kerapatan pori yang homogen pada ke dua sisi membran. Sedangkan, membran asimetri merupakan membran yang memiliki ukuran pori yang lebih kecil dan distribusi pori lebih rapat pada lapisan permukaan, dan ukuran pori yang lebih besar pada lapisan pendukung. Membran asimetri ini dapat berasal dari satu jenis bahan polimer atau dari dua atau lebih polimer yang bisa disebut sebagai membran komposit (Hoon Yoon, 2016).

### 2.2.1. Membran Hidrofobik

Berdasarkan sifat permukaannya, membran pada umumnya dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu membran hidrofobik dan membran hidrofilik. Hidrofobik dapat diartikan sebagai sifat anti air, sedangkan hidrofilik dapat diartikan sebaliknya. Pada membran hidrofobik, air tidak dapat menyebar di permukaan membran sehingga akan mengurangi kontakannya dengan permukaan. Tetesan air berbentuk bola akan terbentuk di permukaan membran hidrofobik karena energi permukaannya yang rendah. Sedangkan pada membran hidrofilik air akan menyebar di permukaan membran yang kemudian teradsorpsi ke dalam membran berpori (Ahmad dkk., 2015).

Metode yang umum dan sering digunakan untuk mengukur sifat hidrofobitas permukaan suatu membran atau bahan adalah pengukuran sudut kontak. Sudut kontak atau  $\theta$  dapat didefinisikan sebagai ukuran kuantitatif untuk keterbasahan permukaan suatu padatan yang disebabkan oleh cairan. Pada nilai sudut kontak dengan rentang  $0^\circ$  hingga  $30^\circ$  dapat digolongkan dalam jenis membran dengan sifat permukaan *highly hydrophilic*. Adapun sifat hidrofilik ini berlaku pada sudut kontak hingga  $90^\circ$ , dimana semakin tinggi nilai sudut kontak, maka semakin lemah pula sifat hidrofiliknya. Pada sudut kontak di atas  $90^\circ$ , maka membran tersebut dapat dikatakan memiliki sifat hidrofobik. Sifat hidrofobik ini dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu hidrofobik pada rentang sudut kontak  $90^\circ$  hingga  $120^\circ$ , ultrahidrofobik pada rentang sudut kontak  $120^\circ$  hingga  $150^\circ$ , dan superhidrofobik pada sudut kontak di atas  $150^\circ$  (Princi, 2011).

Sifat hidrofobik permukaan sangat dipengaruhi oleh dua faktor yaitu kekasaran permukaan dan energi permukaan material. Putri dkk. (2018) menyimpulkan bahwa sifat hidrofobik sangat dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan dan sudut kontak. Besar

area kontak akan semakin berkurang seiring dengan bertambah kasarnya permukaan dan sudut kontak akan bertambah. Namun, hal ini bergantung pada sifat asli permukaan itu sendiri. Pada permukaan hidrofobik, kekasaran permukaan akan mengakibatkan bertambah besarnya sudut kontak, sehingga menyebabkan permukaan akan semakin menolak air. Sedangkan pada permukaan hidrofilik, penambahan kekasaran hanya akan menyebabkan sudut kontak semakin menurun, sehingga menyebabkan permukaan akan semakin mudah menyerap air. Selain itu, sifat hidrofobik juga dipengaruhi oleh energi permukaan. Menurut Ahmad dkk. (2015), energi permukaan dapat didefinisikan sebagai hasil hubungan antara gaya kohesi (gaya tarik menarik antara partikel yang sejenis) dan adhesi (gaya tarik menarik antara partikel yang tidak sejenis). Energi permukaan yang rendah akan menurunkan *wettability* (kebasahan) permukaan padatan, sehingga akan dihasilkan permukaan membran dengan sifat hidrofobik. Adapun energi permukaan beberapa contoh material yang sering digunakan pada pembuatan membran dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

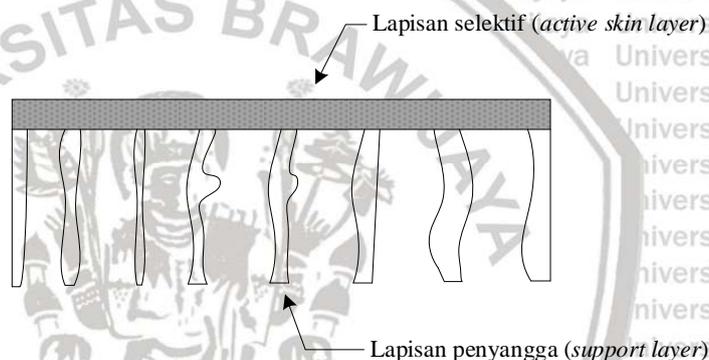
Tabel 2.2. Energi Permukaan pada Berbagai Jenis Material

No	Material	Energi Permukaan, $\gamma_s$ ( $10^3$ N/m)
1	Polidimetilsiloksan (PDMS)	22
2	Politetrafluoroetilena (PTFE)	19,1
3	Polipropilen (PP)	30
4	Polietilen (PE)	33,2
5	Polisulfon (PSf)	41
6	Poliamid	35,9
7	Polivinilidene flouride (PVDF)	30,3
8	Polivinil klorida (PVDC)	45
9	Polietilena tereftalat (PET-P)	44,6
10	Poliester (PET)	41
11	Polistirena (PS)	38
12	Polikarbonat (PC)	46
13	Kain katun polimer	39,4
14	Kain katun murni	46,2
15	Silikon (Si)	24

Sumber: Ahmad dkk. (2015); Thomsen dan Krause (2006); Hellerman Tyton (2014)

### 2.2.2. Membran Komposit

Membran komposit merupakan gabungan atau kombinasi dari dua atau lebih lapisan polimer. Lapisan pertama merupakan lapisan tebal, berpori, dan tidak selektif yang memiliki fungsi sebagai lapisan penyangga atau bisa disebut sebagai *support*. Sedangkan, lapisan kedua atau lapisan aktif merupakan lapisan yang selektif dengan komposisi kimia yang berbeda dibandingkan membran pendukung atau bisa disebut sebagai *selective skin layer/active skin layer* (Tewari, 2016). Membran komposit dapat menghasilkan selektivitas yang lebih tinggi disebabkan oleh rapatnya lapisan atas membran dan mempunyai kecepatan permeasi yang tinggi karena tipisnya membran (Mulder, 1996). Membran komposit dapat dilihat secara skematik pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Skema membran komposit

Sumber: Tewari, 2016.

Penyangga atau *support* merupakan lapisan yang memiliki lapisan dengan ketebalan sebesar 50-150  $\mu\text{m}$  yang terletak dibawah lapisan aktif atau *active skin layer* pada membran. Penyangga berfungsi sebagai kerangka (*framework*) yang memberikan ketahanan pada membran, dimana penyangga berpori memerlukan porositas permukaan yang tinggi untuk mendapatkan nilai fluks yang optimal (Mulder, 1996). Penyangga yang optimum harus memenuhi syarat-syarat diantaranya yaitu tahan secara kimiawi terhadap pelarut atau campuran pelarut yang terbentuk pada *active skin layer*, dan memiliki porositas permukaan yang tinggi serta ukuran pori yang kecil. Porositas permukaan yang tinggi pada penyangga diperlukan untuk mencegah terjadinya hambatan transfer massa pada membran komposit (Pinnau, 2000). Umumnya penyangga dapat berasal dari polimer seperti poliamid (nilon), polivinilidene flouride (PVDF), polisulfon (PSf), poliester (PET) dan sebagainya.

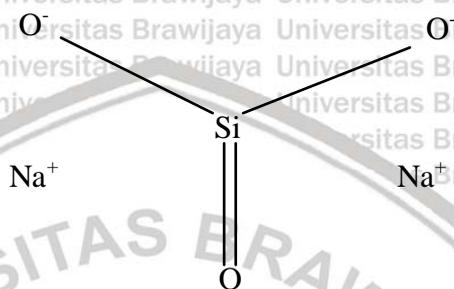
Lapisan aktif atau *active skin layer* pada membran komposit merupakan lapisan tipis dengan ketebalan hanya sebesar 0,1-0,5  $\mu\text{m}$  yang berfungsi sebagai tempat pemisahan terjadi (Mulyati dkk., 2017). Menurut Angela dan Pinem (2011), lapisan aktif pada umumnya dibuat dengan menggunakan bahan polimer, dimana semakin besar konsentrasi polimer maka akan memiliki lapisan aktif yang lebih rapat (*dense*). Salah satu contoh bahan polimer yang sedang berkembang pada pemisahan cairan yaitu membran silika aerogel. Silika aerogel merupakan material padatan ultrapori yang memiliki pori yang besar berkisar 3  $\text{cm}^2/\text{g}$  dengan porositas yang tinggi, dan luas permukaan yang besar berkisar 900  $\text{m}^2/\text{g}$  (Nazriati dkk., 2011). Selain itu, membran silika aerogel memiliki kestabilan termal dan kimia yang baik (Unger, 1979). Wang dkk. (2018) telah melakukan percobaan dalam mensintesis membran silika aerogel ultrahidrofobik menggunakan *surface modifying agent* dengan metode sol-gel, dimana membran dapat memisahkan emulsi minyak-air dengan efisiensi yang sangat tinggi hingga melebihi 99,63%. Performa yang baik dari membran silika aerogel dalam pemisahan emulsi minyak-air ini dianggap berasal dari struktur nanopori dan hidrofobitasnya.

Terdapat dua bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan silika aerogel, yaitu alkoksida dan silikat. Golongan alkoksida ini terdiri dari *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS) dan *Tetramethyl Orthosilicate* (TMOS). Namun, belakangan ini telah banyak digunakan prekursor larutan alternatif yaitu natrium silikat atau *waterglass* (Hamidah dkk., 2012).

#### 2.2.2.1. Natrium Silikat

Natrium silikat merupakan nama umum untuk senyawa inorganik berbentuk amorf dengan rumus kimia  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Senyawa ini lebih dikenal dengan nama natrium metasilikat, *waterglass* atau gelas cair (Warner, 2004). Struktur molekular natrium silikat dapat ditunjukkan pada gambar 2.3. Natrium silikat memiliki ikatan ionik yang terbentuk dengan kecenderungan atom menangkap atau melepas elektron agar stabil seperti konfigurasi gas mulia. Pada awalnya natrium silikat diproduksi dengan cara mereaksikan natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dengan pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dalam tungku pemanas atau *furnace* pada suhu 1400°C. Namun saat ini, natrium silikat dapat diproduksi dari bahan-bahan yang mengandung silika dengan menggunakan teknik ekstraksi dengan larutan alkali. Dengan metode ini, natrium silikat dapat dibuat pada suhu yang relatif rendah yaitu 95-105°C (Zainul dan Kristy, 2019). Natrium silikat dapat digunakan sebagai bahan alternatif selain *Tetramethyl Orthosilicate* (TMOS) dan *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS)

untuk sintesis silika, dimana natrium silikat dapat memberikan sifat silika aerogel dengan porositas besar. Selain itu, natrium silikat atau *waterglass* juga memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan lainnya diantaranya yaitu, harganya yang lebih murah, mudah didapat, ramah lingkungan, serta memiliki tingkat stabilitas yang hampir sama dengan TEOS (Soleimani & Abbasi, 2008). Natrium silikat sangat mudah larut dan bereaksi dengan air atau dapat disebut bersifat hidrofilik. Sehingga diperlukan suatu proses untuk meningkatkan hidrofobitas senyawa dari natrium silikat. Salah satu cara untuk meningkatkan hidrofobitasnya adalah menggunakan *surface modifying agent*.

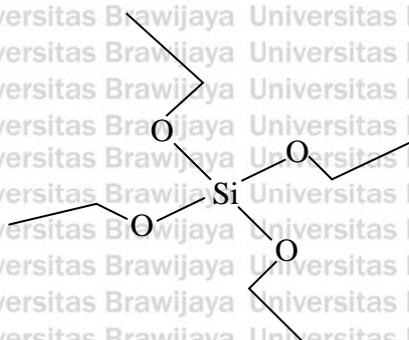


Gambar 2.3. Struktur molekular natrium silikat

Sumber: PubChem, 2020

#### 2.2.2.2. *Surface Modifying Agent*

*Surface modifying agent* merupakan senyawa yang berfungsi untuk memodifikasi atau meningkatkan sifat hidrofobik secara kimiawi dari permukaan silika yang pada awalnya bersifat hidrofilik. Modifikasi ini bekerja dengan cara mensubstitusi gugus fungsi hidrofobik dan hidrogen dari gugus hidroksil. Reagen yang paling umum digunakan adalah senyawa kimia yang tersusun atas gugus *Trimethylsilyl* ( $\text{Me}_3\text{Si}$ ). Adapun contoh reagen yang sering digunakan yaitu, *Methyltrimethoxysilane* (MTMS), *Trimethylchlorosilane* (TMCS), *Hexamethyldisilazane* (HMDZ), dan *Phenyltriethoxysilane* (PTES) (Pillai dan Hehir, 2017). Selain beberapa contoh diatas, terdapat alternatif *surface modifying agent* atau agen pemodifikasi yaitu prekursor *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS) yang dapat menghasilkan mekanisme *crosslinking* dalam polimerasi. Menurut Aegerter dkk. (2011), prekursor silikat berupa TEOS telah menghasilkan aerogel dengan hidrofobitas yang tinggi. Adapun struktur molekular dari TEOS dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. Struktur molekular TEOS

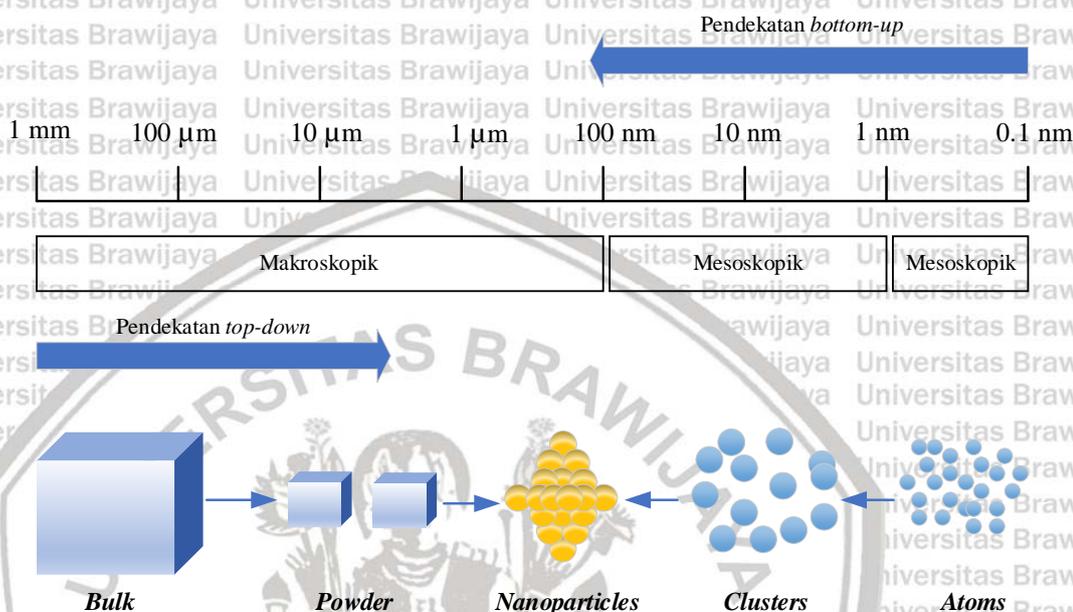
Sumber: PubChem, 2020

### 2.2.3. Fabrikasi Membran Komposit Hidrofobik

Seerti yang telah dijelaskan di subbab sebelumnya, pembuatan atau peningkatan sifat hidrofobik dari permukaan suatu material dapat dilakukan dengan membuat energi permukaan material yang rendah untuk menurunkan *wettability*. Selain itu terdapat metode lain, yaitu dengan melapiskan permukaan material seperti silikon dengan nanopartikel yang memiliki gugus fungsional bersifat hidrofobik yang dapat meningkatkan hidrofobitas dari permukaan material tersebut (Thakur dan Thakur, 2015).

Pembuatan atau sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Proses sintesis dapat berlangsung baik secara kimia maupun fisika. Proses secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia, dimana hanya terjadi pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer, atau penggabungan material berukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat material. Sedangkan proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah prekursor sehingga dihasilkan material lain yang memiliki ukuran nanometer (Abdullah dkk., 2008). Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.5, secara umum, sintesis nanopartikel dapat dibagi menjadi dua pendekatan yaitu *top-down* dan *bottom-up*. Pendekatan *top-down* akan memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer. Pendekatan ini memiliki kelemahan yaitu struktur permukaan nanopartikel yang kurang sempurna, sehingga dapat mempengaruhi sifat dari nanopartikel tersebut. Pada umumnya pendekatan ini digunakan untuk mensintesis struktur yang sangat kompleks dan produksi nanopartikel skala besar. Sedangkan pendekatan *bottom-up* akan mengumpulkan atom-atom/molekul-molekul/kluster-kluster yang akan membentuk partikel berukuran nanometer. Pendekatan ini telah dikembangkan untuk menghindari kelemahan pada pendekatan *top-down* melalui pembuatan nanopartikel yang homogen dan stabil dengan mengontrol ukuran partikel, dan bentuk nanopartikel menggunakan

*capping agent* seperti polimer. Contoh pendekatan *bottom-up* diantaranya yaitu proses sol-gel, *supercritical fluid synthesis*, *chemical vapour deposition* (CVD), *plasma spraying synthesis*, dan *atomic condensation* (Ahmed dan Kanchi, 2018). Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, sintesis nanopartikel silika cenderung menggunakan pendekatan *bottom-up* karena kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas.



Gambar 2.5 Ilustrasi skematik pendekatan *top-down* dan *bottom-up* dalam fabrikasi atau sintesis nanopartikel

Sumber: Ahmed dan Kanchi (2018)

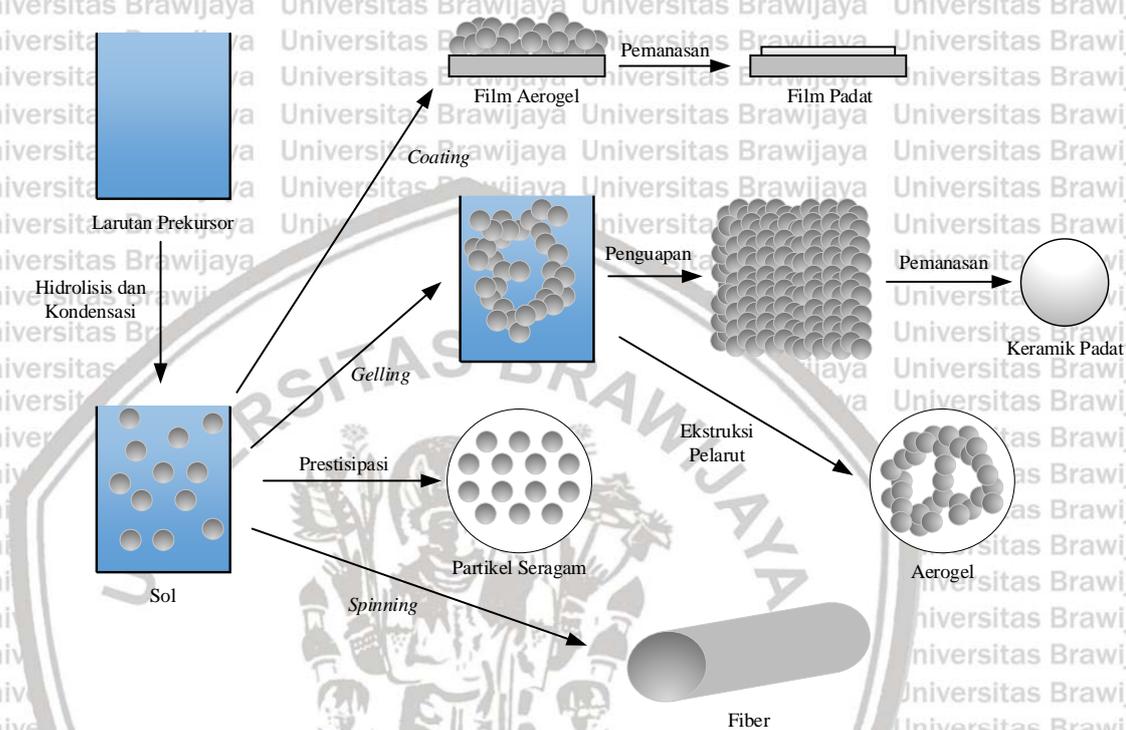
Menurut Tewari (2016) pembuatan atau fabrikasi membran komposit dapat melalui beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. *Casting* atau pencetakan lapisan penyangga berpori (*support*)
2. Pelapisan larutan polimer, monomer reaktif, dan pre-polimer pada lapisan penyangga berpori (*support*) yang diikuti dengan *post-cure* dengan panas atau radiasi
3. Pengendapan lapisan aktif *active skin layer* dari lapisan penyangga berpori (*support*)

### 2.2.3.1. Proses Sol-Gel

Proses sol-gel merupakan proses preparasi padatan yang melibatkan transisi sistem dari *liquid* (sol) ke dalam fase *solid* (gel). Sol merupakan dispersi stabil dari partikel koloid atau polimer (1-100 nm) dalam sebuah pelarut dimana interaksi yang terjadi adalah gaya *van der waals*. Sedangkan gel adalah zat yang memiliki pori semirigid

yang terdiri atas jaringan yang terbentuk dari rantai polimer (Singh dkk., 2014). Meskipun proses sol-gel dapat diaplikasikan untuk berbagai fase inorganik, akan tetapi penggunaannya lebih diutamakan untuk pembentukan material berbasah dasar silika. Dimana prinsip dasar kimia sol-gel kebanyakan diterapkan dalam pembentukan silika gel. Selain itu beberapa jenis proses sol-gel dan produk yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



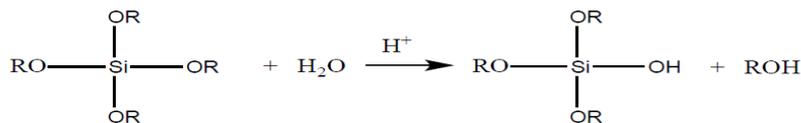
Gambar 2.6 Skema proses sol-gel beserta produknya

Sumber: Niederberger dan Pinna (2009)

Menurut Yasin dkk. (2018), pada umumnya, tahapan proses sol-gel terbagi atas tiga bagian yaitu sebagai berikut:

#### 1. Hidrolisis

Pada tahap ini terjadi reaksi penggantian gugus alkoksida (-OR) oleh gugus karboksil (-OH). Pada kondisi asam, gugus alkoksida akan terprotonasi dengan cepat. Jika diambil contoh dengan menggunakan *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS) yang merupakan alkoksida dari silikon, akan menyebabkan alkoksidanya lebih mudah diserang oleh air ( $H_2O$ ). Hal ini disebabkan TEOS tersebut akan mengambil kerapatan dari atom silikon yang mengakibatkan alkoksidanya bersifat elektrofilik. Mekanisme hidrolisis pada kondisi asam dapat dilihat pada gambar 2.7. dibawah ini:

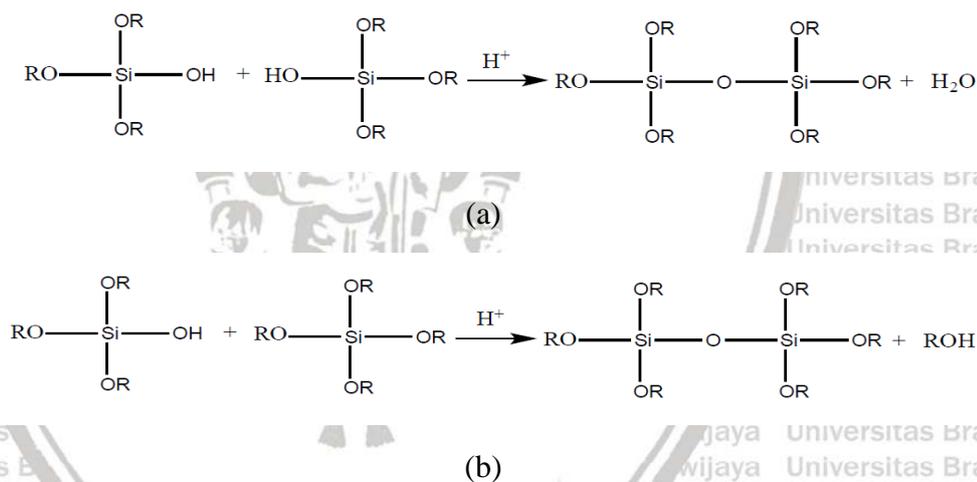


Gambar 2.7. Mekanisme Reaksi Hidrolisis

Sumber: Malucelli (2016)

## 2. Kondensasi

Pada umumnya, reaksi kondensasi akan terjadi setelah terjadinya reaksi hidrolisis. Kondensasi antara molekul yang telah terhidrolisis dengan gugus etoksi akan membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) yang membentuk silika seutuhnya (Rahman dan Padavettan, 2012). Reaksi kondensasi berlangsung sangat cepat, sehingga sulit untuk dikendalikan dan reaksinya membentuk jaringan dimensi tiga atau partikel dengan ikatan tunggal. Kondensasi air berlangsung lebih cepat dibandingkan kondensasi alkohol. Mekanisme kondensasi air dan alkohol dapat dilihat pada gambar 2.8. dibawah ini:



Gambar 2.8. Mekanisme Reaksi Kondensasi (a) air (b) alkohol

Sumber: Malucelli (2016)

### 2.2.3.2. Proses Modifikasi Gel

Dalam pembuatan silika aerogel berbasis alkoksida, *ambient pressure drying* (APD) yang berbasis *waterglass* hanya mungkin dilakukan jika permukaannya bersifat hidrofobik. Hal ini disebabkan karena setelah proses kondensasi pada proses sol-gel dilakukan, umumnya masih terdapat beberapa gugus hidroksil (Si-OH) yang tidak mengalami kondensasi. Gugus hidroksil pada permukaan gel ini bersifat sangat mudah bereaksi dengan air sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan/struktur aerogel karena terjadinya kontak langsung dengan air atau adanya penyerapan air dari

udara yang lembab. Dimana, jika pori-pori aerogel terisi air dan air kembali menguap, maka hal ini dapat disebut dengan pengeringan kedua yang dapat menyebabkan baik seluruh atau setidaknya sebagian struktur dari aerogel rusak. Oleh karena itu, hidrofobisasi permukaan aerogel merupakan tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah efek *aging* (Aegerter, 2011).

Proses modifikasi pada permukaan silika aerogel dapat dilakukan dengan menggunakan suatu agen pemodifikasi permukaan. Sebelum dilakukan pengeringan, gel silika terlebih dahulu akan direaksikan dengan agen pemodifikasi permukaan, dimana agen pemodifikasi permukaan akan menukarkan gugus (-OH) pada pori silika dengan gugus (-Si-(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) sehingga menjadi O-Si-(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Pengaruh dari agen pemodifikasi permukaan terhadap aerogel yang disintesis adalah dapat meningkatkan luas permukaan dan hidrofobitas (Zaemi dkk., 2013). Senyawa organosilan telah banyak digunakan sebagai agen pemodifikasi permukaan dari nanopartikel silika untuk berbagai jenis sifat kimia dan fisika (Kane dkk., 2016). Salah satu jenis agen pemodifikasi permukaan yang dapat digunakan untuk meningkatkan hidrofobitas permukaan silika adalah *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS).

### 2.2.3.3. Proses Pelapisan

Proses pelapisan membran komposit meliputi deposisi lapisan selektif/*selective skin layer* di atas permukaan lapisan penyokong atau penyangga. Dalam mengkompositkan suatu material, pelapisan merupakan salah satu cara yang sering digunakan. Terdapat beberapa metode atau teknik pelapisan yang umum digunakan, yaitu *dip-coating*, *spray coating* dan *spin coating* (Mulder, 2012).

#### 2.2.3.3.1. Dip-Coating

*Dip-coating* merupakan teknik pencelupan yang paling sederhana dalam pembuatan membran komposit dengan lapisan selektif yang tipis dengan kepadatan yang tinggi (Mulder, 2012). Teknik ini sering diterapkan pada industri karena mudah untuk dilakukan *scale-up* dan tidak memerlukan biaya yang mahal. Selain itu *dip-coating* memiliki efisiensi hingga melebihi 90% (Zheng, 2020). Umumnya lapisan selektif yang dibentuk pada teknik *dip-coating* memiliki ketebalan 0,05-2  $\mu\text{m}$ . Adapun ketebalan yang dihasilkan ini bergantung pada kecepatan penarikan. Selain itu, terdapat beberapa parameter lainnya pada teknik *dip-coating* yang dapat mempengaruhi lapisan selektif diantaranya yaitu konsentrasi larutan polimer, lama waktu pencelupan, dan suhu (Goh dan Ismail, 2020).

Secara umum, teknik *dip-coating* tersusun atas lima tahapan utama seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. berikut:

### 1. Perendaman

Substrat akan dicelupkan dan direndam secara vertikal ke dalam larutan pelapis dengan kecepatan tertentu (Bumgardner dan Jennings, 2017).

### 2. Start-up

Substrat yang telah dicelupkan beberapa saat atau variabel waktu tertentu mulai ditarik ke atas dengan kecepatan penarikan tertentu sesuai dengan *properties* larutan seperti viskositas, dan gravitasi (Bumgardner dan Jennings, 2017).

### 3. Deposisi

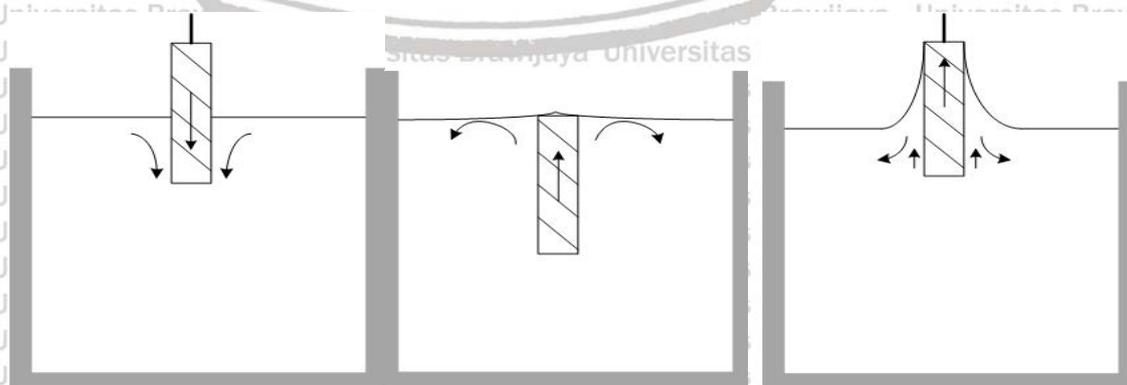
Saat substrat mengalami penarikan ke atas, lapisan selektif tipis mulai mengendap di atas. Ketebalan lapisan secara langsung bergantung pada kecepatan penarikan substrat, dimana semakin lambat penarikan maka semakin tipis lapisan selektifnya, dan begitu pula sebaliknya (Bumgardner dan Jennings, 2017).

### 4. Pentirisan (*Drainage*)

Pada tahap ini, *excess* dari larutan pelapis akan dikeringkan dari permukaan substrat (Bumgardner dan Jennings, 2017).

### 5. Evaporasi

Pelarut mulai menguap atau terevaporasi dari permukaan substrat yang membentuk lapisan tipis. Akan tetapi jika larutan mudah menguap, maka langkah ini mungkin terjadi pada saat tahap deposisi (Bumgardner dan Jennings, 2017).



(a)

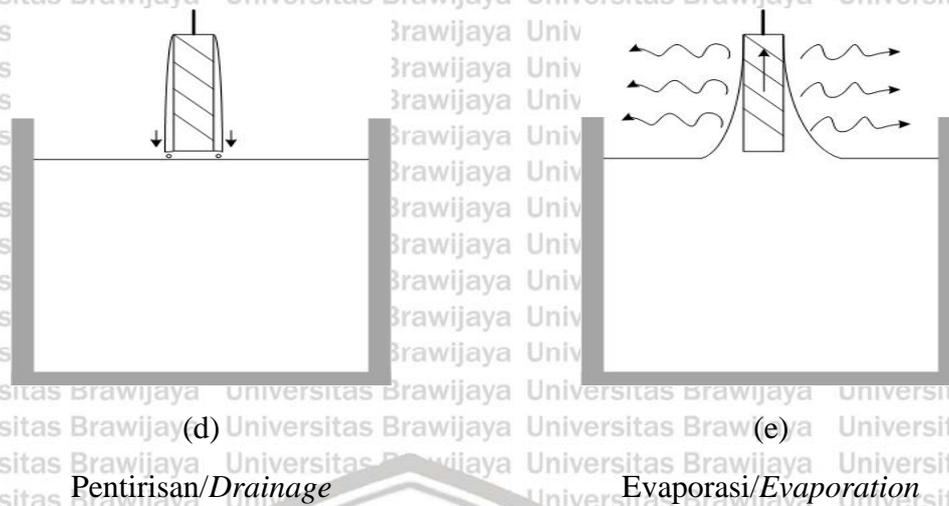
(b)

(c)

Perendaman/Immersion

Start-up

Deposisi/Deposition

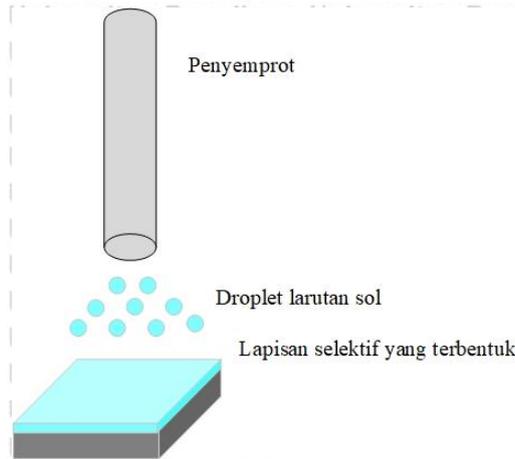


Gambar 2.9. Skema Mekanisme *Dip-Coating*

Sumber: Bumgardner dan Jennings, 2017

#### 2.2.3.3.2. *Spray Coating*

Pada teknik *spray coating*, pelapisan atau *coating* permukaan bahan dilakukan dengan metode penyemprotan larutan pembentuk lapisan selektif atau *selective skin layer* (Fink, 2012). Pada industri, teknik ini sering digunakan untuk pelapisan pada substrat polimer yang memiliki struktur kompleks. Ukuran droplet/tetes larutan monomer yang ditetaskan akan menentukan kualitas dari pelapisan. Dimana ukuran droplet ini sangat bergantung pada viskositas dari larutan sol yang disemprotkan. Ogihara dkk. (2011) telah berhasil membentuk nanopartikel silika superhidrofobik yang dilapisi pada permukaan kaca dengan menggunakan teknik *spray coating* ini. Teknik ini merupakan proses pelapisan yang sangat cepat dan membutuhkan larutan sol yang lebih sedikit dibandingkan teknik-teknik lainnya. Namun, teknik ini memiliki kelemahan dimana ketebalan lapisan selektif yang dihasilkan tidak seragam (Ali dkk., 2019). Skema proses pelapisan dengan teknik *spray coating* dapat diilustrikan pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10. Skema Proses Teknik *Spray Coating*

Sumber: Ali dkk. (2019)

### 2.2.3.3.3. *Spin Coating*

Pada umumnya, teknik pelapisan *spin coating* digunakan untuk mendapatkan pelapisan yang memiliki ketebalan lapisan selektif yang seragam pada permukaan yang datar. Proses *spin coating* tersusun atas 4 tahapan utama yaitu deposisi, *spin up*, *spin off* dan evaporasi. Mekanisme yang terjadi pada teknik ini meliputi pendepositan larutan pada pusat substrat yang akan diikuti dengan gerakan memutar (*spin up* dan *spin off*). Larutan ini akan menyebar ke bagian-bagian substrat karena adanya gaya sentrifugal. Semakin besar gaya sentrifugal atau semakin cepat gerakan *spin up* dan *spin off*, maka akan menghasilkan lapisan selektif yang semakin tipis. Namun, teknik ini memiliki kelemahan dimana semakin besar ukuran substrat yang digunakan maka kecepatan gerakan memutar akan mengalami penurunan (Ali dkk., 2019).

### 2.2.3.4. Proses Pengeringan Gel Termodifikasi

Fase cair atau pelarut yang tersisa perlu dihilangkan atau dibuang melalui proses *drying* atau pengeringan yang disertai dengan penyusutan. Secara umum, pengeringan silika aerogel dapat dibagi menjadi tiga metode, yaitu *freeze-drying*, *supercritical drying* dan *ambient pressure drying*. Ketika cairan dikeluarkan dari gel, ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi (Aegerter dkk., 2011). *Supercritical drying* merupakan proses dimana cairan akan berubah fasa menjadi gas dengan tidak adanya tegangan permukaan dan *capillary stress*. Dimana metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan autoklaf dengan pengaturan suhu dan tekanan melebihi titik kritis gel. Metode ini memiliki kelebihan dimana cairan akan berubah menjadi gas tanpa merusak struktur jaringan gel. Namun, biaya operasinya yang tidak ekonomis menjadikan metode ini jarang digunakan dalam skala industri. Pada skala industri, *ambient pressure drying*

(APD) merupakan metode yang sering digunakan (Thomas dkk., 2018). Menurut Brinker dan Scherer (1990), sebelum dilakukan proses pengeringan, gel harus mengalami proses *aging* terlebih dahulu untuk memperkuat jaringan gel dan mengurangi risiko keretakan pada struktur jaringan gel.

### 2.2.3.5. Pengaruh Waktu Pelapisan

Waktu pelapisan atau *dipping time* membran komposit telah mulai diteliti dalam upaya peningkatan performa pemisahan membran. Salah satu penelitian tentang pengaruh waktu pelapisan pada membran komposit telah dilakukan oleh Guan dkk. (2019), dimana pada penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan membran akan meningkat secara linear dengan waktu pelapisan atau *dipping time* dalam proses *coating*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Han dkk. (2017) tentang pengaruh ketebalan membran komposit *polyester* (PET) dan silika aerogel superhidrofobik dengan metode *dip-coating* pada aplikasi pemisahan minyak-air. Dimana pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya ketebalan suatu membran komposit maka efisiensi pemisahan dan fluks yang dihasilkan akan semakin menurun. Adapun hubungan antara waktu pencelupan atau perendaman dengan ketebalan membran dapat dilihat pada persamaan 2.3 (Moon, 2012). Hal ini dapat terjadi karena dengan semakin tebalnya suatu membran, maka resistensi transfer massa membran tersebut akan semakin besar sehingga fluks yang dihasilkan akan menurun (Martinez dan Maroto, 2008).

$$L_0 = \frac{2\gamma\cos\beta}{\eta} C(t)^{1/2} + L_a \quad (2.3)$$

Dimana:

$L_0$  = Ketebalan membran yang dihasilkan pada proses *dip-coating*

$\gamma$  = Tegangan permukaan (N/m)

$\beta$  = Sudut kontak antara larutan pelapis dan permukaan substrat

$C$  = Konstanta

$\eta$  = Viskositas larutan pelapis

$t$  = Waktu perendaman

$L_a$  = Ketebalan lapisan

### 2.3. Penelitian Terdahulu

Membran komposit hidrofobik merupakan suatu membran yang memiliki permukaan hidrofobik yang dapat menahan air. Membran komposit ini disokong dengan material yang dimodifikasi dengan senyawa atau partikel yang bersifat hidrofobik. Penelitian ini menggunakan membran komposit aerogel yang dibuat dengan metode pelapisan material silika pada media tertentu yang berperan sebagai penyangga. Hal ini dapat dimanfaatkan pada proses pemisahan minyak-air.

Dalam kajian pustaka ini, peneliti menyertakan hasil-hasil penelitian terdahulu yang akan dijadikan perbandingan dan acuan dari topik penelitian yaitu mengenai fabrikasi membran komposit silika aerogel hidrofobik dan aplikasinya dalam pemisahan campuran minyak-air. Septiadi dan Yuniardi pada tahun 2019 telah berhasil membuat membran komposit silika hidrofobik dengan menggunakan prekursor *water glass* yang dicampurkan dengan *deionized water* untuk pembuatan sol silika. Agen pemodifikasi permukaan yang digunakan adalah *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) yang dilarutkan dalam n-heksana dengan perbandingan rasio volume sebesar 1:2. Larutan sol silika yang telah dimodifikasi, kemudian dilapiskan pada media kain katun dengan metode *dip-coating* dengan waktu pencelupan selama 10 menit, dan dikeringkan di dalam *oven* pada suhu 80°C selama 30 menit. Proses pencelupan dan pengeringan pada penelitian ini diulangi dengan variasi 2 kali dan 3 kali pelapisan. Membran komposit silika hidrofobik yang dihasilkan memiliki sudut kontak terendah sebesar 151,420° pada jumlah pelapisan 1 kali dan tertinggi sebesar 158,068° pada jumlah pelapisan 3 kali. Selektivitas membran dalam pemisahan campuran minyak-air yang diperoleh berada pada rentang 97,744% hingga 99,197%.

Han dkk. Pada tahun 2017 melakukan penelitian untuk membuat membran komposit superhidrofobik menggunakan dua prekursor untuk membuat larutan sol nanopartikel P-SiO<sub>2</sub>. Prekursor yang digunakan yaitu *polydimethylsiloxane* (PDMS) dan nanopartikel SiO<sub>2</sub>. Nanopartikel P-SiO<sub>2</sub>. Prekursor ini kemudian didepositkan pada dua jenis polimer, yaitu polipropilen (PP) dan poliester (PET) dengan menggunakan metode *dip-coating* dengan menggunakan variabel berupa waktu pencelupan selama 10 detik sebanyak 3 kali pencelupan. Pada penelitian ini dilakukan analisa mikrostruktur dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dengan hasil uji menunjukkan

peningkatan ketebalan kedua jenis membran komposit setelah proses *dip-coating* yang cukup signifikan. Membran komposit digunakan dalam pemisahan campuran minyak-air dan diperoleh efisiensi pemisahan lebih dari 95%.

Guan dkk. pada tahun 2019 telah berhasil membuat membran keramik berbasis alumina dengan mendepositkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada penyangga *tubular*. Pendepositan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ini menggunakan teknik *dip-coating* dengan variasi waktu perendaman selama 9, 16, 25, dan 36 detik. Pada penelitian ini, waktu perendaman memiliki pengaruh atas ketebalan membran alumina yang dihasilkan. Dimana, membran dengan ketebalan terbesar dihasilkan pada waktu perendaman paling besar.

Imansari dan Mahardana pada tahun 2018 berhasil melakukan fabrikasi dengan mendepositkan partikel silika hidrofobik ke permukaan media berupa kain katun. Prekursor yang digunakan untuk pembuatan sol silika adalah natrium silikat (*water glass*) yang dicampurkan dengan sumber air (*deionized water*) pada berbagai variasi perbandingan rasio. Agen pemodifikasi permukaan yang digunakan adalah *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) yang dilarutkan dalam n-heksana dengan perbandingan rasio volume sebesar 1:2. Sudut kontak tertinggi sebesar  $157,259^\circ$  pada rasio  $\text{H}_2\text{O}$ :natrium silikat 18:1 dan konsentrasi  $\text{NH}_4\text{OH}$  sebesar 0,4 M. Selektivitas membran dalam pemisahan CPO-air yang diperoleh berada pada rentang nilai 0,996-0,999.

Apriwaluyo dan Andrianto pada tahun 2018 melakukan penelitian dalam pembuatan membran komposit silika hidrofobik dengan penyangga kain katun menggunakan prekursor natrium silikat (*water glass*) yang dicampurkan dengan sumber air (*deionized water*). Pendepositan partikel silika hidrofobik pada kain katun dilakukan dengan menggunakan metode *dip-coating* dengan kecepatan penarikan sebesar 8,5 cm/min yang kemudian dilakukan proses *aging* pada suhu  $50^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Proses pencelupan dan *aging* dalam proses *dip-coating* diulangi sebanyak 2 hingga 5 kali. Membran yang dihasilkan dengan pengulangan proses *dip-coating* sebanyak 5 kali menghasilkan kestabilan yang paling tinggi, dengan nilai kemiringan (*slope*) penurunan sudut kontak sebesar  $1,637^\circ/\text{hari}$ . Pada pemisahan campuran minyak-air dengan konsentrasi 77,5% (w/w), membran komposit menghasilkan fluks minyak sebesar 1,579 ml/cm<sup>2</sup>menit dengan selektivitas sebesar 96,887%.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

##### 3.1.1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu 4 bulan, yakni Februari 2021 hingga Mei 2021.

##### 3.2.1. Lokasi Penelitian

Proses fabrikasi, pengujian performa, dan pengukuran sudut kontak membran komposit hidrofobik dilaksanakan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT-UB. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) membran komposit hidrofobik dilakukan di Laboratorium Sentral, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang.

#### 3.2. Rancangan Penelitian

##### 3.2.1. Variabel Tetap

Konsentrasi prekursor *waterglass*, rasio *surface modifying agent* (TEOS) dan pelarut (n-heksana), kondisi operasi proses sililasi dan pengeringan, serta persen massa minyak dalam air.

##### 3.2.2. Variabel Bebas

– Ketebalan membran dengan waktu pencelupan:

- 5 menit
- 10 menit
- 15 menit
- 20 menit

– Persen massa silika hidrofobik dengan pendispersi (%w/w):

- 1%
- 1,4%
- 1,8%

### 3.2.3. Variabel Terikat

Sudut kontak, fluks membran, dan selektivitas pemisahan campuran minyak air.

## 3.3. Alat dan Bahan Penelitian

### 3.3.1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat penelitian berupa alat utama, alat gelas, alat pendukung dan instrumen, yaitu sebagai berikut:

1. Alat utama : *Ultrasonic bath*, oven (*Red Line Binder*), neraca analitik, klem dan statif, *magnetic stirrer* dan modul membran.
2. Alat gelas : Labu erlenmeyer, labu ukur, gelas beaker, buret, pipet volume, spatula, cawan petri dan pipet tetes.
3. Alat pendukung : *Aluminum foil*, plastisin, dan selotip
4. Instrumen : *Scanning Electron Microscope (SEM)*

### 3.3.2. Bahan

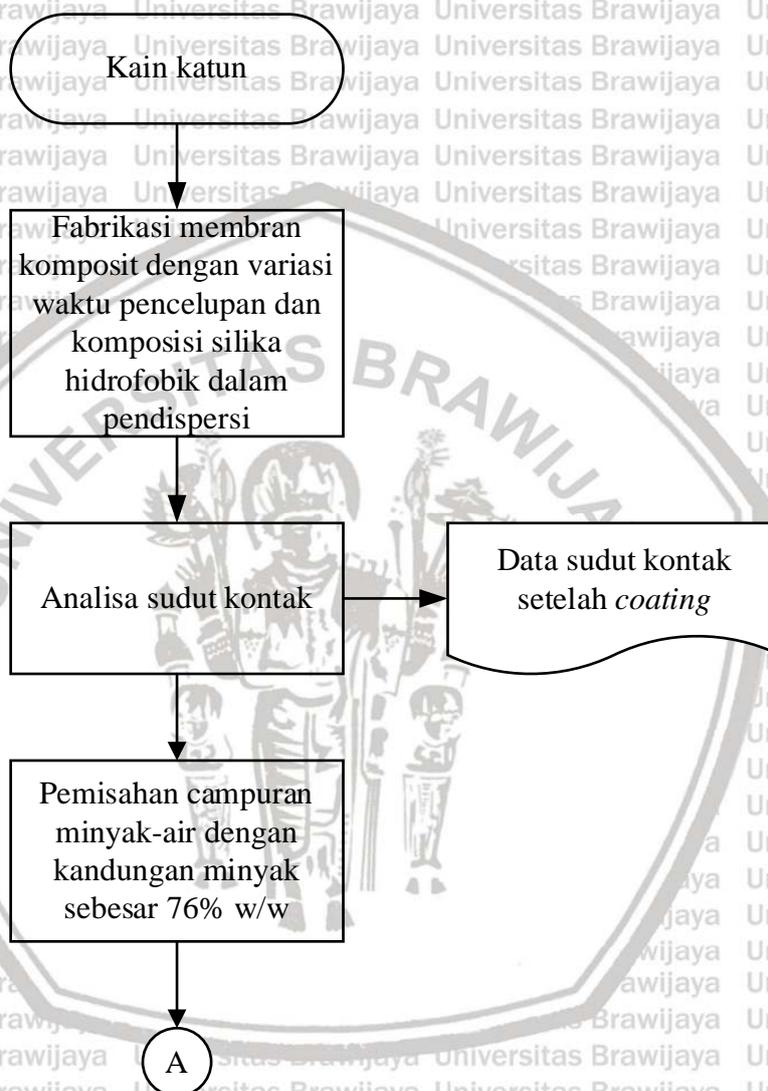
Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

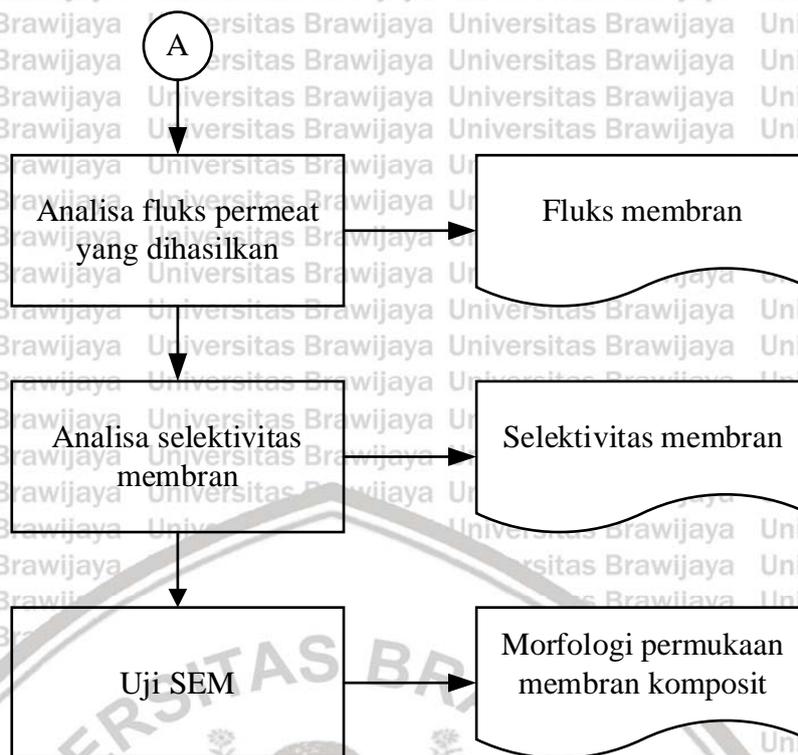
1. Kain katun yang diproduksi oleh Toyobo;
2. Minyak goreng merk *Sunco* sebagai pengganti CPO;
3. Natrium silikat ( $\text{SiO}_2$ : 25,5%-28,5%,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 7,5%-8,5%) diproduksi oleh Merck;
4. Natrium hidroksida (NaOH) dengan tingkat kualitas Pro Analisis (P.A.);
5. Surfaktan *Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)*;
6. Asam asetat (glasial) dengan tingkat kualitas Pro Analisis (P.A.) dengan kemurnian 100% yang diproduksi oleh Merck;
7. Amonium hidroksida dengan tingkat kualitas Pro Analisis (P.A.) dengan kemurnian *extra pure* 32% yang diproduksi oleh Merck;
8. Larutan *tetraethyl orthosilicate (TEOS)* dengan kemurnian 98% yang diproduksi oleh Aldrich;
9. Isopropanol dengan tingkat kualitas Pro Analisis (P.A.) dengan kemurnian 99% yang diproduksi oleh Mexil;
10. n-heksana dengan tingkat kualitas Pro Analisis (P.A.) dengan kemurnian 99% yang diproduksi oleh Merck;
11. *Deionized water*;

### 3.4. Prosedur Penelitian

#### 3.4.1. Skema Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi 3 tahapan utama, yaitu fabrikasi membran komposit silika hidrofobik, karakterisasi membran komposit, dan uji pemisahan campuran minyak-air. Skema penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1. Skema Penelitian

### 3.4.2. Pembuatan Membran Komposit

#### 3.4.2.1. Pretreatment Media Kain Katun

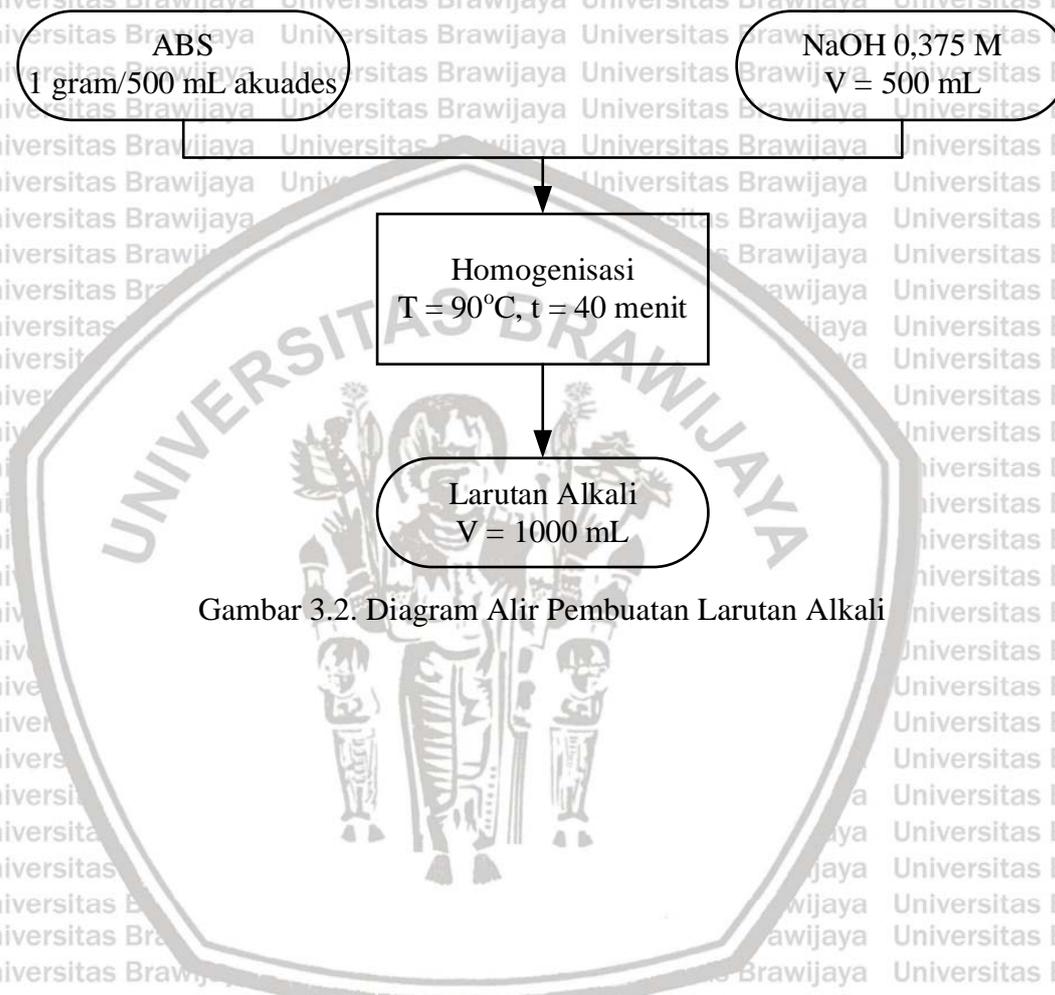
Tahapan ini bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor, mencegah aktivitas mikroba, dan meningkatkan efisiensi pendepositan partikel silika hidrofobik pada kain katun dengan menggunakan larutan alkali (Yazdanshenas dan Khalilabad, 2012).

Pada tahapan ini, kain akan rendam dengan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) yang direaksikan dengan *alkyl benzene sulfonat* (ABS) yang dapat membersihkan kain karena memiliki dua sifat, yaitu polar dan non-polar (Hidayatullah dan Triyana, 2018). Pembersih ini dibuat dengan melarutkan 7,5 gram NaOH dalam 500 ml akuades untuk membentuk larutan NaOH 0,375 M. Sedangkan larutan ABS dibuat dengan melarutkan 1 gram ABS ke dalam 500 ml akuades. Kedua larutan yang telah dibuat kemudian dihomogenkan dengan pengadukan dan pemanasan pada suhu 90°C selama 40 menit untuk menghasilkan larutan alkali sebagai pembersih katun (Xue dkk., 2013).

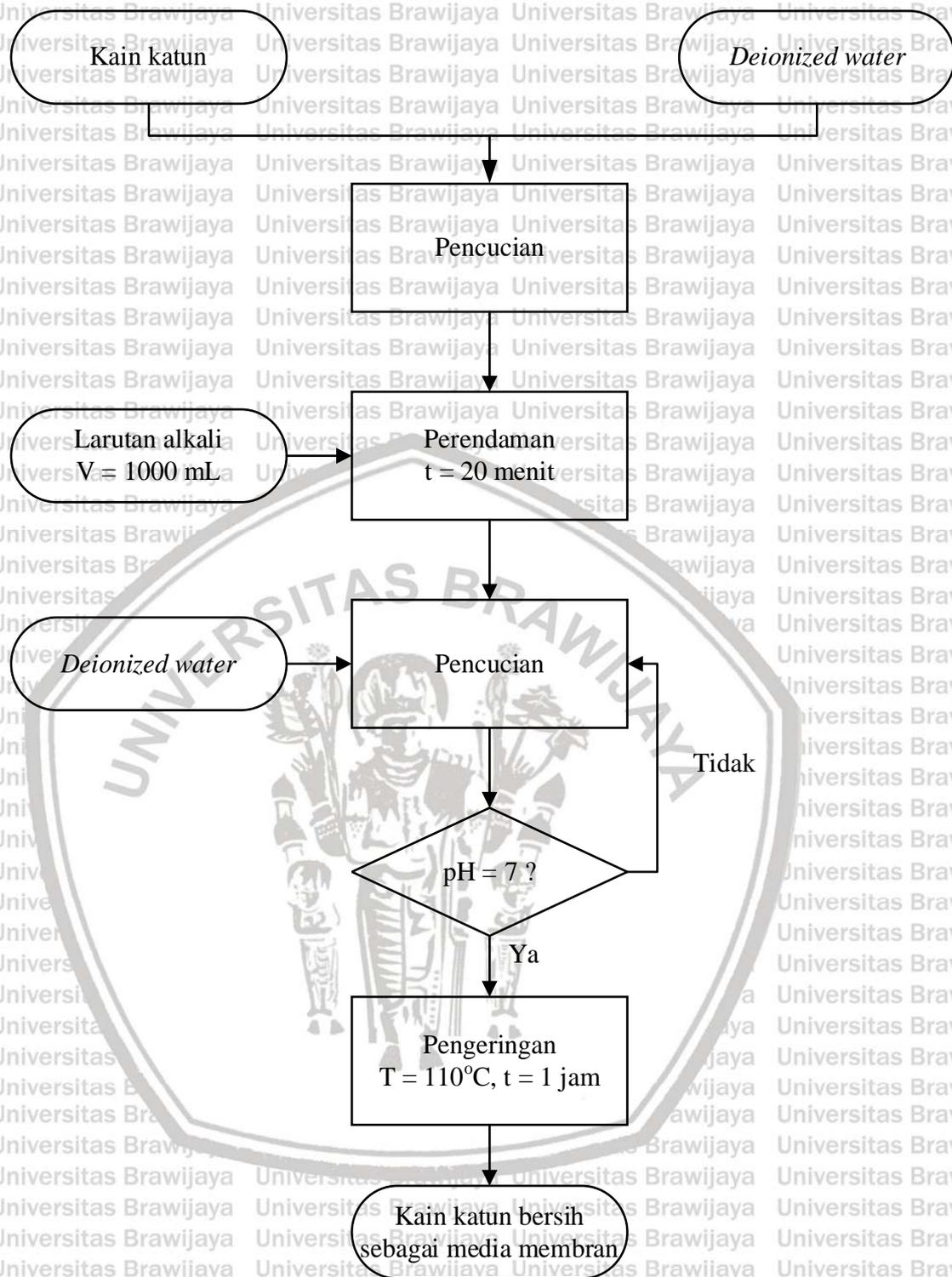
Kain katun yang telah dicuci dengan *deionized water*, kemudian direndam dalam larutan alkali yang telah dibuat sebelumnya. Menurut Choudhury (2006), perendaman ini

sebaiknya dilakukan selama 20 hingga 30 menit. Setelah dilakukan perendaman, maka kain katun kembali dicuci dengan *deionized water* hingga mencapai pH 7. Hal ini menandakan bahwa tidak ada larutan alkali yang masih tersisa pada kain katun. Selanjutnya kain katun dikeringkan pada suhu 110°C selama 1 jam (Xue dkk., 2013).

Diagram alir proses *pretreatment* kain katun ini dapat dilihat pada gambar 3.2 dan 3.3 berikut.



Gambar 3.2. Diagram Alir Pembuatan Larutan Alkali

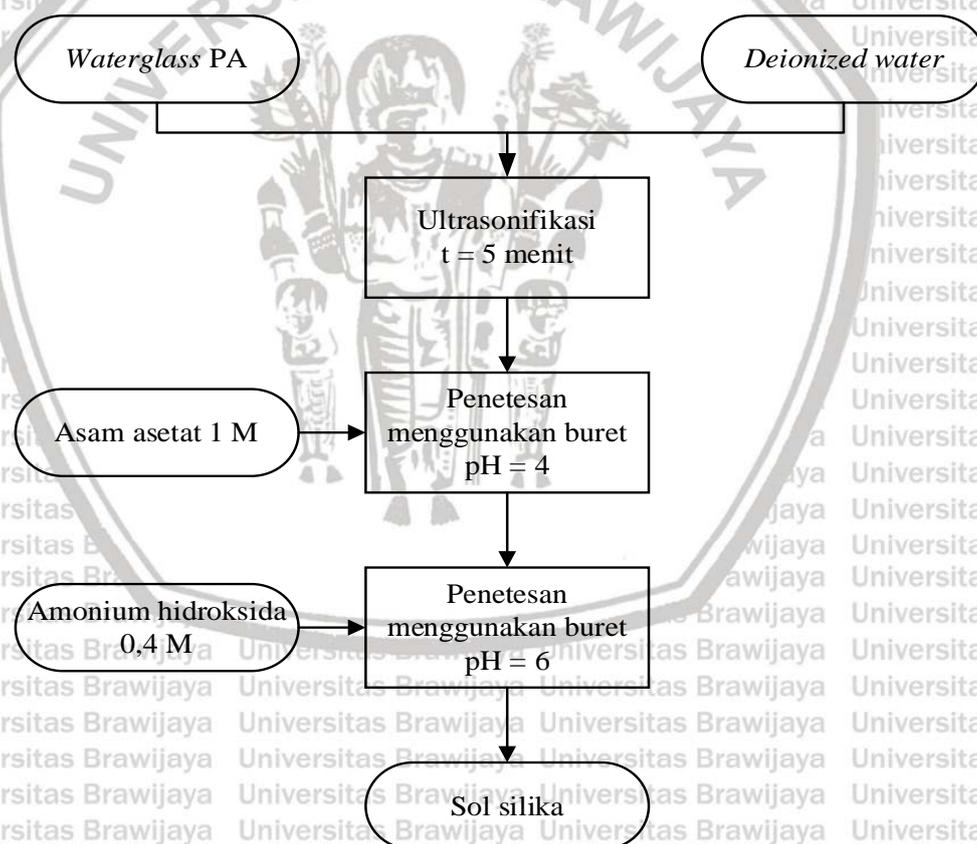


Gambar 3.3 Diagram Alir Proses *Pretreatment* Kain Katun

#### 3.4.2.2. Pembuatan Larutan Sol Silika

Tahapan ini bertujuan untuk membuat larutan sol silika yang masih bersifat hidrofilik. Pada tahap ini, digunakan sumber silika yang berasal dari *waterglass* dengan tingkat kualitas Pro Analisis (P.A.). Larutan *waterglass* dibuat dengan mencampurkan *waterglass* dengan *deionized water* sebagai sumber air (H<sub>2</sub>O) dengan rasio volume

H<sub>2</sub>O: *waterglass* sebesar 18:1. Homogenisasi dilakukan menggunakan alat *ultrasonic bath* selama 5 menit hingga diperoleh larutan dengan pH awal 13. Kemudian, larutan *waterglass* ditambahkan dengan larutan asam asetat dan amonium hidroksida sebagai katalis pada reaksi hidrolisis. pH larutan *waterglass* diatur hingga kisaran 4 dengan menambahkan larutan asam asetat (glasial) dengan menggunakan buret. Larutan asam asetat dengan konsentrasi 1 M dibuat dengan mencampurkan asam asetat (glasial) yang memiliki kemurnian 100% dengan *deionized water* dengan rasio volume 1:17. Larutan *waterglass* ditambahkan dengan larutan amonium hidroksida hingga mengalami perubahan pH menjadi 6 dengan menggunakan buret. Larutan amonium hidroksida dengan konsentrasi 0,4 M dibuat dengan mencampurkan 5 ml amonium hidroksida yang memiliki kemurnian 32% dengan *deionized water* hingga menghasilkan volume larutan sebesar 100 ml (Imansari dan Mahardana, 2018). Diagram alir proses pembuatan larutan sol silika ini dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.

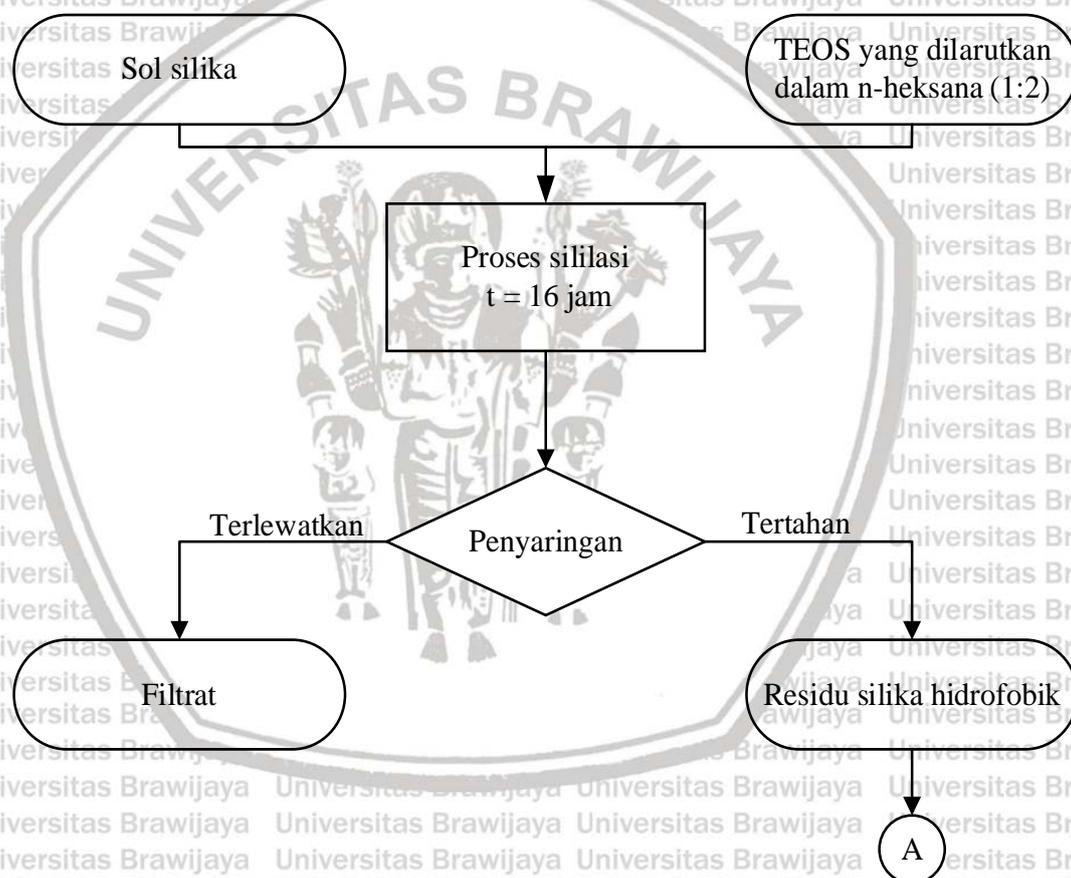


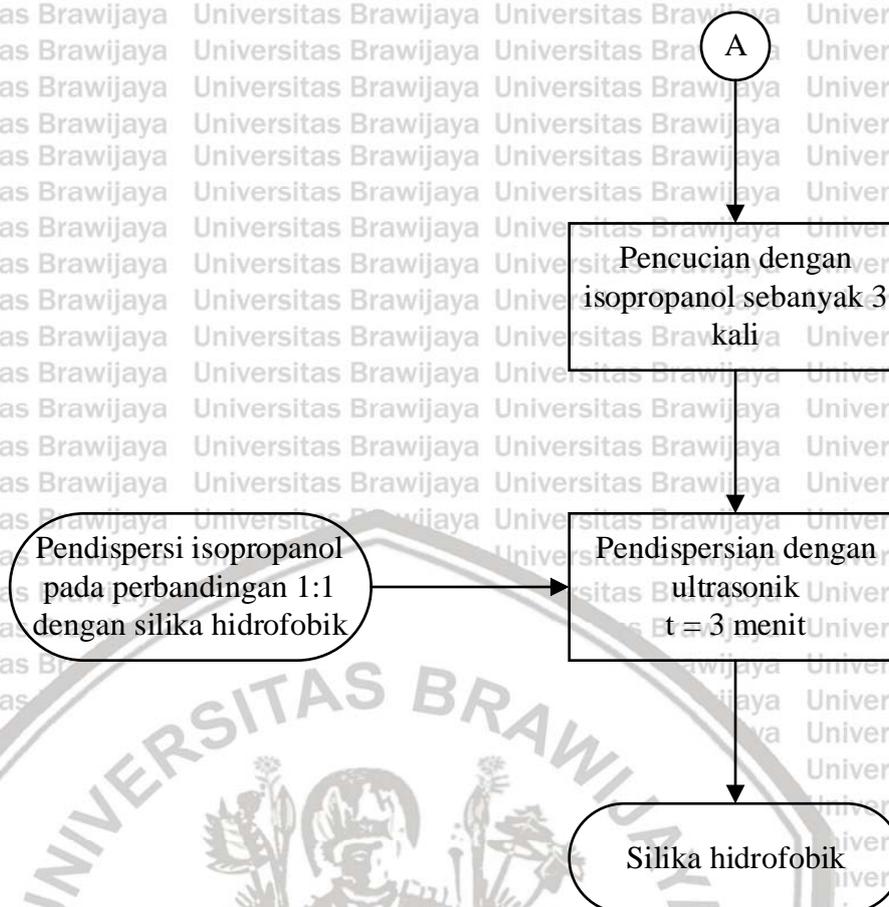
Gambar 3.4. Diagram Alir Proses Pembuatan Larutan Sol Silika

### 3.4.2.3. Preparasi Silika Hidrofobik

Tahapan ini bertujuan untuk membentuk gel silika yang bersifat hidrofobik melalui proses sililasi dengan menambahkan sebagai pemodifikasi permukaan sol silika yang bersifat hidrofilik. Agen pemodifikasi yang digunakan adalah larutan *tetraethyl*

*orthosilicate* (TEOS) yang dicampur dengan n-heksana menggunakan variasi rasio volume yang dibutuhkan. Selanjutnya, sol silika yang masih bersifat hidrofilik diumpungkan ke dalam campuran tersebut yang kemudian didiamkan selama 16 jam pada suhu ruang. Setelah proses sililasi dilakukan, maka akan dihasilkan campuran yang terdiri atas silika yang bersifat hidrofobik, n-heksana, dan air. Campuran ini kemudian disaring secara vakum sehingga menghasilkan residu penyaringan berupa silika hidrofobik. Kemudian silika hidrofobik dicuci dengan n-heksana sebanyak 1 kali dan isopropanol sebanyak 3 kali. Silika hidrofobik yang telah dicuci kemudian diultrasonifikasi dalam isopropanol dengan perbandingan berat 1:1 selama 3 menit (Xue dkk., 2013). Diagram alir proses preparasi silika hidrofobik ini dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut.

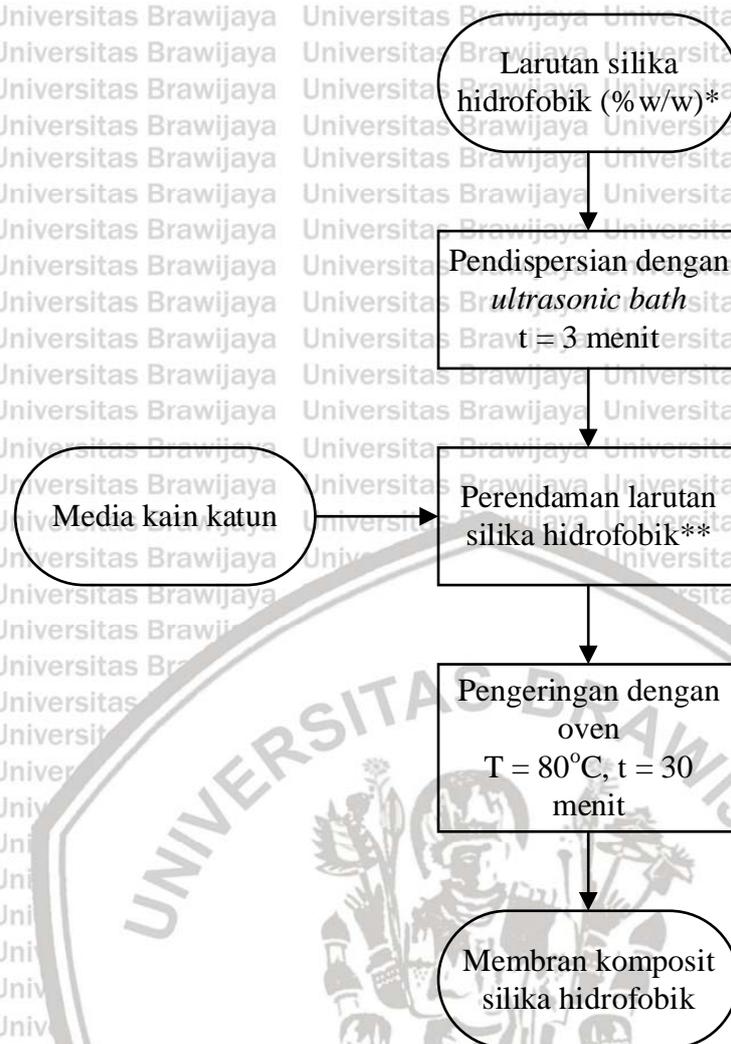




Gambar 3.5. Diagram Alir Proses Preparasi Silika Hidrofobik

#### 3.4.2.4. Pelapisan Silika Hidrofobik dengan Kain Katun

Tahapan ini bertujuan untuk membentuk membran komposit silika hidrofobik dengan melapiskan silika hidrofobik (lapisan selektif) pada kain katun (penyangga) yang telah mendapatkan *pretreatment* pada proses sebelumnya. Pelapisan silika hidrofobik dengan kain katun dilakukan dengan membuat larutan silika hidrofobik dengan variabel komposisi sebesar 1%, 1,4% dan 1,8% (%w/w) dengan pelarut isopropanol. Selanjutnya, dilakukan pendispersian silika hidrofobik dalam isopropanol menggunakan *ultrasonic bath* selama 3 menit. Kemudian, dilakukan pelapisan silika hidrofobik dengan kain katun menggunakan teknik *dip-coating* dengan cara merendam kain katun dalam larutan silika hidrofobik dengan variabel waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Setelah dilakukan perendaman, kain katun dikeringkan pada suhu 80°C selama 30 menit menggunakan oven untuk membentuk membran komposit silika hidrofobik (Xue dkk., 2013). Diagram alir proses pelapisan silika hidrofobik dengan kain katun dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut.



Keterangan:

\*dengan variabel larutan silika hidrofofik dengan komposisi 1%, 1,4% dan 1,8%

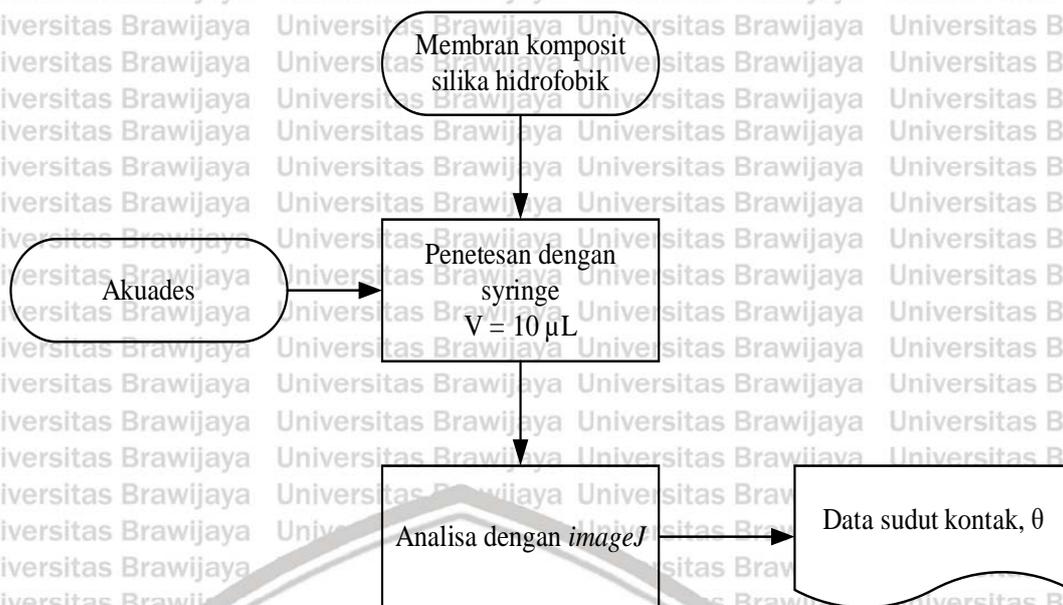
\*\*dengan variabel waktu perendaman 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit

Gambar 3.6. Diagram Alir Proses Pelapisan Silika Hidrofofik dengan Kain Katun

### 3.4.3. Karakterisasi Membran Komposit Silika Hidrofofik

#### 3.4.3.1. Uji Hidrofobitas Permukaan Membran

Metode yang paling sering digunakan dalam pengujian sifat hidrofobitas permukaan membran adalah pengukuran sudut kontak. Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan menambahkan tetesan air sebanyak 10  $\mu\text{L}$  pada permukaan membran komposit silika hidrofofik dengan menggunakan mikropipet. Kemudian, pengujian sudut kontak dilakukan dengan menggunakan *software imageJ*. Diagram alir proses pengujian hidrofobitas permukaan membran dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7. Diagram Alir Pengujian Hidrofobitas Permukaan Membran

### 3.4.3.2. Analisa Morfologi Permukaan Membran Komposit

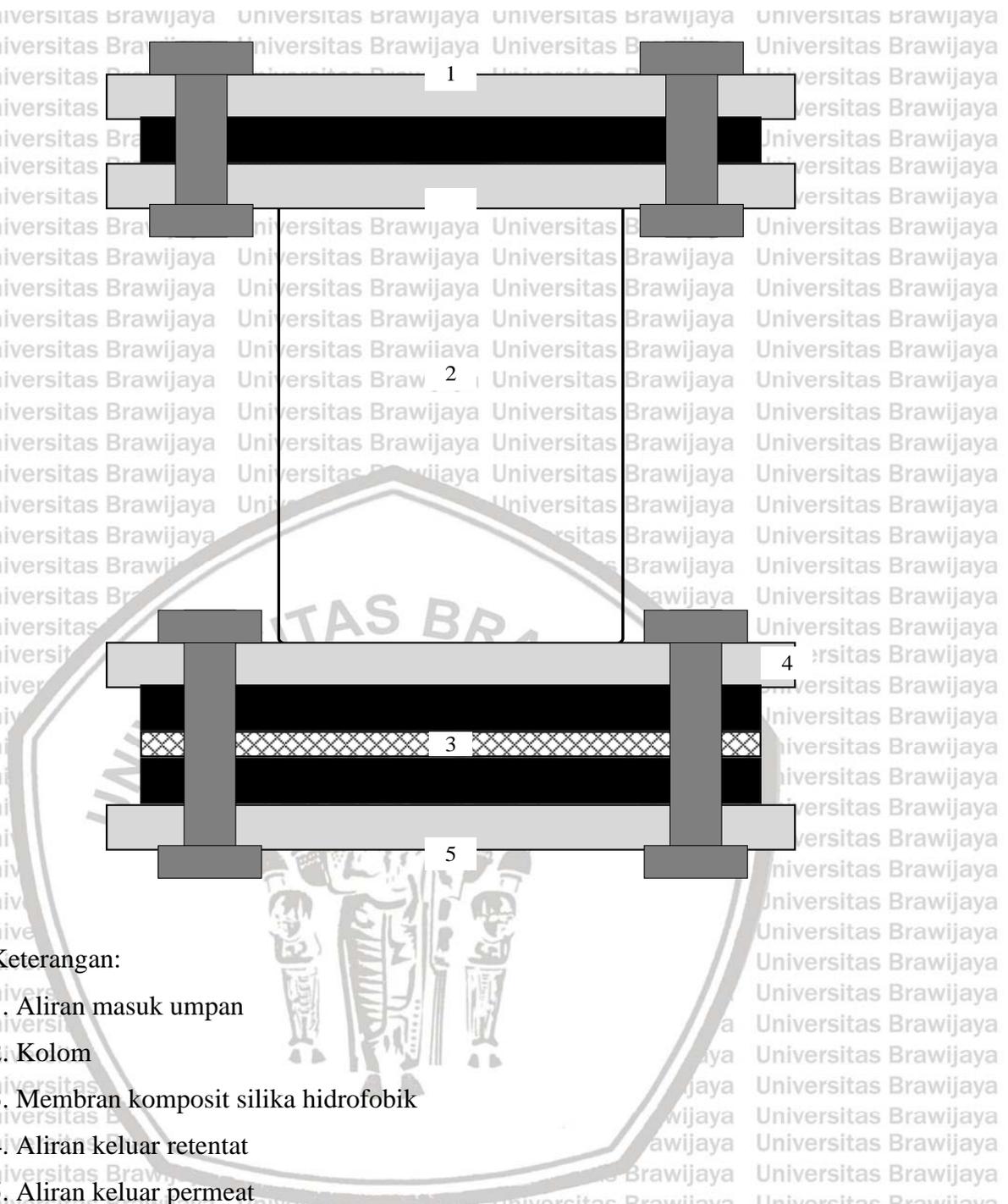
Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa morfologi permukaan dan ketebalan membran komposit silika hidrofobik. Sampel kain katun yang telah dilapisi dengan gel silika dan dimodifikasi permukaannya, kemudian dianalisa permukaannya dengan menggunakan instrumen *scanning electron microscope* (SEM).

### 3.4.4. Uji Pemisahan Campuran Minyak-Air

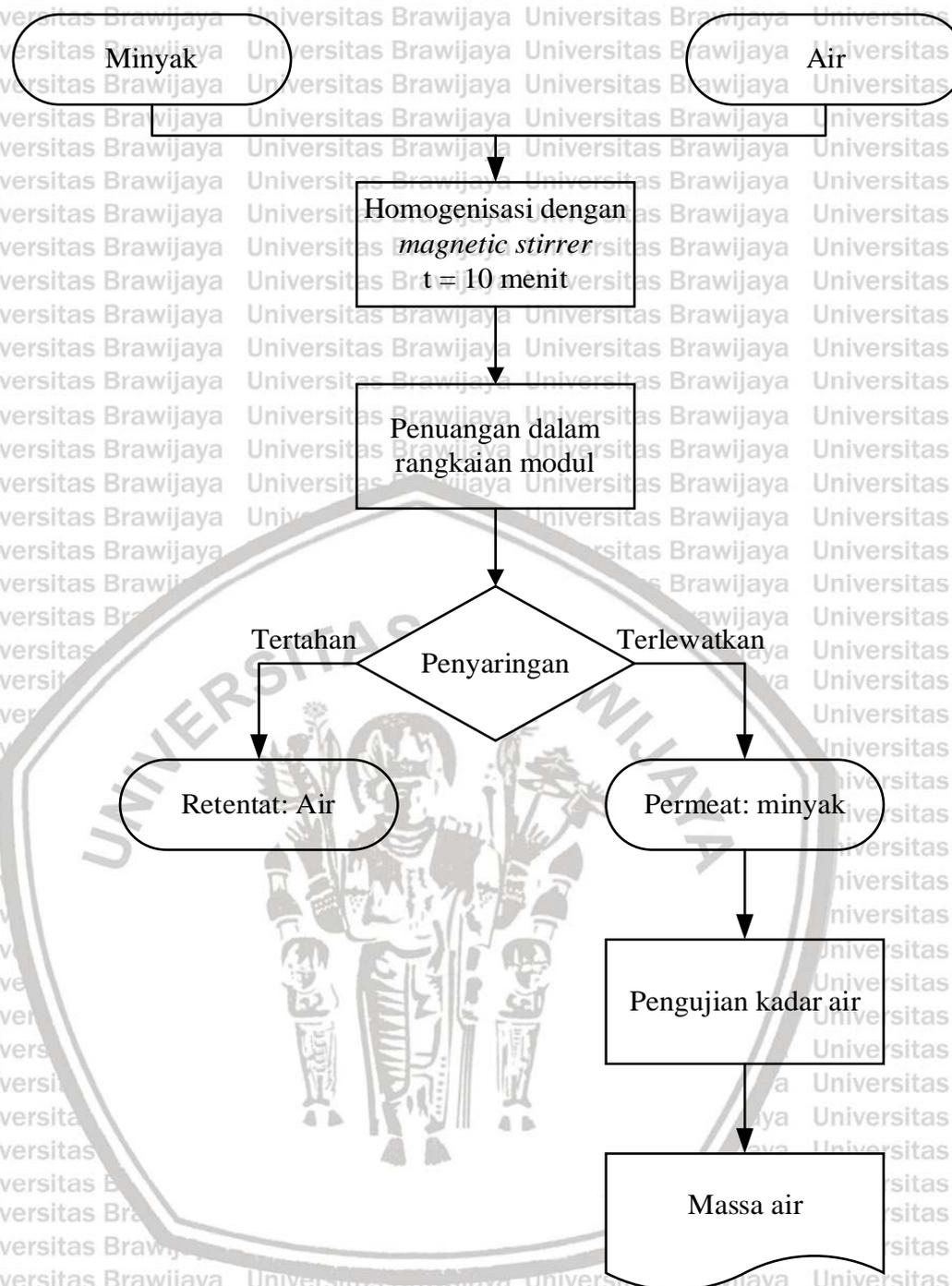
Pengujian performa membran dalam pemisahan campuran minyak-air menggunakan membran komposit yang telah dibuat dengan setiap variabel pencelupannya. Pengujian diawali dengan mencampurkan minyak dan air dengan kandungan minyak sebesar 76% yang merupakan persen kandungan minyak sebelum masuk ke bagian pemurnian, selama 10 menit dengan menggunakan *magnetic stirrer* (Amri, 2018). Proses pemisahan campuran minyak-air menggunakan modul membran dan permeat yang dihasilkan dari pemisahan ditampung pada gelas beaker 100 mL.

Membran komposit silika sebanyak 1 lembar diletakkan di dalam modul membran dan dilengkapi dengan gasket dan baut yang bertujuan untuk mencegah keluarnya sampel uji.

Modul membran untuk proses pemisahan dapat diilustrasikan pada gambar 3.8. Proses pemisahan dimulai dengan mengumpukan campuran minyak-air ke modul membran dengan menggunakan pompa. Diagram alir uji pemisahan campuran minyak-air dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.8. Rangkaian Modul Membran dalam Pemisahan Campuran Minyak-Air



Gambar 3.9. Diagram Alir Uji Pemisahan Campuran Minyak-Air

#### 3.4.4.1. Uji Fluks Membran Komposit

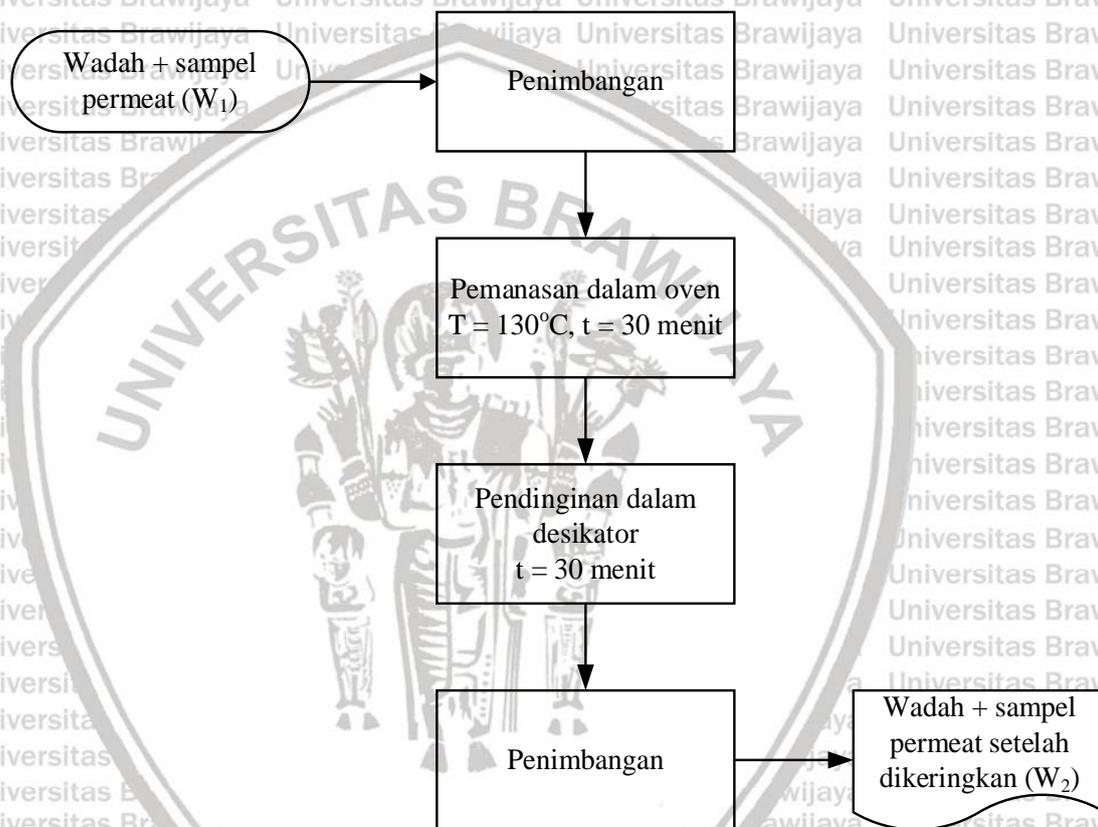
Uji fluks menggunakan nilai fluks minyak yang dialirkan pada modul membran.

Volume dari permeat diukur tiap interval 10 menit dengan total waktu selama 60 menit.

#### 3.4.4.2. Uji Selektivitas Membran Komposit

Penentuan selektivitas membran komposit menggunakan parameter koefisien rejeksi (R) dengan data massa air dalam permeat. Penentuan kadar air pada permeat

dilakukan berdasarkan SNI 7709:2012. Tahapan ini dimulai dengan mengeringkan wadah beserta tutup yang digunakan dengan menggunakan oven pada suhu 130°C selama 30 menit, dan didinginkan di dalam desikator selama 30 menit, dan kemudian ditimbang dengan menggunakan neraca analitik ( $W$ ). Selanjutnya, sampel permeal sebesar 0,2 gram ditambahkan ke dalam wadah dan ditimbang kembali ( $W_1$ ). Wadah yang berisi sampel dipanaskan kembali pada suhu 130°C selama 30 menit. Sampel yang telah dipanaskan kemudian dimasukan ke dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang massanya ( $W_2$ ). Diagram alir proses pengujian kadar air dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Diagram Alir Pengujian Kadar Air Permeal

Berdasarkan SNI 7709:2012, kadar air yang dihasilkan kemudian dihitung dengan persamaan berikut.

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W} \quad (3.1)$$

Dimana:

$W$  = berat wadah (gram)

$W_1$  = berat wadah dan sampel permeal sebelum pengeringan (gram)

$W_2$  = berat wadah dan sampel permeal setelah pengeringan (gram)





*Halaman ini sengaja dikosongkan.*



BAB IV

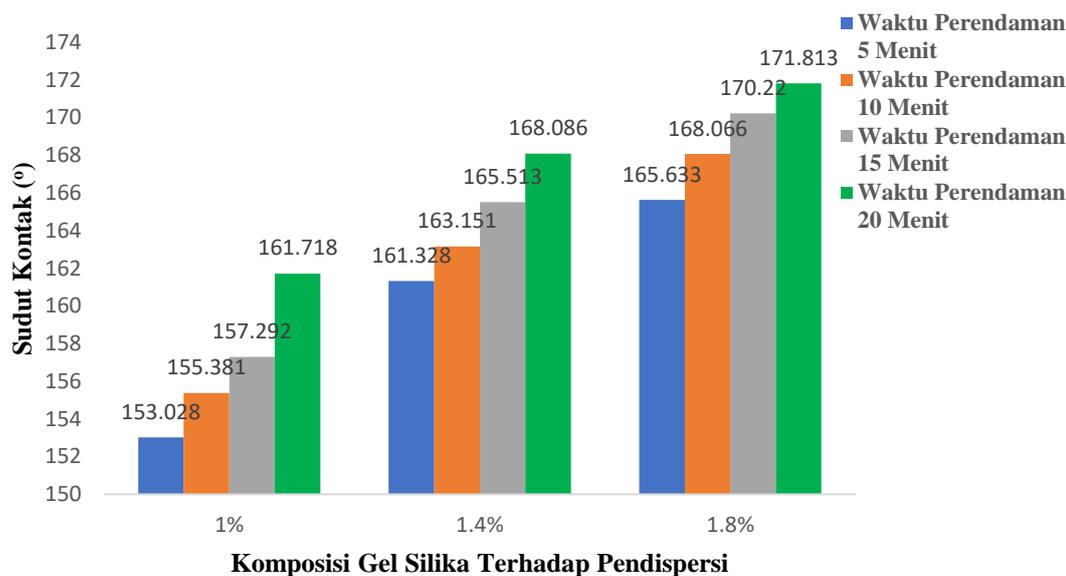
HASIL DAN PEMBAHASAN

**4.1. Pengaruh Persen Berat Gel Silika Hidrofobik dengan Pendispersi Terhadap Hidrofobisitas Membran Komposit Silika Hidrofobik**

Menurut Safitri dan Aritonang (2019), salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hidrofobisitas dari membran komposit adalah komposisi gel silika terhadap pendispersinya. Pada penelitian ini, digunakan pendispersi berupa isopropanol yang bertujuan untuk mendistribusikan partikel silika yang telah dimodifikasi sebelumnya sehingga bersifat superhidrofobik pada permukaan media penyangga atau kain katun. Dimana dispersi dari partikel silika yang merata pada permukaan kain katun ini akan membentuk *skin active* dari kain katun dan menentukan sifat hidrofobisitasnya. Untuk mendapatkan membran komposit dengan sudut kontak terbaik, maka komposisi gel silika terhadap pendispersi divariasikan sebesar 1%, 1,4%, dan 1,8%. Adapun hasil uji sudut kontak membran pada variabel persen berat gel silika hidrofobik dan waktu perendaman dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1. Sudut Kontak pada Variabel Waktu Perendaman dan Komposisi Berat Gel Silika Hidrofobik Terhadap Pendispersi

No	Komposisi Gel Silika Hidrofobik terhadap Pendispersi	Waktu Perendaman	Sudut Kontak
1	1%	5 Menit	153.028 ± 0.703
2		10 Menit	155.381 ± 0.774
3		15 Menit	157.292 ± 0.542
4		20 Menit	161.718 ± 0.890
5	1.4%	5 Menit	161.328 ± 0.487
6		10 Menit	163.151 ± 0.355
7		15 Menit	165.513 ± 0.773
8		20 Menit	168.086 ± 0.470
9	1.8%	5 Menit	165.633 ± 0.855
10		10 Menit	168.066 ± 0.551
11		15 Menit	170.220 ± 0.521
12		20 Menit	171.813 ± 0.601



Gambar 4.1. Hubungan antara komposisi gel silika terhadap pendispersi dan waktu perendaman dengan sudut kontak membran

Berdasarkan Tabel 4.1, semua membran komposit silika yang dihasilkan telah menunjukkan sudut kontak diatas  $150^\circ$ . Dimana hal ini menunjukkan bahwa membran komposit silika telah memiliki sifat superhidrofobik. Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, diketahui bahwa terdapat perbedaan sudut kontak yang signifikan dari membran antara variabel komposisi berat gel silika terhadap pendispersi isopropanol yang berbeda. Dimana, komposisi gel silika terhadap pendispersi sebesar 1,8% menghasilkan membran dengan sudut kontak tertinggi yaitu sebesar  $171,813^\circ$ , sedangkan membran dengan komposisi gel silika terhadap pendispersi sebesar 1% memiliki sudut kontak terendah sebesar  $153,028^\circ$ .

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui bahwa semakin tinggi persen berat atau konsentrasi gel silika terhadap pendispersi maka semakin tinggi pula sudut kontak terhadap air yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi atau komposisi gel silika hidrofobik maka gugus atau ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  juga akan semakin banyak. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, pendispersi isopropanol berfungsi untuk mendistribusikan partikel silika pada membran. Dimana, pendispersi isopropanol yang memiliki gugus alkil ( $-\text{CH}_3$ ) ini berguna untuk membantu ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  untuk melapisi permukaan lapisan penyangga (kain katun) dan membentuk *skin active*. Ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  yang telah melapisi kain katun ini sangat berperan dalam menentukan sifat hidrofobisitas dari suatu membran komposit yang dihasilkan (Jang dkk., 2010). Sehingga

berdasarkan teori tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  yang didispersikan pada permukaan kain katun, maka semakin meningkat pula sifat hidrofobisitas dari membran komposit yang dihasilkan. Dimana sifat hidrofobisitas ini ditunjukkan dengan sudut kontak air yang meningkat dengan bertambahnya komposisi gel silika terhadap pendispersi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1.

Fenomena yang terjadi pada penelitian ini telah sesuai dengan teori dan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Goncharuk dkk. (2015). Dimana pada penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa besar sudut kontak dari permukaan komposit yang dilapisi oleh silika hidrofobik berbanding lurus dengan jumlah gugus atau ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$ . Sehingga dari fenomena ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi atau komposisi gel silika hidrofobik terhadap pendispersi dapat meningkatkan sifat hidrofobisitas dari membran komposit.

#### **4.2. Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Hidrofobisitas Membran Komposit Silika Hidrofobik**

Selain pengaruh dari konsentrasi atau komposisi gel silika terhadap pendispersi, hidrofobisitas membran juga dipengaruhi oleh waktu perendaman atau pencelupan lapisan penyangga pada silika hidrofobik. Sehingga, untuk mendapatkan membran komposit dengan sudut kontak terbaik, maka waktu perendaman atau pencelupan kain katun pada silika hidrofobik divariasikan selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit.

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1, terjadi peningkatan sudut kontak dari membran seiring bertambah lamanya waktu perendaman yang dilakukan. Dimana pada tiap variabel konsentrasi gel silika, diperoleh sudut kontak tertinggi pada waktu perendaman selama 20 menit dengan sudut kontak mencapai  $171,813^\circ$  pada konsentrasi gel silika sebesar 1,8%. Sedangkan sudut kontak terendah terdapat pada waktu perendaman selama 5 menit dengan sudut kontak  $153,028^\circ$  pada konsentrasi gel silika sebesar 1%.

Pada proses *dip-coating*, gel silika hidrofobik akan mengikat secara reaksi kondensasi pada permukaan media penyangga yaitu kain katun. Distribusi gel silika hidrofobik pada permukaan kain katun ini memerlukan waktu tertentu untuk dapat terdistribusi secara merata. Dimana semakin lama waktu perendaman atau pencelupan pada proses *dip-coating*, maka gel silika hidrofobik juga akan semakin merata pada

permukaan media penyangga kain katun. Semakin meningkatnya sifat hidrofobisitas yang ditunjukkan oleh nilai sudut kontak yang meningkat menunjukkan semakin meratanya gugus atau ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  yang didispersikan oleh gugus alkil  $(-\text{CH}_3)$  dari pendispersi isopropanol. Dapat dilihat juga pada Tabel 4.1, standar deviasi atau simpangan yang dimiliki oleh variabel waktu perendaman selama 20 menit bernilai cukup kecil dengan simpangan rata-rata dari keenam titik yang digunakan sebagai data sudut kontak adalah sebesar  $\pm 0,65$  sehingga dapat dikatakan bahwa sudut kontak antara titik satu dan titik lainnya tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini merupakan salah satu indikasi bahwa gel silika hidrofobik telah terdistribusi secara merata pada permukaan kain katun.

Pernyataan ini juga telah sesuai dan dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Shirgholami dkk. (2012). Pada penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa waktu perendaman pada proses *dip-coating* yang divariasikan memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan sudut kontak membran yang dihasilkan. Dimana pada penelitian tersebut, diperoleh sudut kontak tertinggi sebesar  $166,7^\circ$  pada lama waktu perendaman terbesar yaitu selama 120 menit dan diperoleh hasil bahwa semakin lama waktu perendaman pada proses *dip-coating*, maka akan menghasilkan permukaan membran yang lebih kasar sehingga meningkatkan sudut kontak. Sehingga dari teori tersebut dan fenomena ini dapat disimpulkan bahwa lama waktu perendaman berbanding lurus dengan besarnya sudut kontak membran yang dihasilkan.

Gambar 4.2 menampilkan ilustrasi dari proses pelapisan silika hidrofobik pada permukaan media penyangga kain katun. Ketika kain katun mengalami proses perendaman di dalam larutan silika hidrofobik pada proses *dip-coating*, partikel silika hidrofobik akan menempel atau terdepositkan pada permukaan media kain katun. Menurut Xu dkk. (2016), pada proses pelapisan ini akan terjadi reaksi kondensasi antara gugus  $-\text{OH}$  yang terdapat pada permukaan kain katun dengan gugus  $\text{Si}-\text{OH}$  yang berasal dari partikel silika hidrofobik yang berlangsung selama proses *drying* atau pengeringan. Hal ini menyebabkan partikel silika hidrofobik akan terikat secara kovalen pada permukaan kain katun, dimana seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gugus  $\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  akan memberikan sifat hidrofobik pada partikel silika.



Gambar 4.2. Mekanisme pelapisan silika hidrofobik pada permukaan kain katun

### 4.3. Uji Performa Membran Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Campuran Minyak dan Air

Untuk menguji performa membran silika hidrofobik yang dihasilkan, dilakukan uji pemisahan campuran minyak dan air pada membran silika hidrofobik. Parameter performa yang digunakan dari membran silika hidrofobik yang digunakan terdiri atas fluks dan selektivitasnya. Adapun pengujian performa membran silika hidrofobik ini dilakukan dengan membran yang memiliki luasan sebesar 0,00305 m<sup>2</sup> dan disusun dalam sebuah rangkaian modul membran.

#### 4.3.1. Uji Performa Fluks Membran Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Campuran Minyak dan Air

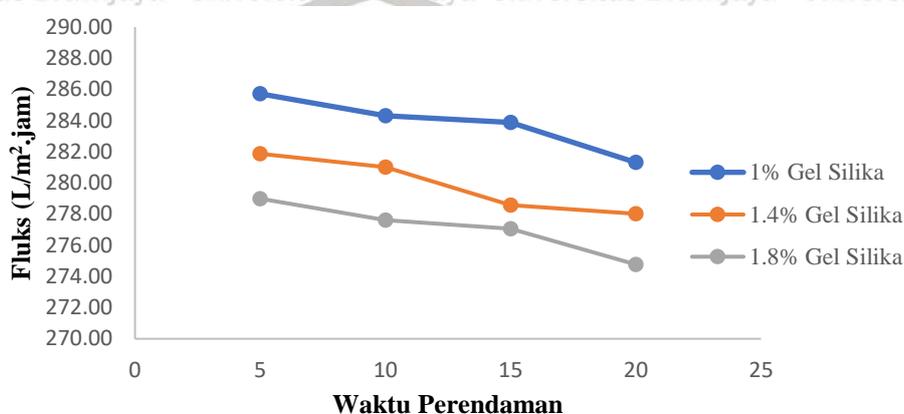
Perhitungan nilai fluks yang dilakukan pada uji performa ini merupakan nilai fluks dari permeat berupa minyak goreng sawit murni dengan merk *Sanco*. Persamaan garis lurus dan fluks minyak yang diperoleh ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2. Data fluks membran silika hidrofobik

Komposisi Gel Silika	Waktu Perendaman	Persamaan Garis Lurus	Fluks (L/m <sup>2</sup> .jam)
1%	5 Menit	$y = 13.98x + 10.7$	285.72
	10 Menit	$y = 13.86x + 11.5$	284.31
	15 Menit	$y = 13.75x + 13.2$	283.87
	20 Menit	$y = 13.68x + 12.2$	281.31
1.4%	5 Menit	$y = 13.65x + 13.2$	281.9
	10 Menit	$y = 13.58x + 13.8$	281.01
	15 Menit	$y = 13.44x + 14$	278.6
	20 Menit	$y = 13.4x + 14.3$	278.02
1.8%	5 Menit	$y = 13.49x + 13.5$	278.99

10 Menit	$y = 13.37x + 14.4$	277.62
15 Menit	$y = 13.31x + 14.3$	276.06
20 Menit	$y = 13.2x + 14.9$	274.77

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa fluks membran silika hidrofobik mengalami penurunan seiring meningkatnya waktu perendaman kain katun pada gel silika pada proses *dip-coating*. Dimana fluks tertinggi diperoleh pada waktu perendaman 5 menit yang hingga mencapai 285,72 L/m<sup>2</sup>.jam, sedangkan fluks terendah diperoleh pada waktu perendaman 20 menit yang dapat mencapai 274.77 L/m<sup>2</sup>.jam.



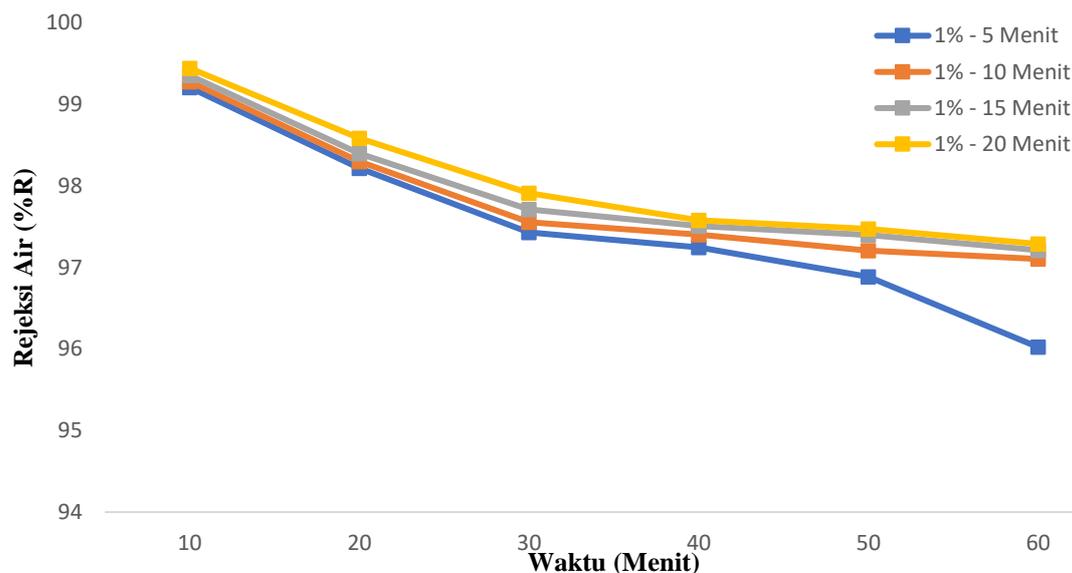
Gambar 4.3. Fluks membran terhadap waktu perendaman

Dapat dilihat pada Tabel 4.2, fluks minyak pada pemisahan menggunakan membran silika hidrofobik mengalami penurunan seiring bertambah lamanya waktu perendaman yang dilakukan. Penurunan fluks ini diakibatkan karena dengan semakin lamanya waktu perendaman, maka distribusi dari gel silika hidrofobik ke permukaan membran akan semakin merata. Pada penelitian yang dilakukan oleh Safitri dan Aritonang (2019), dimana disebutkan bahwa semakin baik distribusi suatu gel dapat dilihat atau diindikasikan dari bertambahnya jumlah gugus atau ikatan  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$ . Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa gugus  $-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3$  merupakan salah satu faktor utama dalam penentuan sifat hidrofobisitas suatu membran komposit (Jang dkk., 2010). Karena distribusi gel silika hidrofobik yang semakin baik seiring bertambahnya lama waktu perendaman yang menyebabkan meningkatnya hidrofobisitas membran komposit ini, maka interaksi antara molekul minyak dan bagian hidrofobik pada membran komposit akan semakin meningkat. Dimana dengan meningkatnya interaksi ini akan menyebabkan turunnya fluks minyak sebagai hasil pemisahan pada membran komposit. Pernyataan ini

didukung dengan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Andina (2017), dimana disebutkan bahwa semakin tinggi interaksi zat dengan membran hidrofobik dapat menyebabkan terjadinya penurunan fluks permeat yang dihasilkan selama proses pemisahan.

#### 4.3.2. Uji Performa Selektivitas Membran Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Campuran Minyak dan Air

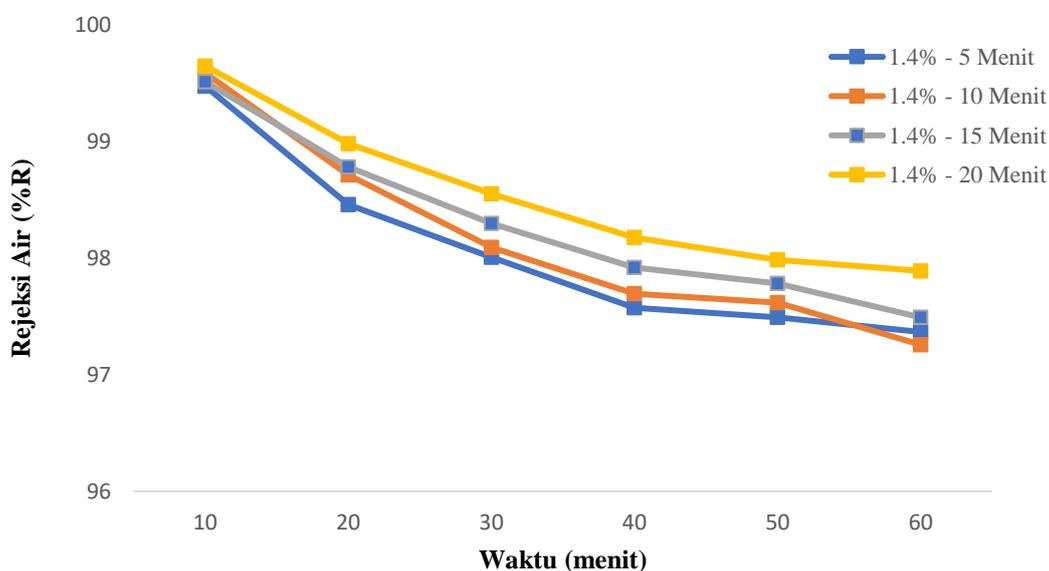
Pada uji performa ini, kadar air dihitung sesuai dengan standar SNI:7709-2012 untuk menghitung kadar air yang terkandung dalam permeat setelah proses pemisahan campuran minyak dan air. Pada proses pemisahan minyak dan air, perbandingan komposisi antara minyak dan air yang digunakan adalah sebesar 76% minyak dan 24% air. Dimana selektivitas membran dihitung pada permeat yang dihasilkan tiap interval waktu 10 menit selama 1 jam. Adapun selektivitas membran yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.4. Selektivitas membran pada komposisi gel silika 1%

Gambar 4.4 menampilkan data selektivitas membran dengan nilai koefisien rejeksi (R) pada rentang 96% hingga 99,2%. Berdasarkan nilai koefisien rejeksi ini dapat dikatakan bahwa membran dapat memisahkan campuran minyak dan air. Air akan tertahan dipermukaan membran, sedangkan minyak akan lolos melewati membran sebagai permeat. Hal ini diakibatkan oleh sifat hidrofobisitas membran yang memungkinkan membran untuk bersifat menolak air. Namun, dapat dilihat juga pada gambar diatas, selektivitas mengalami penurunan seiring bertambah lamanya waktu

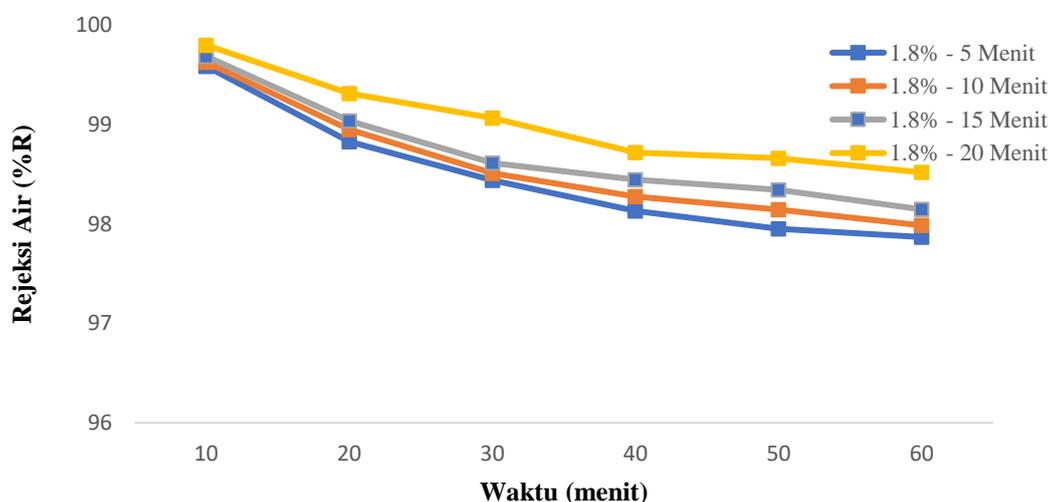
pemisahan. Hal ini disebabkan oleh adanya air yang tertahan diatas permukaan membran, sehingga menyebabkan terjadinya polarisasi konsentrasi pada membran komposit silika hidrofobik. Dimana dengan meningkatnya polaritas dari membran silika hidrofobik akan menyebabkan menurunnya sifat hidrofobisitas dari membran komposit silika tersebut (Aergerter, 2011). Dengan menurunnya sifat hidrofobisitas membran komposit silika maka akan menyebabkan kecenderungan membran dalam meloloskan air akan semakin meningkat. Hal ini merupakan penyebab nilai selektivitas dari membran seiring dengan bertambah lamanya waktu pemisahan akan semakin menurun. Selain itu, penurunan selektivitas dari membran komposit silika ini dapat disebabkan karena ketidakstabilan dari silika berdasarkan sifat hidrofobisitasnya yang menyebabkan air dapat melewati membran hidrofobik (Septiadi dan Yuniardi, 2019). Selain faktor polarisasi konsentrasi, penurunan nilai rejeksi air ini dapat disebabkan karena adanya pengurangan ukuran pori dari membran komposit, dimana pengurangan ukuran pori ini disebabkan karena terjadinya adsorpsi molekul minyak pada permukaan pori-pori membran yang keduanya memiliki sifat nonpolar yang saling berikatan. Hal ini mengakibatkan molekul minyak yang teradsorpsi pada permukaan minyak akan menyebabkan ukuran pori membran mengalami penurunan (Widyasmara dkk., 2013).



Gambar 4.5. Selektivitas membran pada komposisi gel silika 1.4%

Gambar 4.5 menampilkan data selektivitas membran dengan nilai koefisien rejeksi (R) pada rentang 97,36% hingga 99,64%. Nilai koefisien rejeksi ini menunjukkan bahwa membran dapat memisahkan campuran minyak dan air dengan lebih baik dibandingkan dengan komposisi gel silika 1%. Namun, pada membran ini juga

mengalami penurunan selektivitas seiring waktu yang disebabkan oleh polarisasi konsentrasi air yang terjadi pada permukaan membran komposit silika hidrofobik dan juga ketidakstabilan sifat hidrofobisitas dari membran seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

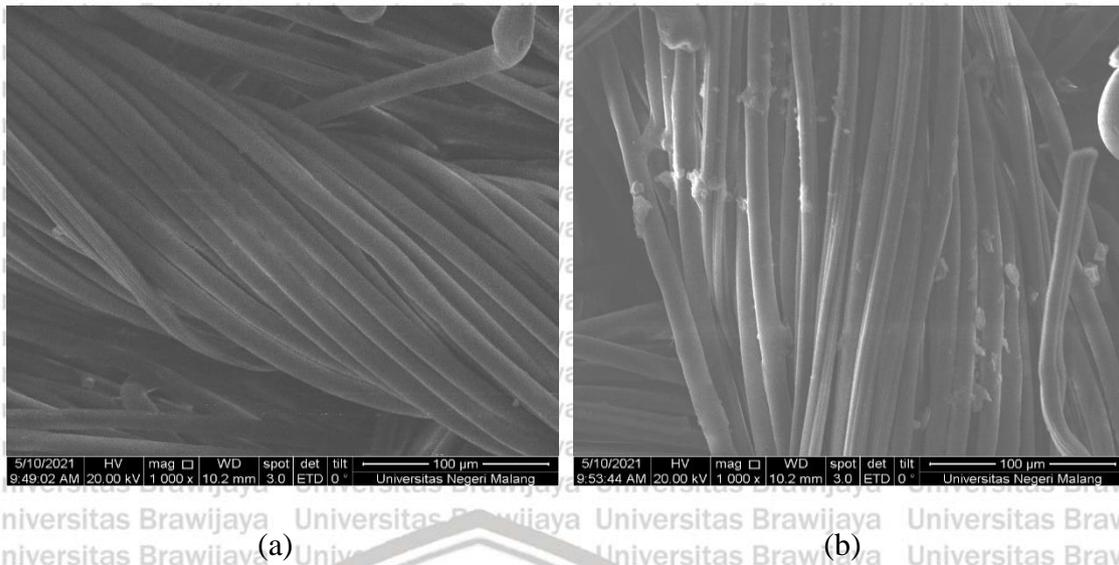


Gambar 4.6. Selektivitas membran pada komposisi gel silika 1.8%

Gambar 4.6 menampilkan data selektivitas membran dengan nilai koefisien rejeksi (R) pada rentang 97,89% hingga 99,8%. Nilai koefisien rejeksi ini menunjukkan bahwa membran dapat memisahkan campuran minyak dan air dengan lebih baik dibandingkan dengan 2 variabel komposisi gel silika sebelumnya yaitu sebesar 1% dan 1.4%. Berdasarkan tiga grafik diatas, dapat dilihat bahwa selektivitas mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya hidrofobisitas membran. Hal ini juga berkaitan dengan pernyataan mengenai interaksi membran hidrofobik dengan minyak. Dimana semakin baik distribusi gel silika hidrofobik dan semakin tinggi hidrofobisitas suatu membran, maka interaksi membran hidrofobik dengan minyak akan semakin tinggi pula. Hal ini menyebabkan kecenderungan membran komposit dalam meloloskan air akan semakin kecil, sehingga selektivitasnya akan semakin tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi hidrofobisitas suatu membran maka selektivitas atau rejeksi air suatu membran juga akan ikut meningkat.

#### 4.4. Analisa Permukaan Membran Komposit Silika Hidrofobik dengan Uji SEM

Pada penelitian ini dilakukan pengujian morfologi permukaan dari kain katun sebelum dan sesudah dilapisi oleh partikel silika hidrofobik. Pengujian morfologi permukaan ini dilakukan dengan *scanning electron microscope* (SEM). Gambar hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7. Hasil pengujian SEM pada permukaan kain katun: (a) tanpa pelapisan; dan (b) dengan pelapisan silika hidrofobik

Gambar 4.7 menunjukkan adanya perbedaan pada morfologi permukaan dari kain katun sebelum dan sesudah pelapisan dengan silika hidrofobik. Gambar 4.7a menunjukkan kain katun setelah mendapatkan *pretreatment* dan dapat dilihat bahwa struktur permukaannya masih terlihat mulus atau bersih dan tidak ada nanopartikel silika yang menempel pada permukaan kain katun. Sedangkan dapat dilihat pada Gambar 4.7b, bahwa terdapat nanopartikel silika yang menempel pada kain katun dan telah terdistribusi secara merata. Sehingga berdasarkan kedua hasil pengujian morfologi permukaan dengan *scanning electron microscope* (SEM), dapat disimpulkan bahwa proses pelapisan silika hidrofobik pada kain katun selama proses *dip-coating* telah berhasil dilakukan

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Komposisi gel silika hidrofobik dan waktu perendaman dapat mempengaruhi sifat hidrofobisitas dari membran yang dihasilkan, dimana waktu perendaman selama 20 menit dan komposisi gel silika hidrofobik 1,8% menghasilkan sudut kontak sebesar  $171,813^\circ$ .
2. Uji performa pemisahan campuran minyak dan air dihitung melalui nilai fluks dan selektivitas. Dimana nilai fluks minyak rata-rata yang diperoleh adalah sebesar  $280,178 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$  dengan nilai selektivitas pada rentang 96,02% - 99,80%. Performa terbaik pada uji pemisahan dihasilkan pada waktu perendaman selama 15 menit dengan komposisi gel silika sebesar 1,8% (w/w) terhadap pendispersi yang menghasilkan fluks minyak sebesar  $276,06 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$  dengan nilai selektivitas sebesar 98,72%.

#### 5.2. Saran

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut tentang performa membran komposit pada uji pemisahan minyak dan air dengan waktu pengujian yang lebih lama.
2. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut pada morfologi permukaan dan komposisi kimia dari membran komposit dengan instrumen SEM-EDX dengan perbesaran yang lebih tinggi dan juga deteksi gugus fungsi menggunakan FT-IR.
3. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai karakteristik membran komposit silika hidrofobik lainnya sehingga dapat difabrikasi secara komersial.



*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## DAFTAR PUSTAKA

Aegerter, Michel A., Leventis, Nicholas, Koebel, dan Matthias M. 2011. *Advances in Sol-Gel Derived Materials and Technologies: Aerogel Handbook*. New York: Springer.

Ahmad, A.L., Ahmad, N.A., Leo, C.P., dan W. Ramli. 2014. *Membranes with Great Hydrophobicity: A Review on Preparation and Characterization*. Malaysia: Universiti Malaysia Perlis.

Ahmed, S., dan Suvardhan Kanchi. 2018. *Green Metal Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Their Applications*. New Jersey: Wiley.

Amri, Syahreza. 2018. Analisa dan Identifikasi Kegagalan pada Stasiun Klarifikasi Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Failure Mode dan Effect Analysis (FMEA) di PTPN IV PKS Adolina. Skripsi Sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara: diterbitkan.

Arahman, Nasrul. 2017. *Teknologi Membran: Material, Pembuatan, Modifikasi, dan Karakterisasi*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.

Ali, H., Al-Sharafi, A., dan Bekir S.Y. 2019. *Self Cleaning of Surfaces and Water Droplet Mobility*. Saudi Arabia: Elsevier.

Angela, R., dan Jhon A.P. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Membran Hibrid PMMA/TEOT: Pengaruh Konsentrasi Polimer. Riau: Universitas Riau.

Apriwaluyo, Daud, dan Andrianto, S.D. 2018. Pembuatan Membran Komposit Silika Hidrofobik untuk Pemisahan Minyak-Air. Skripsi Sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya: tidak diterbitkan.

Brinker, C.J., dan George W.C. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego: Academic Press, Inc.

Deveci, H., dan Gulcihan G.K. 2020. *Effect of Aging Solvents on Physicochemical and Thermal Properties of Silica Xerogels Derived from Steel Slag*. *ChemistrySelect*, Vol. 5: 1586-1591

Gammon, S., dan Darrell D.E. 2009. *General Chemistry* 9<sup>th</sup> edition. Boston: Houghton Mifflin Company.

Goncharuk, Olena V., Sulym, Iryna Ya., Terpilowski, K., dan Evgeniy M. Pakhlov. 2015. *Effect of the Synthesis Methods on Hydrophobic Properties of Modified Silicas*. *Journal of Adsorption Science & Technology*, Vol. 33: 6-8.

Guan, K., Qin, W., Lei, B., Liu, Y., dan Jianqing W. 2017. *One-step Coating and Characterization of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Microfiltration Membrane*. *Journal of Membrane Science* 490: 160-168.

Hamidah, N., Rizkiana, M.F., Setyawan, H., dan Samsudin A. 2012. Pelapisan Hidrofobik pada Kaca melalui Metode Sol-Gel dengan *Precursor* Waterglass. *Jurnal Teknik Pomits* Vol.1, No. 1: 1-4.

Han, S.W., Kim, K.D., Seo, H.O, Kim, I.H., Jeon, C.S., An, J.E., dan Young D.K. 2017. *Oil- Water Separation Using Superhydrophobic PET Membranes Fabricated Via Simple Dip-Coating of PDMS-SiO<sub>2</sub> Nanoparticles*. *Journal of Macromolecular Materials and Engineering* 302:1700218.

Hidayatullah, M., dan Kuwat T. 2018. Pengukuran Konsentrasi Larutan Sodium Hidroksida (NaOH) dengan Transduser Kapasitif. *Jurnal Ilmu Fisika*, Vol. 10, No. 1: 17-27.

Imansari, M.B., dan Mahardana, N.S. 2018. Pengaruh Rasio H<sub>2</sub>O:Natrium Silikat dan Konsentrasi Katalis NH<sub>4</sub>OH pada Membran Komposit Silika Hidrofobik dalam Pemisahan CPO-Air. Skripsi Sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya: tidak diterbitkan.

Lai, O.M., Tan, C.P., dan Akoh C.C. 2012. *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses*. Urbana: AOCS Press.

Korotcenkov, G. 2016. *Porous Silicon: From Formation to Application*. Boca Raton: CRC Press.

Mba, O.I., Dumont, M.J., dan Michael N. 2015. *Palm Oil: Processing, Characterization and Utilization in the Food Industry*. *Journal of Food Bioscience*, Vol. 10: 26-41.

Malucelli, Giulio. 2016. *Hybrid Organic/Inorganic Coatings Through Dual-Cure Processes: State of the Art and Perspectives*. *Journal of Coatings*, Vol. 6: 10-21.

Mulder, Marcel. 2012. *Basic Principles of Membrane Technology* 2<sup>nd</sup> edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Nazriati, Setyawan, H., Winiardi, S., Arizanova, R., dan Enggar E.V. 2011. Sintesis Silika Aerogel dengan Bahan Dasar Abu Bagasse. *Jurnal Reaktor* Vol. 13, No. 4: 220-224.

Niederberger, M., dan Nicola P. 2009. *Metal Oxide Nanoparticles in Organic Solvents*. London: Springer.

Padaki, M., Murali, R.S., Abdullah, M.S., Misdan, N., Moslehyani, A., Kassim, M.A., Hilal, N., dan A.F. Ismail. 2014. *Membrane Technology Enhancement in Oil-Water Separation*. *Journal of Desalination*. Vol. 357: 197-207.

Pahan, L. 2008. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*. Penebar Swadaya.

Pan, W., dan Gong J. 2011. *High Performance Ceramics VII*. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd.

Pillai, S.C., dan Hehir S. 2017. *Sol-Gel Materials for Energy, Environment and Electronic Applications*. Switzerland: Springer.

Pinnau, I. 2000. *Membrane Formation and Modification*. California: Academic Press.

Princi, Elisabetta. 2011. *Handbook of Polymers in Paper Conservation*. Shawbury: Smithers.

Putri, T.A., Ratnawulan, dan Ramli. 2018. Sintesis Lapisan *Hydrophobic* Nanokomposit Mangan Oksida/Polystyrene (MnO<sub>2</sub>/PS) Untuk Aplikasi *Self Cleaning*. *Journal of Pillar of Physics*, Vol. 11, No. 2: 1-8.

Ruswadi, Adi. 2019. *Mengenal Teknologi Pengolahan Tandan Buah Sawit (TBS) Menjadi Minyak Kelapa Sawit*. Instiper Yogyakarta.

Safitri, A.W., dan Aritonang, H.I. 2019. Karakterisasi Membran Komposit SiO<sub>2</sub> Hidrofobik Terhadap Komposisi dan Jenis Pendispersi pada Pemisahan

Campuran CPO-Air. Skripsi Sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya; tidak diterbitkan.

Septiadi, H.T., dan Yuniardi, M.I. 2019. Studi Kestabilan Hidrofobisitas Membran Komposit Silika Hidrofobik dan Uji Pemisahan Campuran Minyak-Air.

Skripsi Sarjana pada Fakultas Teknis Universitas Brawijaya; tidak diterbitkan.

Shahidi, F., dan Miraliakbari M. 2005. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products 6<sup>th</sup> edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Shirgholami, Mohammad A., Khalilabad, Mohammad S., dan Mohammad E.

Yazdanshenas. 2012. *Effect of Reaction Duration in the Formation of Superhydrophobic Polymethylsilsesquioxane Nanostructures on Cotton Fabric*. *Textile Research Journal*, Vol. 83:100.

Tawari, P.K. 2016. *Nanocomposite Membrane Technology: Fundamentals and Applications*. Boca Raton: CRC Press.

Tejedor, M.I., Chu, L., dan Anderson M. 1995. *Particulate Sol-Gel Route for Microporous Silica Gels*. *Journal of Microporous Materials*, Vol. 8: 207-213.

Wang, X., Liu, Y., Pan, Y.T., Zhu, P., Wagenknecht, U., Heinrich, G., dan Zhang X.Q. 2016. *Effect of phosphorus-containing inorganic-organic hybrid coating on the flammability of cotton fabrics: Synthesis, Characterization and Flammability*. *Journal of Chemical Engineering*, Vol. 294: 167-175.

Wang, J., dan Hongfei W. 2018. *Ultra-hydrophobic and mesoporous silica aerogel membranes for efficient separation of surfactant-stabilized water-in-oil emulsion separation*. *Separation and Purification Technology*, Vol 212: 597-604.

Warner, James. 2004. *Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock, and Structures*. New Jersey: Wiley

Widyasmara, Maria., dan Cindika K. Dewi. 2013. Potensi Membran Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Limbah Cair Berminyak. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. 2: 295-307.

Wu, L., Zhang, J., Li, B., dan Aiqin W. 2014. *Mechanical- and oil-durable superhydrophobic polyester materials for selective oil absorption and*

oil/water separation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 413: 112-117.

Xu, Guilong, Song, H., Zhao, Z., Wang, Yi, dan Jian Hu. 2016. *Facial Preparation of Superhydrophobic and Superoleophilic Textiles by Depositing nano-SiO<sub>2</sub> for Oil-Water Separation. Journal of the Textile Institute*, 108: 1297-1301.

Xue, C.H., Ji, P.T., Zhang, P., Li, Y.R., dan Shun-Tian J. 2013. *Fabrication of Superhydrophobic and Superoleophilic Textiles for Oil-Water Separation. Journal of Applied Surface Science*, 284: 464-471.

Yazdanshenas, M.E., dan Mohammad S.K. 2012. *The Effect of Alkali Pre-treatment on Formation and Adsorption of Silver Nanoparticles on Cotton Surface. Journal of Fiber and Polymers*, Vol. 13, No. 9: 1170-1178.





*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## LAMPIRAN

## LAMPIRAN A. DATA DAN PERHITUNGAN

## LAMPIRAN A.1. HASIL PENGUJIAN SUDUT KONTAK

Tabel A.1. Hasil data pengujian sudut kontak pada 1% berat gel silika

Variabel	Titik Ke-	Sudut Kontak	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)
5 Menit	1	153.091	153.028	0.703
	2	153.564		
	3	153.475		
	4	152.269		
	5	152.06		
	6	153.709		
10 Menit	1	155.84	155.381	0.774
	2	155.63		
	3	154.345		
	4	155.93		
	5	154.457		
	6	156.085		
15 Menit	1	157.809	157.292	0.542
	2	157.202		
	3	156.444		
	4	156.969		
	5	157.878		
	6	157.448		
20 Menit	1	162.98	161.718	0.890
	2	161.739		
	3	162.248		
	4	161.141		
	5	160.396		
	6	161.806		

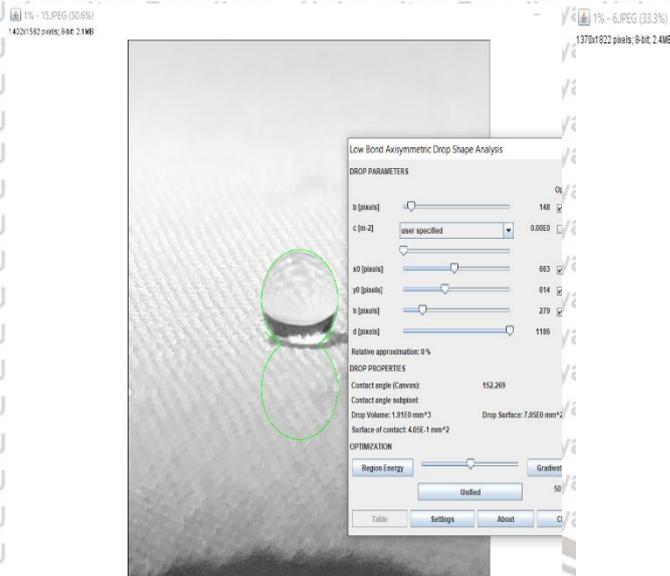
Tabel A.2. Hasil data pengujian sudut kontak pada 1.4% berat gel silika

Variabel	Titik Ke-	Sudut Kontak	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)
5 Menit	1	161.452	161.328	0.487
	2	161.204		
	3	162.248		
	4	160.901		
	5	161.048		
	6	161.113		
10 Menit	1	163.402	163.151	0.355
	2	162.544		
	3	163.117		
	4	163.227		
	5	163.575		
	6	163.043		
15 Menit	1	166.768	165.513	0.773

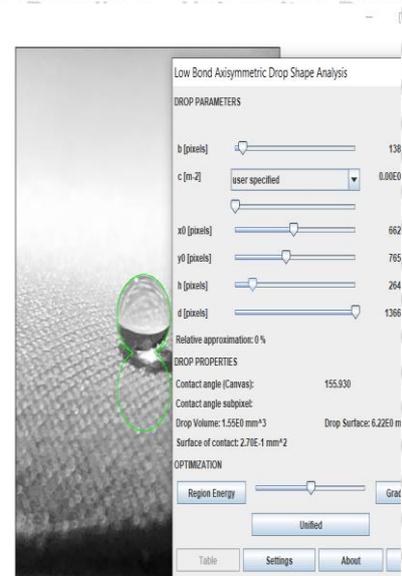
	2	165.751		
	3	164.778		
	4	164.641		
	5	165.409		
	6	165.729		
	1	168.161		
	2	167.321		
20 Menit	3	168.637	168.086	0.470
	4	168.346		
	5	168.286		
	6	167.763		

Tabel A.3. Hasil data pengujian sudut kontak pada 1.8% berat gel silika

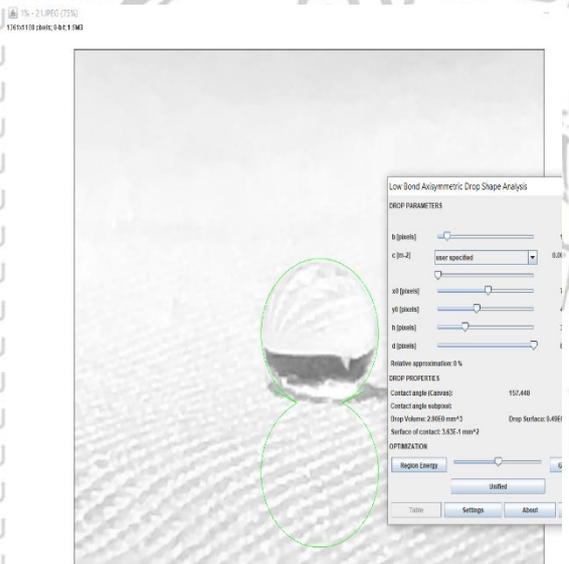
Variabel	Titik Ke-	Sudut Kontak	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)
	1	166.695		
	2	165.228		
5 Menit	3	166.019	165.633	0.855
	4	165.944		
	5	165.729		
	6	164.18		
	1	168.031		
	2	167.282		
10 Menit	3	168.637	168.066	0.551
	4	168.064		
	5	167.668		
	6	168.711		
	1	169.9		
	2	170.635		
15 Menit	3	170.538	170.220	0.521
	4	170.441		
	5	169.299		
	6	170.506		
	1	172.474		
	2	171.153		
20 Menit	3	172.569	171.813	0.601
	4	171.34		
	5	171.452		
	6	171.892		



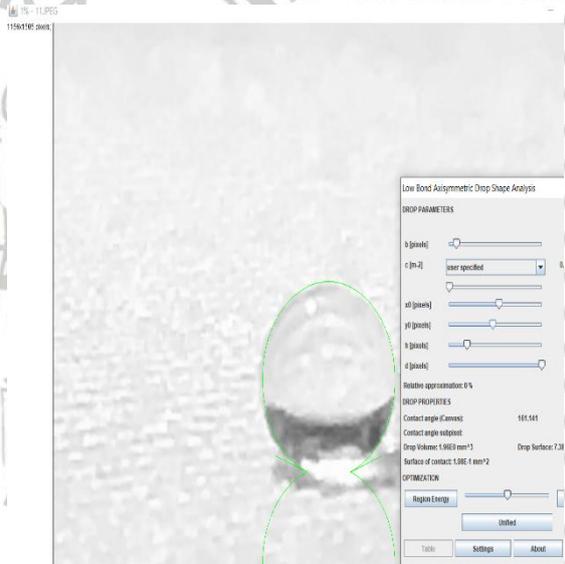
Gambar A.1. Sudut kontak 1% gel silika dengan waktu perendaman 5 menit



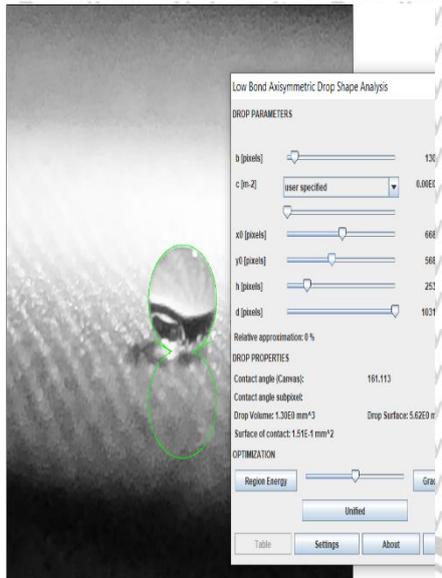
Gambar A.2. Sudut kontak 1% gel silika dengan waktu perendaman 10 menit



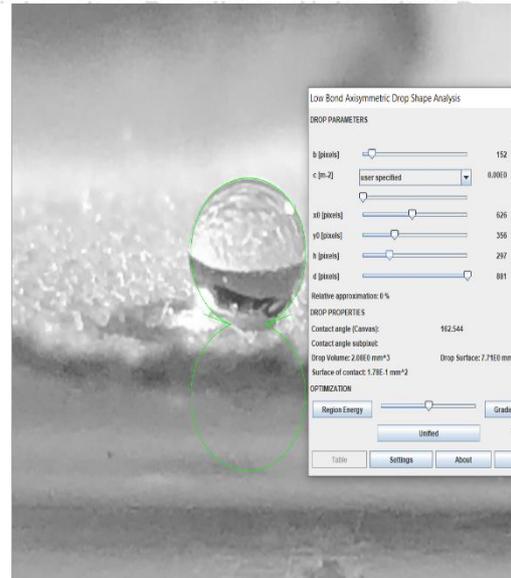
Gambar A.3. Sudut kontak 1% gel silika dengan waktu perendaman 15 menit



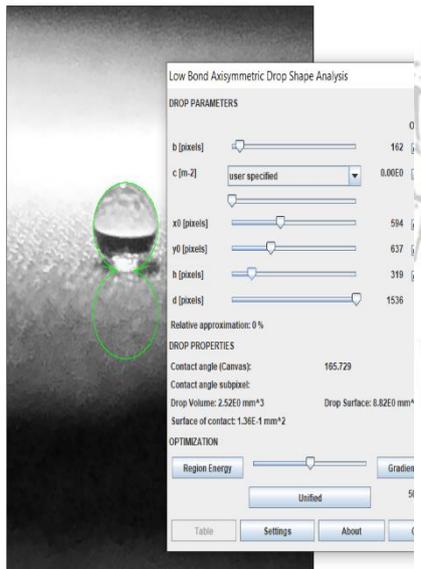
Gambar A.4. Sudut kontak 1% gel silika dengan waktu perendaman 20 menit



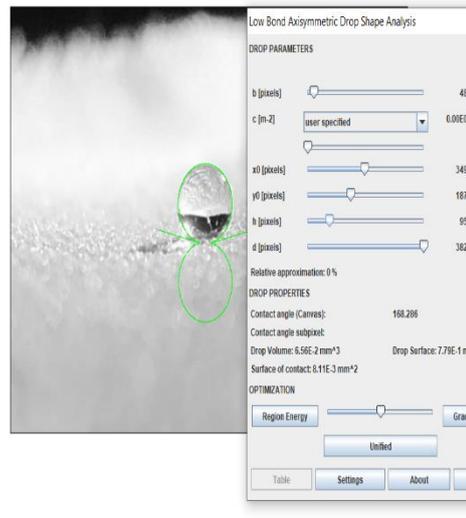
Gambar A.5. Sudut kontak 1.4% gel silika dengan waktu perendaman 5 menit



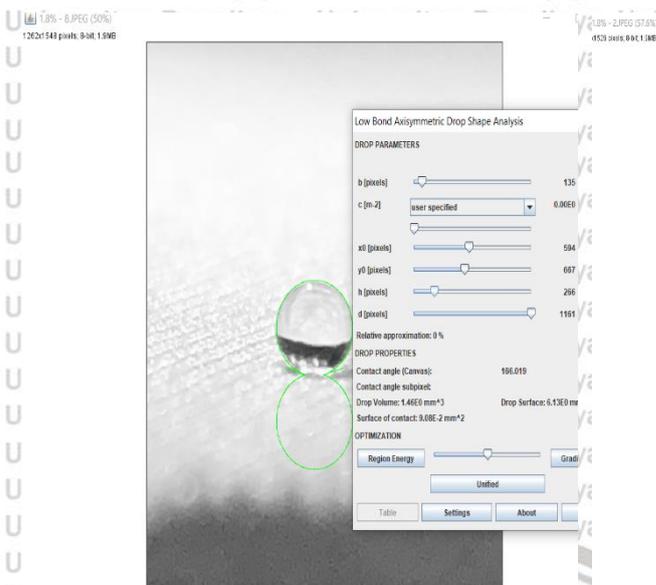
Gambar A.6. Sudut kontak 1.4% gel silika dengan waktu perendaman 10 menit



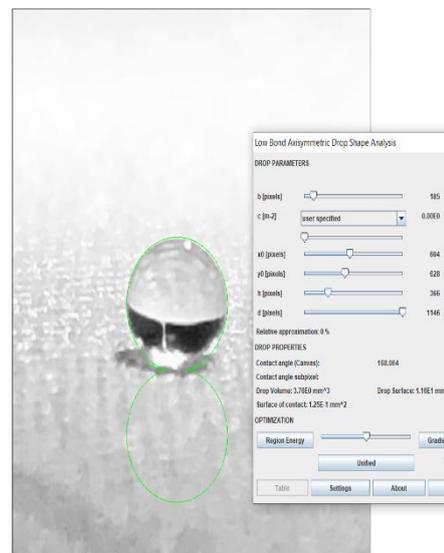
Gambar A.7. Sudut kontak 1.4% gel silika dengan waktu perendaman 15 menit



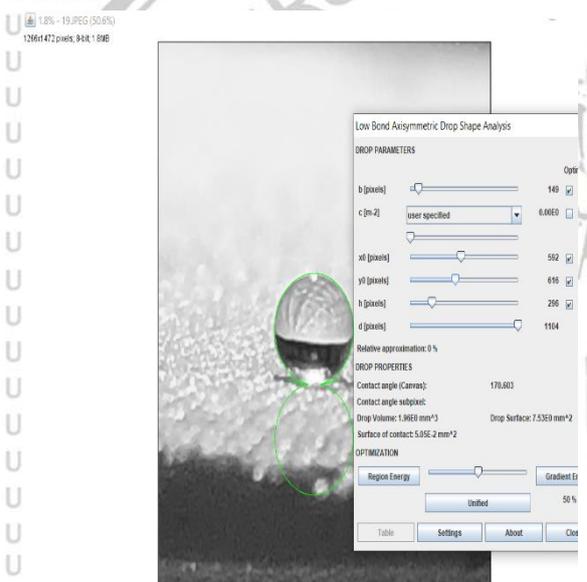
Gambar A.8. Sudut kontak 1.4% gel silika dengan waktu perendaman 20 menit



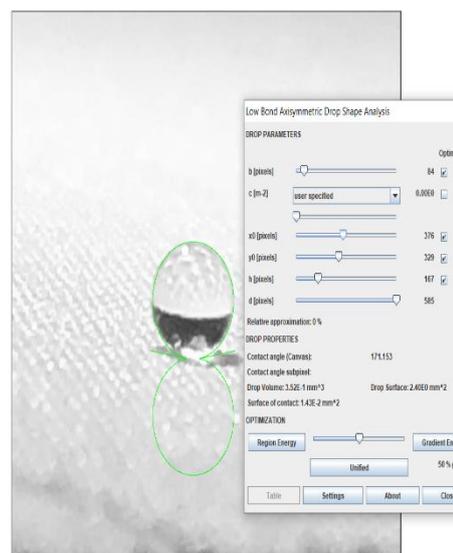
Gambar A.9. Sudut kontak 1.8% gel silika dengan waktu perendaman 5 menit



Gambar A.10. Sudut kontak 1.8% gel silika dengan waktu perendaman 20 menit



Gambar A.11. Sudut kontak 1.8% gel silika dengan waktu perendaman 15 menit



Gambar A.12. Sudut kontak 1.8% gel silika dengan waktu perendaman 20 menit

## LAMPIRAN A.2. DATA FLUKS

Data fluks dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

J = Fluks membran  
(L/m<sup>2</sup>.jam)

A = Luas permukaan membran (m<sup>2</sup>)

t = Waktu (jam)

Variabel Tetap

Flowrate = 0.9 L/jam

Luas

Permukaan = 0.00305 m<sup>2</sup>

Tabel A.3. Data fluks pada 1% gel silika

Variabel Waktu Perendaman	Waktu		Volume (mL)	Volume Permeat Kumulatif (mL)	Persamaan Garis Lurus	Slope/Fluks (L/m <sup>2</sup> .jam)
	menit	jam				
5 Menit	0	0	0	0	$y = 13.98x + 10.7$	285.72
	10	0.17	147.5	147.5		
	20	0.33	144	291.5		
	30	0.50	141	432.5		
	40	0.67	139	571.5		
	50	0.83	138	709.5		
	60	1	138	847.5		
10 Menit	0	0	0	0	$y = 13.866x + 11.53$	284.31
	10	0.17	147	147		
	20	0.33	143	290		
	30	0.50	140	430		
	40	0.67	138	568		
	50	0.83	137	705		
	60	1	136	841		
15 Menit	0	0	0	0	$y = 13.759x + 13.2$	283.87
	10	0.17	147	147		
	20	0.33	143	290		
	30	0.50	138	428		
	40	0.67	138.5	566.5		
	50	0.83	135	701.5		
	60	1	134	835.5		
20 Menit	0	0	0	0	$y = 13.68x + 12.2$	281.31
	10	0.17	147	147		
	20	0.33	140	287		
	30	0.50	137	424		
	40	0.67	136	560		

	50	0.83	136	696	
	60	1	136	832	

Tabel A.4. Data fluks pada 1.4% gel silika

Variabel Waktu Perendaman	Waktu		Volume (mL)	Volume Permeat Kumulatif (mL)	Persamaan Garis Lurus	Slope/Fluks <sub>s</sub> (L/m <sup>2</sup> .jam)
	menit	jam				
5 Menit	0	0	0	0	$y = 13.654x + 13.26$	281.87
	10	0.17	146	146		
	20	0.33	142	288		
	30	0.50	138	426		
	40	0.67	135	561		
	50	0.83	135	696		
	60	1	134	830		
10 Menit	0	0	0	0	$y = 13.58x + 13.86$	281.01
	10	0.17	146	146		
	20	0.33	141	287		
	30	0.50	137	424		
	40	0.67	135	559		
	50	0.83	134	693		
	60	1	133	826		
15 Menit	0	0	0	0	$y = 13.446x + 14.06$	278.58
	10	0.17	144	144		
	20	0.33	141	285		
	30	0.50	136	421		
	40	0.67	133	554		
	50	0.83	132	686		
	60	1	132	818		
20 Menit	0	0	0	0	$y = 13.406x + 14.3$	278.02
	10	0.17	144	144		
	20	0.33	140	284		
	30	0.50	136	420		
	40	0.67	133	553		
	50	0.83	131.5	684.5		
	60	1	131	815.5		

Tabel A.5. Data fluks pada 1.8% gel silika

Variabel Waktu Perendaman	Waktu		Volume (mL)	Volume Permeat Kumulatif (mL)	Persamaan Garis Lurus	Slope/Fluks <sub>s</sub> (L/m <sup>2</sup> .jam)
	menit	jam				
5 Menit	0	0	0	0	$y = 13.494x + 13.53$	278.99
	10	0.17	144	144		
	20	0.33	140	284		
	30	0.50	136	420		
	40	0.67	134	554		

10 Menit	50	0.83	133	687	$y = 13.37x + 14.46$	277.62
	60	1	133	820		
	0	0	0	0		
	10	0.17	145	145		
	20	0.33	138	283		
	30	0.50	135	418		
	40	0.67	134	552		
	50	0.83	132	684		
15 Menit	60	1	130	814	$y = 13.306x + 14.3$	276.06
	0	0	0	0		
	10	0.17	143	143		
	20	0.33	139	282		
	30	0.50	135	417		
	40	0.67	132	549		
	50	0.83	130.5	679.5		
20 Menit	60	1	130	809.5	$y = 13.21x + 14.9$	274.77
	0	0	0	0		
	10	0.17	142	142		
	20	0.33	138.5	280.5		
	30	0.50	135	415.5		
	40	0.67	131	546.5		
	50	0.83	129	675.5		
60	1	128	803.5			

### LAMPIRAN A.3. DATA SELEKTIVITAS

#### LAMPIRAN A.3.1. DATA PENGUJIAN KADAR AIR

Kadar air permeal dihitung dengan persamaan yang diperoleh dari SNI:7709-2012

$$\%Kadar\ Air = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0}$$

Dimana:

$W_0$  = berat wadah kosong

$W_1$  = berat wadah + sampel sebelum pengeringan

$W_2$  = berat wadah + sampel setelah pengeringan

Tabel A.6. Data kadar air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 5 menit

t (menit)	$W_0$ (g)	$W_1$ (g)	$W_2$ (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	99.127	99.119	99.12	0.0010	0.00202	0.0019
			99.121		0.001		
20	104.673	107.253	107.242	107.242	0	0.00000	0.0043
			107.242		0		
30	104.47	106.672	106.657	106.6585	0.0015	0.00281	0.0062
			106.66		0.0015		

40	76.224	79.727	79.704	79.704	0	0.00000	0.0066
			79.704		0		
50	42.945	45.642	45.623	45.622	0.001	0.00438	0.0075
			45.621		0.001		
60	47.378	50.604	50.576	50.5735	0.0025	0.00989	0.0095
			50.571		0.0025		

Tabel A.7. Data kadar air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 10 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	98.329	98.323	98.324	0.0010	0.00203	0.0017
			98.325		0.001		
20	104.673	107.996	107.984	107.9825	0.0015	0.00278	0.0041
			107.981		0.0015		
30	104.47	107.299	107.281	107.2825	0.0015	0.00280	0.0059
			107.284		0.0015		
40	76.224	78.162	78.149	78.15	0.001	0.00256	0.0062
			78.151		0.001		
50	42.945	45.196	45.181	45.181	0	0.00000	0.0067
			45.181		0		
60	47.378	49.189	49.177	49.1765	0.0005	0.00203	0.0070
			49.176		0.0005		

Tabel A.8. Data kadar air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 15 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	98.345	98.341	98.3405	0.0005	0.00102	0.0015
			98.34		0.0005		
20	104.673	107.019	107.009	107.01	0.001	0.00187	0.0039
			107.011		0.001		
30	104.47	106.942	106.93	106.9285	0.0015	0.00281	0.0055
			106.927		0.0015		
40	76.224	79.17	79.153	79.1525	0.0005	0.00126	0.0060
			79.152		0.0005		
50	42.945	45.202	45.189	45.188	0.001	0.00443	0.0062
			45.187		0.001		
60	47.378	50.086	50.069	50.068	0.001	0.00399	0.0067
			50.067		0.001		

Tabel A.9. Data kadar air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 20 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	98.435	98.432	98.431	0.001	0.00203	0.0013
			98.43		0.001		
20	104.673	107.331	107.323	107.322	0.001	0.00186	0.0034
			107.321		0.001		
30	104.47	107.68	107.665	107.664	0.001	0.00186	0.0050

			107.663		0.001		
40	76.224	78.732	78.717 78.718	78.7175	0.0005 0.0005	0.00127	0.0058
50	42.945	45.682	45.668 45.663	45.6655	0.0025 0.0025	0.01095	0.0061
60	47.378	49.621	49.605 49.608	49.6065	0.0015 0.0015	0.00605	0.0065

Tabel A.10. Data kadar air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 5 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	97.423	97.42 97.421	97.4205	0.001 0.0005	0.00103	0.0013
20	104.673	106.707	106.701 106.698	106.6995	0.0015 0.0015	0.00281	0.0037
30	104.47	106.884	106.874 106.871	106.8725	0.0015 0.0015	0.00281	0.0048
40	76.224	78.814	78.801 78.797	78.799	0.002 0.002	0.00508	0.0058
50	42.945	44.95	44.938 44.938	44.938	0 0	0.00000	0.0060
60	47.378	49.925	49.91 49.908	49.909	0.001 0.001	0.00401	0.0063

Tabel A.11. Data kadar air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 10 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	97.456	97.454 97.454	97.454	0.000 0	0	0.0010
20	104.673	106.458	106.454 106.451	106.4525	0.0015 0.0015	0.00282	0.0031
30	104.47	106.992	106.98 106.981	106.9805	0.0005 0.0005	0.00093	0.0046
40	76.224	78.405	78.394 78.392	78.393	0.001 0.001	0.00255	0.0055
50	42.945	44.88	44.867 44.871	44.869	0.002 0.002	0.00891	0.0057
60	47.378	49.977	49.959 49.961	49.96	0.001 0.001	0.00400	0.0066

Tabel A.12. Data kadar air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 15 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	96.716	96.714	96.7145	0.001	0.001034	0.0012

			96.715		0.0005		
20	104.673	106.73	106.724	106.724	0	0	0.0029
			106.724		0		
30	104.47	106.682	106.673	106.673	0	0	0.0041
			106.673		0		
40	76.224	79.141	79.129	79.1265	0.0025	0.00632	0.0050
			79.124		0.0025		
50	42.945	44.455	44.447	44.447	0	0	0.0053
			44.447		0		
60	47.378	49.383	49.372	49.371	0.001	0.00405	0.0060
			49.37		0.001		

Tabel A.13. Data kadar air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 20 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	98.987	98.985	98.984	0.001	0.002021	0.0008
			98.983		0.001		
20	104.673	106.517	106.514	106.5125	0.0015	0.002817	0.0024
			106.511		0.0015		
30	104.47	106.921	106.913	106.9125	0.0005	0.000935	0.0035
			106.912		0.0005		
40	76.224	79.207	79.196	79.194	0.002	0.005051	0.0044
			79.192		0.002		
50	42.945	44.503	44.497	44.4955	0.0015	0.006742	0.0048
			44.494		0.0015		
60	47.378	49.958	49.947	49.945	0.002	0.008009	0.0051
			49.943		0.002		

Tabel A.14. Data kadar air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 5 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	98.475	98.473	98.472	0.001	0.002031	0.001
			98.471		0.001		
20	104.673	106.278	106.274	106.2735	0.0005	0.000941	0.0028
			106.273		0.0005		
30	104.47	106.35	106.343	106.343	0	0	0.0037
			106.343		0		
40	76.224	78.691	78.678	78.68	0.002	0.005084	0.0045
			78.682		0.002		
50	42.945	44.376	44.371	44.369	0.002	0.009015	0.0049
			44.367		0.002		

60	47.378	49.934	49.923 49.919	49.921	0.002 0.002	0.008013	0.0051
----	--------	--------	------------------	--------	----------------	----------	--------

Tabel A.14. Data kadar air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 10 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	97.685	97.684 97.682	97.683	0.001 0.001	0.002047	0.0009
20	104.673	106.469	106.464 106.465	106.4645	0.0005 0.0005	0.000939	0.0025
30	104.47	107.141	107.131 107.132	107.1315	0.0005 0.0005	0	0.0036
40	76.224	78.774	78.766 78.761	78.7635	0.0025 0.0025	0.006348	0.0041
50	42.945	44.977	44.968 44.968	44.968	0 0	0.000000	0.0044
60	47.378	49.042	49.033 49.035	49.034	0.001 0.001	0.004079	0.0048

Tabel A.15. Data kadar air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 15 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	98.114	98.112 98.112	98.112	0 0	0	0.0007
20	104.673	107.281	107.275 107.275	107.275	0 0	0	0.0023
30	104.47	106.883	106.875 106.875	106.875	0 0	0.000000	0.0033
40	76.224	79.454	79.443 79.441	79.442	0.001 0.001	0.002518	0.0037
50	42.945	44.716	44.71 44.708	44.709	0.001 0.001	0.004473	0.0040
60	47.378	49.977	49.966 49.965	49.9655	0.0005 0.0005	0.002001	0.0044

Tabel A.16. Data kadar air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 20 menit

t (menit)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Rata-rata	Deviasi	Error	Kadar Air
10	95.436	97.529	97.528 97.528	97.528	0.0000 0	0.000000	0.00048
20	104.673	106.502	106.5 106.498	106.499	0.001 0.001	0.001878	0.0016
30	104.47	106.71	106.71 106.7	106.705	0.005 0.005	0.009372	0.0022

40	76.224	78.676	78.669 78.668	78.6685	0.0005 0.0005	0.001271	0.0031
50	42.945	45.288	45.284 45.277	45.2805	0.0035 0.0035	0.015459	0.0032
60	47.378	49.357	49.349 49.351	49.35	0.001 0.001	0.004053	0.0035

### LAMPIRAN A.3.2. DATA PENGUJIAN SELEKTIVITAS

Pengujian selektivitas menggunakan data dari kadar air pada Lampiran A.3.1. dengan menggunakan persamaan berikut

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$$

Dimana:

R = koefisien rejeksi

$C_f$  = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

$C_p$  = konsentrasi zat terlarut dalam permeat

Tabel A.17. Data rejeksi air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 5 menit

t (menit)	$C_f$ (kadar air dalam minyak)	$C_p$ (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00190	0.9921	99.2083
20	0.24	0.00428	0.9822	98.2159
30	0.24	0.00617	0.9743	97.4297
40	0.24	0.00661	0.9725	97.2462
50	0.24	0.00747	0.9689	96.8871
60	0.24	0.00954	0.9602	96.0231

Tabel A.18. Data rejeksi air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 10 menit

t (menit)	$C_f$ (kadar air dalam minyak)	$C_p$ (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00173	0.9928	99.2786
20	0.24	0.00408	0.9830	98.3003
30	0.24	0.00587	0.9756	97.5556
40	0.24	0.00623	0.9740	97.4039
50	0.24	0.00671	0.9720	97.2048
60	0.24	0.00695	0.9710	97.1041

Tabel A.19. Data rejeksi air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 15 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00155	0.9935	99.3544
20	0.24	0.00385	0.9840	98.3954
30	0.24	0.00549	0.9771	97.7120
40	0.24	0.00598	0.9751	97.5101
50	0.24	0.00624	0.9740	97.3993
60	0.24	0.00669	0.9721	97.2119

Tabel A.20. Data rejeksi air pada 1% gel silika dengan waktu perendaman selama 20 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00134	0.9944	99.4435
20	0.24	0.00340	0.9858	98.5844
30	0.24	0.00501	0.9791	97.9128
40	0.24	0.00582	0.9758	97.5770
50	0.24	0.00607	0.9747	97.4729
60	0.24	0.00651	0.9729	97.2889

Tabel A.21. Data rejeksi air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 5 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00126	0.9948	99.4751
20	0.24	0.00370	0.9846	98.4579
30	0.24	0.00479	0.9801	98.0055
40	0.24	0.00583	0.9757	97.5728
50	0.24	0.00602	0.9749	97.4912
60	0.24	0.00632	0.9737	97.3660

Tabel A.22. Data rejeksi air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 10 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00099	0.9959	99.5870
20	0.24	0.00309	0.9871	98.7122
30	0.24	0.00458	0.9809	98.0913
40	0.24	0.00553	0.9769	97.6948
50	0.24	0.00572	0.9762	97.6178
60	0.24	0.00658	0.9726	97.2566

Tabel A.23. Data rejeksi air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 15 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00117	0.9951	99.5111
20	0.24	0.00293	0.9878	98.7811
30	0.24	0.00409	0.9830	98.2978
40	0.24	0.00500	0.9792	97.9185
50	0.24	0.00533	0.9778	97.7807
60	0.24	0.00602	0.9749	97.4912

Tabel A.24. Data rejeksi air pada 1.4% gel silika dengan waktu perendaman selama 20 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00085	0.9965	99.6477
20	0.24	0.00245	0.9898	98.9807
30	0.24	0.00348	0.9855	98.5500
40	0.24	0.00438	0.9818	98.1762
50	0.24	0.00484	0.9798	97.9845
60	0.24	0.00506	0.9789	97.8899

Tabel A.25. Data rejeksi air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 5 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00099	0.9959	99.5883
20	0.24	0.00281	0.9883	98.8285
30	0.24	0.00374	0.9844	98.4428
40	0.24	0.00448	0.9813	98.1338
50	0.24	0.00492	0.9795	97.9518
60	0.24	0.00511	0.9787	97.8700

Tabel A.26. Data rejeksi air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 10 menit

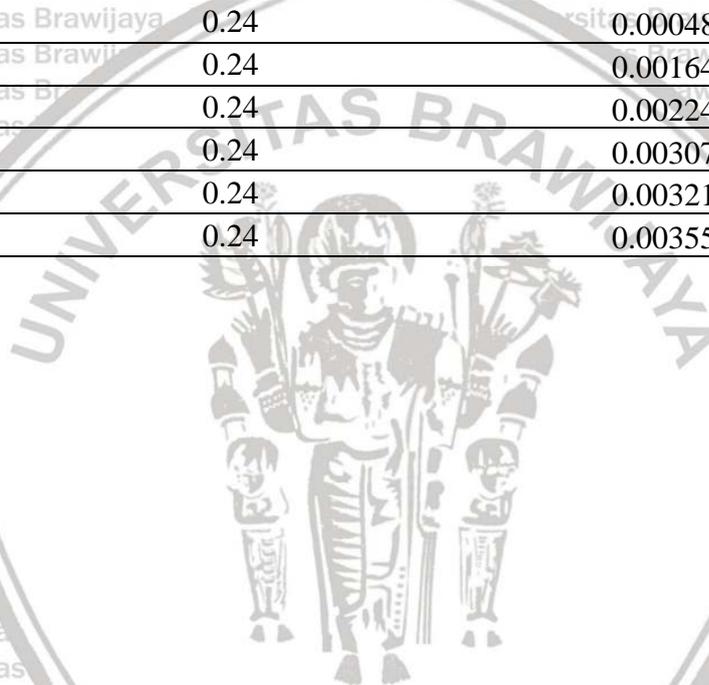
t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00089	0.9963	99.6291
20	0.24	0.00251	0.9895	98.9534
30	0.24	0.00357	0.9851	98.5127
40	0.24	0.00413	0.9828	98.2772
50	0.24	0.00445	0.9815	98.1463
60	0.24	0.00483	0.9799	97.9871

Tabel A.27. Data rejeksi air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 15 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00075	0.9969	99.6886
20	0.24	0.00231	0.9904	99.0392
30	0.24	0.00333	0.9861	98.6140
40	0.24	0.00373	0.9845	98.4462
50	0.24	0.00397	0.9835	98.3466
60	0.24	0.00444	0.9815	98.1481

Tabel A.28. Data rejeksi air pada 1.8% gel silika dengan waktu perendaman selama 20 menit

t (menit)	C <sub>f</sub> (kadar air dalam minyak)	C <sub>p</sub> (kadar air dalam permeat)	R	%R
10	0.24	0.00048	0.9980	99.8008
20	0.24	0.00164	0.9932	99.3154
30	0.24	0.00224	0.9907	99.0679
40	0.24	0.00307	0.9872	98.7216
50	0.24	0.00321	0.9866	98.6620
60	0.24	0.00355	0.9852	98.5210



## LAMPIRAN B. DOKUMENTASI KEGIATAN



(a)

(b)

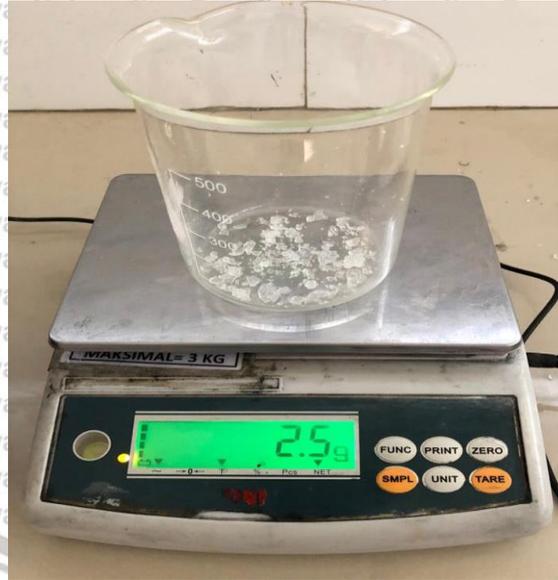
Gambar B.1. (a) Proses pembuatan larutan *waterglass* (b) Indikator pH



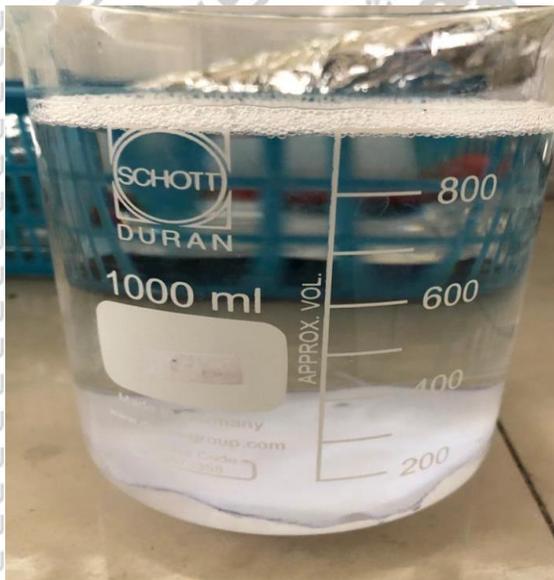
Gambar B.2. Proses sililasi sol silika dengan agen pemodifikasi TEOS



Gambar B.3. Proses penyaringan gel silika



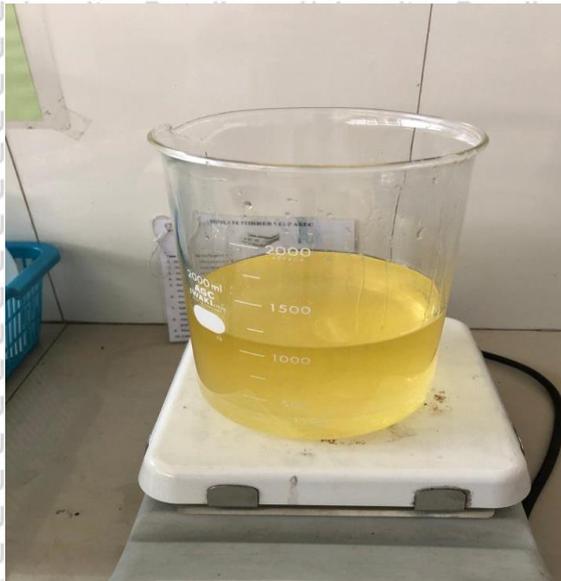
Gambar B.4. Residu gel silika



Gambar B.5. Proses pretreatment kain katun



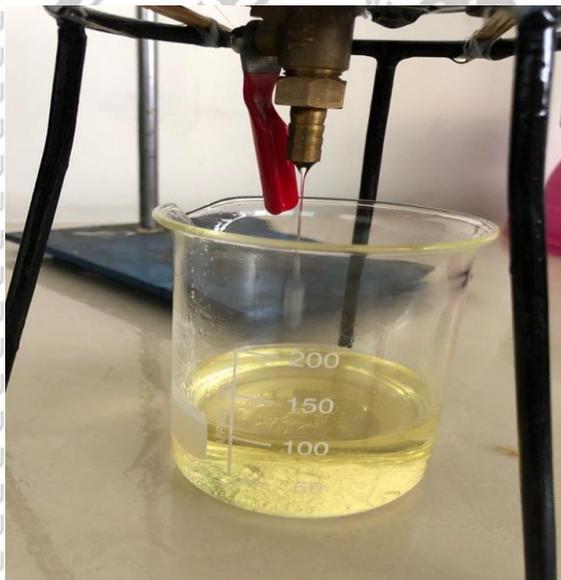
Gambar B.6. Membran komposit silika hidrofobik



Gambar B.7. Proses homogenisasi minyak-air



Gambar B.8. Proses pemisahan minyak-air



Gambar B.9. Permeat minyak yang dihasilkan



Gambar B.10. Uji kadar air

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

Harryson Martua Manik, lahir di Pematang Siantar, Sumatera Utara pada tanggal 12 Desember 1999, merupakan anak pertama dari pasangan Robert Halomoan Manik dan Gumirang Silaban, alumni SD RK Budi Mulia 2 Pematang Siantar, SMP Bintang Timur Pematang Siantar, SMA Negeri 4 Pematang Siantar, lulus Sarjana Strata 1 Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2021. Pengalaman kerja sebagai Asisten Praktikum Kimia Analisis di Laboratorium Sains Jurusan Teknik Kimia periode Semester Genap 2019/2020. Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Petrokimia Gresik Unit Produksi III B pada semester genap tahun 2021. Pengalaman berorganisasi di Dewan Perwakilan Angkatan Teknik Kimia sebagai Staff Komisi I periode 2019/2020, sebagai Koordinator Dewan Perwakilan Mahasiswa periode 2020/2021. Menjadi anggota Sub-bidang Evaluasi-Sharing PROBINMABA Teknik Kimia tahun 2018, dan menjadi Penanggung Jawab Sub-bidang Evaluasi-Sharing PROBIN MABA Teknik Kimia tahun 2019, Pernah menjadi Presidium di Kongres Mahasiswa Teknik Kimia V tahun 2019/2020.

Malang, 18 Juni 2021



Penulis

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

Albert Randa, lahir di Kota Palangkaraya pada tanggal 27 Agustus 1999, merupakan anak kedua dari pasangan Yuda Tumon dan Listanara, alumni SD Negeri Percobaan Palangkaraya, SMP Negeri 2 Palangkaraya, SMA Negeri 2 Palangkaraya, lulus Sarjana Strata 1 Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada Tahun 2021. Pengalaman kerja sebagai Asisten Praktikum Mikrobiologi Industri di Laboratorium Hayati Jurusan Teknik Kimia periode Semester Ganjil 2019/2020, Asisten Praktikum Operasi Teknik Kimia di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia periode Semester Genap 2020/2021, dan Asisten Dosen pada Penelitian dengan Judul Studi Performa *Mix Culture* Terimobilisasi Terhadap Kadar Etanol dan Asam Laktat pada Produksi Kefir dari Susu Sapi pada semester ganjil tahun 2019. Melaksanakan kegiatan Praktek Kerja Lapang (PKL) di PT. Petrokimia Gresik di Unit Produksi III B pada semester genap tahun 2021.

Malang, 18 Juni 2021



Penulis