



SKRIPSI

**PENGEMBANGAN MEMBRAN POLIMER
PVDF/LiCl UNTUK PROSES PEMANENAN
MIKROALGA *Nannochloropsis* sp.**

**WIDI CITRA LESTARI
NRP. 0121164000016**

**Dosen Pembimbing I :
Nurul Widiastuti, Ph.D.**

**Dosen Pembimbing II :
Dini Ermavitalini, S.Si, M. Si**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



SCRIPT

**DEVELOPMENT OF PVDF/LiCl POLYMERIC
MEMBRANE FOR HARVESTING OF
MICROALGAE *Nannochloropsis* sp.**

**WIDI CITRA LESTARI
NRP. 0121164000016**

**Supervisor I :
Nurul Widiastuti, Ph.D.**

**Supervisor II :
Dini Ermavitalini, S.Si, M. Si**

**DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

**PENGEMBANGAN MEMBRAN POLIMER PVDF/LiCl
UNTUK PEMANENAN MIKROALGA
Nannochloropsis sp.**

SKRIPSI

Disusun Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Mata Kuliah
Skripsi di Departemen Kimia
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Disusun Oleh:

WIDI CITRA LESTARI
NRP. 0121164000016

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN
PENGEMBANGAN MEMBRAN POLIMER PVDF/LiCl
UNTUK PROSES PEMANENAN MIKROALGA
NANNOCHLOROPSIS SP.

SKRIPSI

Oleh :

WIDI CITRA LESTARI
NRP. 0121164000016

Surabaya, 16 Juli 2020

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Nurul Widiastuti, Ph.D
NIP. 19710425 199412 2 001

Dini Ermivatilini, S.Si., M.Si
NIP. 19801130 2005 01 2001

Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia



Prof. Dr. rer.nat. Fredy Kurniawan, M. Si
NIP. 19740428 199802 1 001

*Karya ini kupersembahkan untuk Papa, Mama,
Kaka, dan Adik beserta Keluarga Tercinta,
Ibu Nurul dan Ibu Dini selaku dosen pembimbing,
dan teman-teman MAGNUM OPUS*

**PENGEMBANGAN MEMBRAN POLIMER
PVDF/LiCl LiCl UNTUK PROSES PEMANENAN
MIKROALGA *Nannochloropsis* sp.**

Nama : Widi Citra Lestari
NRP : 0121164000016
Departemen : Kimia
Pembimbing I : Nurul Widiastuti, Ph.D
Pembimbing II: Dini Ermavitalini, S.Si, M. Si

ABSTRAK

Proses pemanenan yang efektif menjadi salah satu tantangan terbesar dalam pembuatan *biofuel* berbasis mikroalga. Membran filtrasi menjadi salah satu metode yang fleksibel dalam pemanenan mikroalga. Penelitian ini melaporkan pemanenan *Nannochloropsis* sp. dengan membran PVDF yang dikembangkan dengan kombinasi antara penambahan zat aditif LiCl dan metode preparasi *thermally induced phase separation* (TIPS) dalam pelarut N-metil-2-pirrolidon (NMP). Kondisi optimum membran ditentukan dengan memvariasikan komposisi LiCl dari 1% hingga 3% berat. Membran yang telah dipreparasi dikarakterisasi menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi membran, FTIR untuk mengetahui struktur ikatan kimia membran, dan pengujian permeasi air untuk mengetahui hidrofilitas membran. Hasil menunjukkan bahwa modifikasi penambahan zat aditif dan metode preparasi TIPS pada membran PVDF berhasil meningkatkan sifat hidrofilitas membran yang ditunjukkan dengan nilai permeasi air tertinggi pada membran PVDF/LiCl 2%, yaitu sebesar 660 L/m²h. Nilai permeasi air tertinggi pada membran PVDF/LiCl 2% menghasilkan rata-rata fluks tertinggi, yaitu 150 L/m²h dan rejeksi mikroalga sebesar 100% pada pemanenan *Nannochloropsis* sp.

Kata Kunci: Membran PVDF/LiCl, pemanenan *Nannochloropsis* sp., TIPS, zat aditif LiCl

**DEVELOPMENT OF PVDF/LiCl POLYMERIC
MEMBRANE FOR HARVESTING OF
MICROALGAE *Nannochloropsis* sp.**

Name : Widi Citra Lestari
Student No. : 0121164000016
Department : Chemistry
Supervisor I : Nurul Widiastuti, Ph.D.
Supervisor II : Dini Ermavitalini, S.Si, M. Si

ABSTRACT

One of the biggest challenges in implementing microalgae-based biofuels is the effective harvesting process. Filtration membrane has become one of the flexible methods in microalgae harvesting. This study investigated the harvesting of *Nannochloropsis* sp. using a modified PVDF membrane at various LiCl as an additive using thermally induced phase separation (TIPS) method with N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) solvent. The optimum membrane composition was determined at various LiCl additive from 1% to 3% (w/w). The prepared membrane was characterized using SEM to determine the morphology of the membrane, FTIR to determine the structure of the membrane chemical properties, and measurement of water permeability to determine membrane hydrophilicity. The results revealed that membrane PVDF/LiCl 2% showed the highest water permeation (660 L/m²h) and the highest average flux 150 L/m²h, as well as 100% of microalgae rejection of *Nannochloropsis* sp. harvesting.

Keywords: PVDF/LiCl membrane, *Nannochloropsis* sp. harvesting, TIPS, LiCl as additive.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga naskah skripsi yang berjudul “**Pengembangan membran polimer PVDF/LiCl untuk pemanenan mikroalga *Nannochloropsis sp.***” dapat diselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung atas terselesaikannya tulisan ini, yaitu :

1. Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D dari Departemen Kimia FSAD ITS dan Dini Ermavitalini, S.Si, M. Si dari Departemen Biologi FSAD ITS, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama penyelesaian tugas akhir ini
2. Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan S.Si., M.Si., selaku Kepala Departemen Kimia atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah skripsi ini dapat terselesaikan
3. Dr. Drs. Djoko Hartanto, S.Si., M.Si., selaku Kepala Laboratorium Kimia Material dan Energi (KME) yang telah memberikan fasilitas, pengarahan, semangat dan masukan selama pengerjaan tugas akhir ini
4. Orang tua yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan dan kasih sayang yang tulus
5. Teman-teman mahasiswa Departemen Kimia FSAD ITS, teman-teman MAGNUM OPUS angkatan 2016
6. Pihak lain yang telah ikut mendukung mendoakan dan membantu terselesaikannya naskah Skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan naskah Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga naskah ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 16 Juli 2020

Widi Citra Lestari

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 6 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 7 |
| 1.4 Tujuan | 7 |
| 1.5 Manfaat | 7 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 9 |
| 2.1 Potensi Mikroalga sebagai Sumber Utama <i>Biodiesel</i> | 9 |
| 2.2 Klasifikasi Mikroalga <i>Nannochloropsis</i> sp. | 10 |
| 2.2.1 Potensi <i>Nannochloropsis</i> sp. sebagai Sumber Utama <i>Biodiesel</i> | 11 |
| 2.3 Teknologi Membran sebagai Pemanenan Mikroalga..... | 13 |
| 2.4 Pemilihan Material Membran | 18 |
| 2.4.1 Pemilihan Polimer..... | 18 |
| 2.4.2 Pemilihan Zat Aditif | 20 |
| 2.5 Preparasi Membran dengan <i>Thermally Induced</i> <i>Phase Separation</i> (TIPS) | 22 |
| 2.6 Karakterisasi..... | 25 |
| 2.6.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)..... | 25 |
| 2.6.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)..... | 27 |
| 2.6.3 Spektrofotometri Ultra-violet dan Sinar Tampak..... | 29 |
| 2.7 Uji Membran..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 34 |
| 3.1 Alat dan Bahan | 34 |
| 3.1.1 Alat..... | 34 |
| 3.1.2 Bahan | 35 |
| 3.2 Prosedur Penelitian..... | 35 |
| 3.2.1 Metode Budidaya Kultur <i>Nannochloropsis</i> sp..... | 36 |
| 3.2.2 Metode Preparasi Membran | 36 |
| 3.3 Karakterisasi | 37 |
| 3.3.1 Spektrofotometer Fourier-Transform Infra Red (FTIR) | 37 |
| 3.3.2 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> | 38 |
| 3.4 Uji Kinerja Membran..... | 38 |
| 3.5 Analisa Hasil Pemanenan Mikroalga..... | 40 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 43 |
| 4.1 Hasil Budidaya Kultur Mikroalga <i>Nannochloropsis</i> sp. | 43 |
| 4.2 Karakteristik membran <i>Flat-sheet</i> PVDF/LiCl pada metode TIPS | 44 |
| 4.2.1 Struktur Ikatan Kimia Membran PVDF/LiCl dengan Variasi Konsentrasi LiCl..... | 45 |
| 4.2.2 Morfologi Membran PVDF/LiCl dengan Variasi LiCl..... | 50 |
| 4.3 Hasil Kinerja Membran PVDF/LiCl untuk Pemanenan Mikroalga <i>Nannochloropsis</i> sp. | 54 |
| 4.4 Hasil Analisa Konsentrasi Mikroalga setelah Pemanenan | 57 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 60 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 60 |
| 5.2 Saran..... | 60 |
| DAFTAR PUSTAKA | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | <i>Nannochloropsis</i> sp. (Hibberd, 1981) | 11 |
| Gambar 2.2 | Spektrum serapan klorofil (Chl) a, Chl b, Chl c1 dan Chl (Kume dkk., 2018)..... | 11 |
| Gambar 2.3 | Pola Pertumbuhan <i>Nannochloropsis</i> sp. (Kwangdinata dkk.,2013)..... | 12 |
| Gambar 2.4 | Skema penolakan zat terlarut dalam berbagai jenis-jenis filtrasi (Dexler dan Yeh, 2014) | 16 |
| Gambar 2.5 | Ilustrasi mekanisme filtrasi membran dengan beberapa konfigurasi (Drexler dan Yeh, 2014 | 18 |
| Gambar 2.6 | Skematik konformasi rantai polymer α , β , dan γ pada polimer PVDF (Martins dkk., 2014). | 19 |
| Gambar 2.7 | Evaluasi sudut kontak air dari berbagai PVDF film dengan struktur semi kristalin α , β non-polar, β polar+ and β polar-). (Ribeiro dkk., 2012)..... | 20 |
| Gambar 2.8 | Morfologi Efek penambahan LiCl dalam larutan PVDF/NMP (% berat) pada performa ultrafiltrasi (Bottino dkk., 1988). | 22 |
| Gambar 2.9 | Proses pembentukan membran dengan metode TIPS (Arahman, 2012)..... | 23 |
| Gambar 2.10 | Skematik diagram fasa (Lu dkk., 2017)..... | 24 |
| Gambar 2.11 | Diagram Fase Terner sistem PVDF/NMP/ dengan berbagai non pelarut (Sukitpaneetit dan Chung,2009)..... | 25 |
| Gambar 2.12 | Spektra FTIR membran PVDF (Sabrina dkk., 2017)..... | 26 |
| Gambar 2.13 | Spektra FTIR membran PVDF (Chen dan Seko, 2019)..... | 27 |
| Gambar 2.14 | Komponen alat SEM (Gede, 1995)..... | 28 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.15 | Morfologi penampang melintang membran <i>flat sheet</i> PVDF/NMP/LiCl dengan rasio konsentrasi a) 17:83:0 dan b) 15:83:2 (Sunarti dan Ahmed, 2016)..... | 29 |
| Gambar 2.16 | Skema prinsip kerja spektrofotometer ultra-violet dan sinar tampak (Skoog dan West, 1971)..... | 30 |
| Gambar 2.17 | Spektrum UV-Vis sel mikroalga <i>Nannochloropsis gaditama</i> (Gitelson dkk., 2000)..... | 31 |
| Gambar 2.18 | Kurva kalibrasi mikroalga <i>Dunaliella tertiolecta</i> (Benaviden dkk., 2015)..... | 32 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir prosedur penelitian..... | 35 |
| Gambar 3.2 | Skema budidaya kultur <i>Nannochloropsis</i> sp. | 36 |
| Gambar 3.3 | Skema preparasi membran..... | 37 |
| Gambar 3.4 | Skema unit <i>cross-flow</i> | 38 |
| Gambar 4.1 | Proses budidaya kultur <i>Nannochloropsis</i> sp. | 44 |
| Gambar 4.2 | Hasil preparasi membran <i>flat-sheet</i> PVDF | 45 |
| Gambar 4.3 | Spektra IR membran PVDF murni dan PVDF/LiCl dengan variasi konsentrasi 1-3% berat..... | 46 |
| Gambar 4.4 | Spektra IR konformasi rantai polimer membran α -PVDF dan β PVDF/LiCl..... | 48 |
| Gambar 4.5 | Skema proses terbentuknya konformasi beta pada rantai polimer membran PVDF..... | 50 |
| Gambar 4.6 | Hasil SEM morfologi membran a) PVDF murni, b) PVDF/LiCl 1%, c) PVDF/LiCl 2%, d) PVDF/LiCl 3% | 51 |
| Gambar 4.7 | Hasil SEM morfologi membran PVDF/LiCl 2% bagian permukaan..... | 52 |
| Gambar 4.8 | Hasil morfologi struktur pori <i>sponge-like</i> pada membran: a)PVDF Murni; b) PVDF/LiCl-1; c) PVDF/LiCl-2; d)PVDF/LiCl-3..... | 53 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 4.9 | Laju permeasi air dari variasi penambahan LiCl dalam membran PVDF/LiCl..... | 54 |
| Gambar 4.10 | Laju fluks pemanenan mikroalga dari variasi penambahan LiCl dalam membran PVDF/LiCl..... | 55 |
| Gambar 4.11 | Kurva rata-rata laju fluks dan % rejeksi pada pemanenan mikroalga terhadap variasi penambahan LiCl pada membran PVDF/LiCl..... | 56 |
| Gambar 4.12 | Kurva konsentrasi retentat mikroalga selama 40 menit pada variasi penambahan LiCl membran PVDF/LiCl | 57 |
| Gambar 4.13 | Perubahan warna retentat akhir proses pemanenan pada variasi konsentrasi LiCl membran PVDF/LiCl..... | 58 |
| Gambar 4.14 | Perubahan warna retentat mikroalga selama 40 menit pertama membran PVDF/LiCl 2% | 58 |
| Gambar 4.15 | Hasil <i>up-scale</i> pemanenan mikroalga dengan membran PVDF/LiCl 2%, a) Filtrat, b) <i>Feed</i> awal (508 mg/L), dan c) Retentat (28,290 mg/L)..... | 59 |
| Gambar A.1 | Skema kerja Budidaya Kultur Mikroalga <i>Nannochloropsis</i> sp..... | 76 |
| Gambar A.2 | Skema kerja pembuatan larutan polimer PVDF/LiCl | 77 |
| Gambar A.3 | Skema kerja preparasi membran PVDF/LiCl..... | 77 |
| Gambar B.1 | Spektra IR membran PVDF murni | 78 |
| Gambar B.2 | Spektra IR membran PVDF/LiCl 1% | 79 |
| Gambar B.3 | Spektra IR membran PVDF/LiCl 2% | 80 |
| Gambar B.4 | Spektra IR membran PVDF/LiCl 3% | 81 |
| Gambar D.1 | Biomassa kering mikroalga | 88 |
| Gambar D.2 | Grafik kurva kalibrasi Absorbansi vs Konsentrasi (mg/L)..... | 89 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Gambar E.1 | Spektra UV-Vis Air laut | 92 |
| Gambar E.2 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF murni..... | 92 |
| Gambar E.3 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF/LiCl 1%..... | 93 |
| Gambar E.4 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF/LiCl 2%..... | 93 |
| Gambar E.5 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF/LiCl 3%..... | 94 |
| Gambar E.6 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan duplo membran PVDF murni..... | 94 |
| Gambar E.7 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan duplo membran PVDF/LiCl 1%..... | 95 |
| Gambar E.8 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan duplo membran PVDF/LiCl 2%..... | 95 |
| Gambar E.9 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan duplo membran PVDF/LiCl 3%..... | 96 |
| GambarE.10 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF murni..... | 96 |
| GambarE.11 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF/LiCl 1%..... | 97 |
| GambarE.12 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF/LiCl 2%..... | 97 |
| GambarE.13 | Spektra UV-Vis <i>Feed</i> dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF/LiCl 3%..... | 98 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Perbandingan sumber bahan utama pembuatan biodiesel..... | 10 |
| Tabel 2.2 | Perbandingan kandungan lemak dari mikroalga..... | 13 |
| Tabel 2.3 | Perbandingan metode panen mikroalga..... | 14 |
| Tabel 2.4 | Perbandingan permeabilitas mikroalga pada variasi material polimer..... | 18 |
| Tabel 2.5 | Sudut kontak membran PVDF dengan variasi zat aditif..... | 21 |
| Tabel 2.6 | Kekuatan tarik membran PVDF dengan variasi zat aditif..... | 21 |
| Tabel 2.7 | Perbandingan titik didih pelarut | 24 |
| Tabel 3.1 | Komposisi larutan <i>dope</i> % berat (larutan total = 50 mL) | 37 |
| Tabel 3.2 | Spesifikasi Alat filtrasi..... | 39 |
| Tabel 3.3 | Standar operasi pada proses filtrasi..... | 39 |
| Tabel 4.1 | Ikatan kimia membran polimer PVDF-Murni dan PVDF/LiCl..... | 47 |
| Tabel 4.2 | Persebaran ukuran diameter pori <i>sponge-like</i> membran PVDF/LiCl..... | 53 |
| Tabel 4.3 | Nilai rata-rata fluks dan rejeksi pemanenan mikroalga..... | 56 |
| Tabel B.1 | Spektra IR membran PVDF murni..... | 78 |
| Tabel B.2 | Spektra IR membran PVDF/LiCl 1% | 79 |
| Tabel B.3 | Spektra IR membran PVDF/LiCl 2% | 80 |
| Tabel B.4 | Spektra IR membran PVDF/LiCl 3% | 81 |
| Tabel C.1 | Absorbansi mikroalga pada feed dan filtrat pada pengukuran %Rejeksi | 87 |
| Tabel D.1 | Hasil perhitungan metode <i>dryweight</i> | 88 |
| Tabel D.2 | Hasil perhitungan pengenceran mikroalga..... | 89 |
| Tabel D.3 | Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF murni | 90 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabel D.4 | Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF/LiCl 1% | 90 |
| Tabel D.5 | Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF/LiCl 2% | 91 |
| Tabel D.6 | Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF/LiCl 3% | 91 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki biodiversitas perairan yang melimpah dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan dari sumber kelautan, salah satunya adalah mikroalga (Jorquera dkk., 2010). Mikroalga merupakan organisme eukariotik uniseluler yang hidup di air laut maupun di air tawar (Khairuddin dkk., 2019). Mikroalga berkembang biak dengan waktu pembelahan sel yang cepat (3,5 jam) dan masa inkubasi yang singkat (6-10 hari) (Chisti, 2007). Selain itu, Indonesia juga merupakan negara beriklim tropis yang membuat budidaya mikroalga mudah untuk dilakukan. Hal itu dikarenakan, mikroalga memiliki struktur sederhana yang dapat secara efisien menyerap sinar matahari melalui proses fotosintesis. Dengan demikian, mikroalga mempunyai produktivitas tinggi untuk mengubah CO₂ menjadi karbohidrat, lemak dan protein sebagai potensi sumber bioenergi (Scott dkk., 2010).

Produktivitas lemak yang tinggi membuat mikroalga dapat diklaim sebagai sumber bahan nabati yang sangat menjanjikan dalam produksi *biodiesel*. Penelitian Mata dkk (2010) melaporkan bahwa mikroalga memproduksi kandungan lemak tertinggi (70% berat dari biomassa kering) jika dibandingkan dengan tanaman lainnya, seperti *castor* (48% berat dari biomassa kering), *rapeseed* (41% berat dari biomassa kering), bunga matahari (40% berat dari biomassa kering), kelapa sawit (36% berat dari biomassa kering), dan kacang kedelai (18% berat dari biomassa kering). Dengan produksi lemak yang tinggi, mikroalga menghasilkan *yield* lemak sebesar 136,900 L/ha/tahun. Kabinawa (2006) juga melaporkan bahwa mikroalga memiliki produktivitas *biodiesel* 15-300 kali lebih cepat dibandingkan dengan tanaman darat, dengan produktivitas sebesar 121,104 kg *biodiesel*/ha/tahun (Mata dkk., 2010). Selain itu, keunggulan lainnya adalah budidaya kultur mikroalga dapat dilakukan dengan lahan yang sangat kecil, yaitu

0,1 m²/tahun/kg *biodiesel* jika dibandingkan dengan tanaman darat lainnya. Oleh karena itu, mikroalga merupakan biota laut yang sangat menjanjikan sebagai sumber energi terbarukan untuk pembuatan *biodiesel*.

Keragaman hayati yang dimiliki Indonesia dengan beberapa jenis mikroalga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan produksi *biodiesel*. Penelitian Ma dkk (2016) melaporkan bahwa mikroalga *Nannochloropsis* sp. memiliki potensi tertinggi. Hal itu dikarenakan, *Nannochloropsis* sp. dapat memproduksi kandungan lemak tertinggi, yaitu sebesar 37-60% berat dari biomassa kering (Ma dkk., 2014), jika dibandingkan dengan spesies mikroalga lain, seperti *Isochrysis* (25-33% berat dari biomassa kering) (Chisti, 2007; Bougaran dkk., 2012), *Dunaliella salina* (23% berat dari biomassa kering) (Vanitha dkk., 2007; Yu dkk., 2014), *Haematococcus pluvialis* (16-35% berat dari biomassa kering) (Damiani dkk., 2010), dan *Neochloris oleoabundans* (2-47% berat dari biomassa kering) (Bona dkk., 2014). Adapun pada kondisi yang tidak stabil (stres), *Nannochloropsis* sp. dapat menghasilkan kandungan Trigliserida (TAGs) 23-58 % dari kandungan lemak totalnya. Lemak Trigliserida ini yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Zhou dkk., 2014).

Pembuatan biodisel dari mikroalga *Nannochloropsis* sp. dilakukan dengan 5 tahapan utama, yaitu budidaya mikroalga, pemanenan mikroalga, pengeringan, ekstraksi minyak, dan transesterifikasi (Zhu dkk., 2017). Pemanenan dan pemekatan mikroalga merupakan tahapan yang penting dilakukan sebelum ekstraksi, karena sangat rendahnya konsentrasi mikroalga dalam media kulturnya (0,02 - 0,06)% b/b (Mujeeb dkk., 2016). Untuk dilanjutkan ketahap pengeringan dan ekstraksi minyak, mikroalga harus dengan konsentrasi tinggi. Oleh karena itu, air laut sebagai media kulturnya harus dipisahkan terlebih dahulu. Proses pemisahan ini lebih dikenal dengan istilah *dewatering* (Bilad dkk., 2014).

Proses *dewatering* umumnya memerlukan biaya tertinggi dari semua tahapan produksi biodiesel dari mikroalga. Penelitian Griffin dkk (2009) melaporkan bahwa pengeluaran konsumsi biaya

tertinggi untuk proses *dewatering* sebesar 26% dari total keseluruhan produksi *biodisel*. Proses *dewatering* yang menghabiskan biaya tertinggi ada pada teknik-teknik konvensional, seperti sentrifugasi dan flotasi. Pada teknik sentrifugasi, penelitian Heasman dkk (2002) melaporkan bahwa pemanenan mikroalga dengan *recovery* lebih dari 95% pada rata-rata 9 jenis mikroalga yang berbeda membutuhkan besar gaya sentrifugasi 13.000g, dengan konsumsi energi listrik lebih dari 3000 kWh/ton biomassa kering (Hattab dkk., 2015). Sedangkan pada teknik flotasi, agitator dengan kecepatan tinggi diperlukan untuk membuat gelembung gas yang akan melarutkan mikroalga, sehingga dapat terpisah dengan media kulturnya. Namun, konsumsi energi tinggi yang digunakan untuk menggerakkan agitator pada teknik ini sama seperti energi yang dikeluarkan pada teknik sentrifugasi (Hattab dkk., 2015). Teknik konvensional lainnya adalah dengan teknik sedimentasi. Walaupun dengan biaya konsumsi energi yang rendah, teknik ini sangat dipengaruhi oleh besarnya densitas mikroalga yang mengakibatkan proses pemanenan berlangsung sangat lama. Hal tersebut disebabkan oleh persamaan besar densitas pada mikroalga maupun air laut sebagai media kulturnya (Granados dkk., 2012). Teknik ini membutuhkan waktu 15 hari untuk mendapatkan besar *recovery* panen 94% (Harith dkk., 2009). Berdasarkan kelemahan dari teknik-teknik konvensional tersebut, teknik filtrasi merupakan teknik *dewatering* yang paling efektif untuk pemanenan mikroalga. Hal itu dikarenakan, metode filtrasi dapat memulihkan biomassa dengan waktu cepat, tidak terbatas oleh ukuran dan densitas mikroalga, konsumsi energi yang rendah, selektivitas mikroalga yang tinggi (> 90%) (Huang dkk., 2012), dan menghasilkan jumlah zat terlarut pekat yang tinggi (154,85 g/L) (Zhang dkk., 2010). Khairuddin dkk (2019) melaporkan ukuran 2-5 μm *Nannochloropsis* sp. yang dipisahkan dengan metode filtrasi membran polimer PES/MWCNT/LiBr menghasilkan *recovery* mikroalga sebesar 100%.

Kunci utama keberhasilan metode filtrasi menggunakan membran adalah pemilihan bahan membran yang digunakan. Salah

satu material membran yang sangat umum digunakan untuk pemanenan mikroalga adalah poliviniliden fluorida (PVDF), karena sifat unggul yang dimiliki membran PVDF, yaitu resisten terhadap bahan kimia, dan memiliki stabilitas termal yang baik (Kang dan Cao, 2014). Penelitian Nurra dkk (2014) melaporkan kinerja membran PVDF komersial dibandingkan dengan membran polimer polietersulfon (PES) dan poliakrilonitril (PAN) pada pemanenan mikroalga *Nannochloropsis gaditana*. Hasil filtrasi menunjukkan bahwa membran PVDF memiliki permeabilitas mikroalga tertinggi, yaitu 43 ± 5 L/h.m².bar jika dibandingkan dengan membran PES (36 ± 4 L/h.m².bar) dan membran PAN (30 ± 0 L/h.m².bar). Selain pada keunggulan yang dimiliki, membran PVDF juga memiliki kelemahan, dimana membran cenderung memiliki sifat hidrofobik. Penelitian Fontananova dkk (2015) melaporkan *flat-sheet* membran PVDF/DMF yang dianalisa memiliki nilai sudut kontak air yaitu 101° . Demikian juga dengan penelitian yang dilakukan Azmi dkk (2015) menyebutkan membran serat berongga PVDF/NMP yang difabrikasi memiliki sudut kontak $87,7^\circ$. Sifat hidrofobik pada membran PVDF dapat mengurangi efisiensi kinerjanya dalam proses *dewatering*. Oleh karena itu, modifikasi membran diperlukan untuk meningkatkan sifat hidrofilisitasnya.

Penambahan aditif merupakan alternatif cara untuk memodifikasi membran *flat-sheet* PVDF yang bersifat hidrofobik menjadi hidrofilik. Penelitian Khosravi dkk (2018) membandingkan hidrofilisitas membran PVDF dengan beberapa variasi jenis zat aditif, seperti LiCl, PEG 400, asam asetat, gliserol, dan metanol. Hasil menunjukkan bahwa LiCl sebagai aditif dapat secara maksimal menurunkan sifat hidrofobik membran PVDF dibandingkan dengan aditif lainnya. Analisa sudut kontak air menunjukkan adanya penurunan derajat sudut kontak setelah penambahan LiCl dari semula 88° menjadi 72° . Dalam penelitian Tomazweska (1996) morfologi dan efek kinerja dari penambahan LiCl terhadap membran PVDF juga dilaporkan dapat meningkatkan porositas membran. Hal itu disebabkan oleh

besarnya afinitas LiCl terhadap air sehingga mempercepat proses presipitasi pada inversi fasa (Bottino dkk, 1988).

Faktor penambahan jumlah konsentrasi LiCl dan polimer PVDF sangat berperan penting terhadap morfologi membran yang dihasilkan. Bottino dkk (1988) melaporkan bahwa penambahan konsentrasi LiCl sebanyak 1-3% berat sudah cukup menghasilkan kinerja optimum membran. Hal tersebut dikarenakan, penambahan LiCl dalam jumlah kecil dapat memberikan interaksi yang kuat antara LiCl dengan polimer PVDF dan pelarut N-metil-2-pirrolidon (NMP) yang mengakibatkan meningkatnya viskositas yang tinggi dalam larutan *dope*. Viskositas tinggi dapat mengakibatkan menurunnya kinetika difusi antara pelarut dan non-pelarut pada saat inversi fasa. Akibatnya, membran akan menghasilkan struktur pori yang lebih rapat (*dense*) (Khairuddin dkk., 2019). Dikarenakan penambahan aditif kedalam polimer dapat meningkatkan viskositas larutan yang tinggi, maka polimer dengan konsentrasi rendah sangat direkomendasikan. Penelitian Rashid dkk (2014) melaporkan bahwa penurunan konsentrasi polimer sebanyak 4% berat dari 20% menjadi 16% dalam pelarutnya, dapat menurunkan 8% derajat sudut kontak dan berhasil meningkatkan ukuran pori. Parameter tersebut penting untuk pembentukan membran hidrofilik. Dengan demikian, penggunaan konsentrasi polimer yang rendah dilakukan pada penelitian ini.

Selain penambahan zat aditif, metode preparasi membran juga menjadi parameter penting pada pembuatan membran hidrofilik terutama pada membran polimer akibat penambahan zat aditif. Khairuddin dkk (2019) berhasil menyelidiki hasil preparasi membran dengan metode (*Thermally Induced Phase Separation*) TIPS dan (*non-solvent induced phase separation*) NIPS pada pembentukan membran hidrofilik. Hasil menyebutkan bahwa membran TIPS menghasilkan sudut kontak yang lebih rendah ($33,8^\circ$) dibandingkan membran NIPS ($64,8^\circ$). Penelitian Tavajohi dkk (2014) juga melaporkan membran yang dipreparasi dengan metode TIPS tetap memiliki nilai permeasi air yang tinggi, walaupun dengan konsentrasi larutan polimer yang meningkat. Hal itu

dikarenakan peranan suhu yang tinggi dapat menurunkan viskositas larutan. Dengan demikian, dapat mempercepat pertukaran massa antara pelarut dan non pelarut yang kemudian menghasilkan struktur pori yang tidak *dense* (Khairuddin dkk., 2019).

Pengaruh suhu pada proses TIPS terhadap sifat dan kinerja membran yang dihasilkan sangatlah signifikan. Xu dkk (2015) menyebutkan suhu optimum pada preparasi membran PVDF dengan pelarut NMP adalah pada suhu 90°C. Hal tersebut dikarenakan pada pemanasan dengan suhu lebih dari 90°C dapat mengakibatkan pelarut NMP (titik didih 203°) mudah menguap. Akibatnya, jumlah pelarut dalam larutan *dope* akan berkurang. Hal tersebut akan menyebabkan peningkatan konsentrasi polimer yang tinggi pada bagian atas permukaan membran yang berakibat pada menurunnya porositas membran. Sedangkan, pemanasan suhu kurang dari 90°C, mengurangi resiko pada penguapan pelarut dengan konsentrasi tinggi, akan tetapi, kondisi ini kurang efektif pada pembentukan membran hidrofilik.

Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan sifat hidrofilik membran *flat-sheet* PVDF dengan kombinasi penambahan aditif LiCl dengan metode preparasi TIPS pada suhu 90°C. Membran dibuat dengan paduan polimer pada konsentrasi 9% berat dan pelarut (N-metil-2-pirrolidon) NMP 91% berat, adapun penambahan LiCl dilakukan dengan variasi konsentrasi 1%; 2%; dan 3% berat.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, kombinasi antara penambahan aditif LiCl dengan metode preparasi TIPS pada suhu 90°C dilakukan untuk meningkatkan sifat hidrofilik membran *flat-sheet* PVDF pada aplikasi pemanenan mikroalga *Nannochloropsis* sp. Namun, belum diketahui konsentrasi penambahan LiCl yang optimum pada kombinasi tersebut. Oleh karena itu, perlu dipelajari kinerja membran filtrasi dengan variasi konsentrasi aditif LiCl.

1.3 Batasan Masalah

Untuk meningkatkan sifat hidrofilik membran *flat-sheet* PVDF, modifikasi dilakukan dengan kombinasi antara penambahan aditif LiCl dengan preparasi TIPS pada suhu 90°C. Variasi konsentrasi LiCl yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu 1%; 2%; dan 3% berat. Sedangkan PVDF dan NMP dilakukan dengan konsentrasi tetap masing-masing 9% dan 91% berat. Membran yang telah dimodifikasi kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM, sudut kontak air, dan AFM. Pemanenan *Nannochloropsis* sp. oleh membran termodifikasi dilakukan dengan aliran *cross-flow* didalam rangkaian modul filtrasi.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan hidrofilitas membran *flat-sheet* PVDF dengan paduan zat aditif garam LiCl yang dipreparasi dengan metode TIPS untuk proses pemanenan mikroalga *Nannochloropsis* sp.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi pada pengembangan membran *flat-sheet* PVDF untuk pemanenan *Nannochloropsis* sp. Hasil penelitian ini diharapkan mampu diterapkan pada pemanenan mikroalga dalam skala besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Mikroalga sebagai Sumber Utama *Biodiesel*

Mikroalga memiliki potensi yang besar sebagai sumber bahan utama produksi biodiesel. Hal itu dikarenakan, mikroalga memiliki kemampuan untuk menyimpan CO₂ dan mengubahnya secara intensif menjadi senyawa lain seperti asam lemak dan pati yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi (Gambelli dkk., 2017). Mikroalga dapat menduplikasi biomasanya dalam waktu sehari, dan mencapai siklus pertumbuhan optimum dalam waktu beberapa hari (Chisti, 2008). Mikroalga juga 10-20 kali lipat lebih produktif dibandingkan dengan tanaman darat lain seperti, kacang kedelai dan kelapa sawit (Narala dkk., 2006) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, mikroalga memiliki lebih banyak keunggulan jika dibandingkan dengan sumber dari tanaman lain untuk bahan produksi *biodiesel*. Hal tersebut dikarenakan, mikroalga memiliki kandungan terbesarnya yaitu lemak sebesar 70% berat dari biomassa kering. Dengan demikian, mikroalga menghasilkan *yield* tertinggi, yaitu 136,900 L/ha/tahun. Karena produksi lemak yang tinggi, mikroalga memiliki produktivitas *biodiesel* tertinggi, yaitu 121,104 kg *biodiesel*/ha/tahun. Hal ini 30 kali lebih efisien dibandingkan dengan sumber dari minyak kelapa sawit yang saat ini diproduksi di Indonesia. Keunggulan lain pada mikroalga ada pada proses budidaya kulturnya. Mikroalga hanya memerlukan sinar matahari yang cukup dan air sebagai media tumbuhnya, tidak seperti tanaman lainnya yang memerlukan lahan yang luas, dan tanah yang subur untuk tumbuh dan berkembang. Mikroalga hanya memanfaatkan lahan yang sangat kecil, yaitu 0,1 m²/tahun/kg *biodiesel*. Dari banyak kelebihan yang dimiliki, mikroalga merupakan aset untuk menunjang ketersediaan energi dimasa depan.

Tabel 2.1 Perbandingan sumber bahan utama pembuatan biodiesel

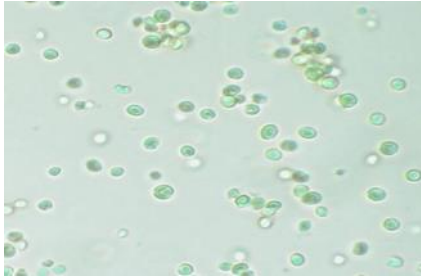
| Bahan utama | Kandungan lemak (%berat biomassa kering) | Yield lemak (L/ha/tahun) | Penggunaan lahan (m ² /tahun/ kg <i>biodiesel</i>) | Produkti vitas <i>biodiesel</i> (kg <i>biodiesel</i> / ha/tahun) |
|--------------------|--|------------------------------------|---|--|
| Kacang kedelai | 18 | 636 | 18 | 562 |
| <i>Rapeseed</i> | 41 | 974 | 12 | 862 |
| Bunga Matahari | 40 | 1070 | 11 | 946 |
| kelapa sawit | 36 | 5366 | 2 | 4747 |
| <i>Castor</i> | 48 | 1307 | 9 | 1156 |
| Mikroalga | 70 | 136,900 | 0,1 | 121,104 |

Sumber: (Mata dkk., 2010)

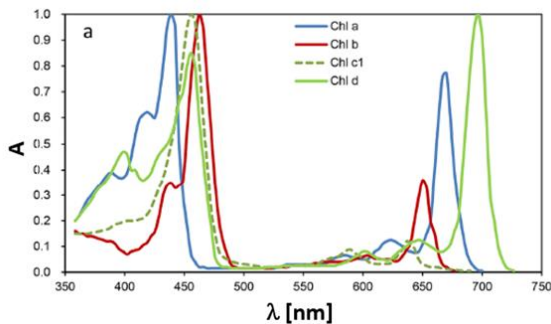
2.2 Klasifikasi Mikroalga *Nannochloropsis* sp.

Nannochloropsis sp. merupakan genus dalam klasifikasi taksonomi yang pertama kali disebut oleh Hibberd (1981). *Nannochloropsis* terdiri atas 6 spesies yaitu, *N. Gaditana*, *N. Granulata*, *N. Limnetica*, *N. Oceanica*, *N. Oculata*, *N. Salina*. Mikroalga tersebut juga termasuk dalam domain *Eukaryota*, filum *Ochrophyta*, kelas *Eustigmatophyceae*, famili *Eustigmataceae*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, *Nannochloropsis* sp. merupakan alga uniseluler laut yang memiliki ukuran diameter 2-5 μm , dengan bentuk oval dan tidak berflagelata (Boussiba dkk., 1987). Mikrolaga dari genus *Nannochloropsis* berbeda dengan mikroalga lainnya, karena *Nannochloropsis* memiliki klorofil a dan sama sekali tidak memiliki klorofil b dan klorofil c (Lubian dkk., 2000), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Klorofil a

ditangkap pada rentang panjang gelombang 640-690 nm (French dkk., 1972).



Gambar 2.1 *Nannochloropsis* sp. (Hibberd, 1981).

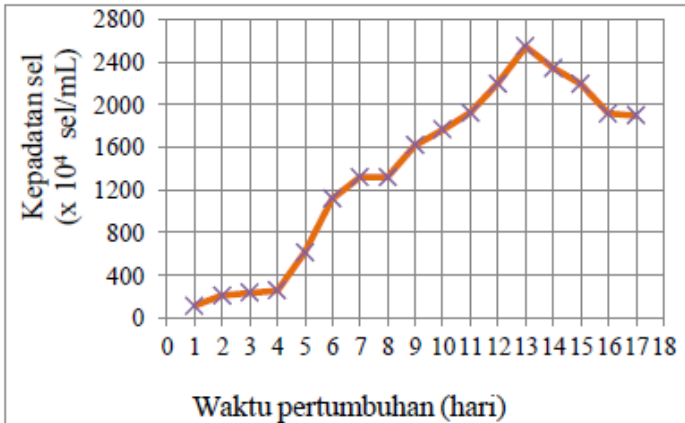


Gambar 2.2 Spektrum serapan klorofil (Chl) a, Chl b, Chl c₁ dan Chl d (Kume dkk., 2018).

2.2.1 Potensi *Nannochloropsis* sp. sebagai Sumber Utama Biodiesel

Produktivitas lemak yang tinggi membuat mikroalga *Nannochloropsis* sp. diklaim sebagai sumber bahan nabati yang sangat menjanjikan dalam produksi *biodiesel*. Produktivitas lemak yang tinggi ini dikarenakan mikroalga memiliki siklus pertumbuhan yang cepat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Penelitian Kwangdinata dkk (2013) melaporkan bahwa

pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. tercepat ada pada rentang hari ke 3-10, dimana tahap ini dikenal dengan fase eksponensial, dan hari ke 1-2 merupakan fase adaptasi untuk mikroalga terhadap lingkungannya. Kemudian, pada rentang hari ke 10-13 pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. mulai melambat yang disebut sebagai fase stasioner. Lalu, pada hari 13-17 disebut sebagai fase kematian bagi mikroalga, dimana pertumbuhan mikroalga menurun dengan sangat drastis. Hal itu disebabkan oleh matinya siklus kehidupan mikroalga yang diakibatkan oleh habisnya sumber nutrisi bagi mikroalga untuk tetap hidup.



Gambar 2.3 Pola Pertumbuhan mikroalga *Nannochloropsis* sp. (Kwangdinata dkk., 2013)

Dengan siklus pertumbuhan yang cepat ini, mikroalga *Nannochloropsis* sp. memiliki kandungan lemak tertinggi jika dibandingkan dengan spesies mikroalga lainnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. *Nannochloropsis* memproduksi kandungan lemak tertinggi, yaitu 37-60% dari biomassa keringnya, dan pada kondisi yang tidak stabil (stres), lemak trigliserida (TGAs) sebagai lemak yang digunakan untuk pembuatan biodiesel mampu diproduksi sebesar 23-58% dari total kandungan lemak

yang diproduksinya. Penelitian Mata dkk (2010) juga melaporkan hal yang demikian, dimana mikroalga ini memiliki kandungan lemak sebesar 12,0-53,0 % berat kering biomassa, tetapi jika di bawah kondisi (stress) jenis mikroalga ini hampir mencapai kandungan lemak 90% dari berat keringnya.

Tabel 2.2 Perbandingan nilai kandungan lemak dari mikroalga

| Spesies | Kandungan lemak total (% DW) | Kandungan TAGs (% lemak total) | Pustaka |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| <i>Nannochloropsis</i> | 37-60 | 23-58 | (Ma dkk., 2014) |
| <i>Isochrysis</i> | 25-33 | 80 | (Chisti, 2007) (Bougaran dkk., 2012) |
| <i>Dunaliella salina</i> | 23 | 30 | (Vanitha dkk., 2007) (Yu dkk., 2014) |
| <i>Haematococcus pluvialis</i> | 16-35 | 50-59 | (Damiani dkk., 2010) |
| <i>Neochloris oleoabundans</i> | 2-47 | 23-73 | (Bona dkk., 2014) |

2.3 Teknologi Membran sebagai Pemanenan Mikroalga

Proses pemanenan mikroalga merupakan proses terpenting untuk produksi biodiesel dari mikroalga. Teknologi yang umum digunakan untuk *dewatering* antara lain, teknik sentrifugasi, teknik flotasi, teknik flokulasi, teknik sedimentasi, dan teknik filtrasi. Adapun masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kelemahannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbandingan metode panen mikroalga

| Metode Panen | Kelebihan | Kelemahan |
|---------------------|--|---|
| Sedimentasi | <ul style="list-style-type: none"> - Mudah untuk dioperasikan - Konsumsi energi rendah | <ul style="list-style-type: none"> - Memerlukan waktu yang sangat lama - Tidak diperuntukkan untuk mikroalga dengan ukuran kecil |
| Flokulasi | <ul style="list-style-type: none"> - Efisien untuk panen mikroalga -Kapasitas panen yang besar | <ul style="list-style-type: none"> - Flokulan sangat mahal - Material bersifat beracun dan dalam penggunaan dosis yang besar dapat merusak sel mikroalga dan kualitas air untuk proses kultur kembali |
| Flotasi | <ul style="list-style-type: none"> -Dapat digunakan dengan skala besar -Cepat dan efisien | <ul style="list-style-type: none"> - Biaya mahal untuk penambahan bahan kimia - Konsumsi energi tinggi -Penambahan kimia dapat berifat racun bagi sel mikroalga |
| Sentrifugasi | <ul style="list-style-type: none"> -Cepat dan efisien | <ul style="list-style-type: none"> - Tidak cocok dalam skala besar dikarenakan tingginya biaya konsumsi energi yang dikeluarkan |
| Filtrasi | <ul style="list-style-type: none"> -Dapat dilakukan skala lab ataupun industri | <ul style="list-style-type: none"> -Proses pemanenan memakan waktu yang bergantung pada permeabilitas membran -Membran mudah rusak akibat penyumbatan pori oleh sel mikroalga |

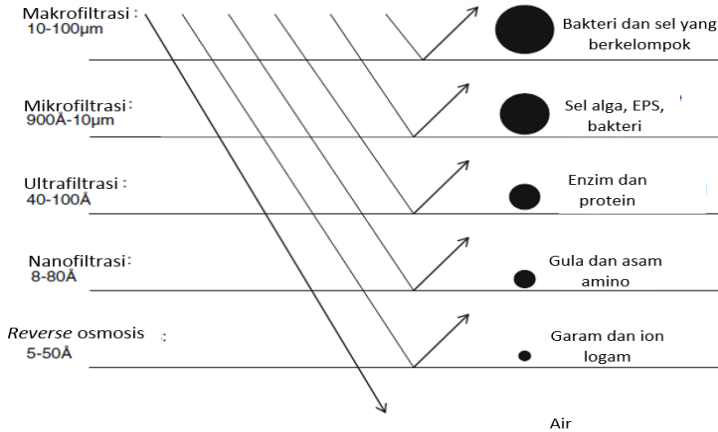
Sumber : (Zhu dkk., 2017)

Diantara teknologi yang digunakan, teknologi filtrasi membran menawarkan metode yang menjanjikan. Hal itu dikarenakan, filtrasi membran memiliki sifat yang sangat fleksibel. Adapun kelemahan yang dimiliki dapat ditingkatkan dengan produksi membran yang kompatibel dengan jenis mikroalga yang akan dipanen. Pada pengertiannya, membran merupakan sebuah lapis tipis yang memberikan penghalang secara selektif untuk membatasi jalannya pelarut (cairan dan gas) dan zat terlarut (misalnya, ion, biomolekul, koloid, sel, padatan, suspensi) yang tergantung pada sifat pelarut/terlarut (misalnya, ukuran, muatan, kelarutan, dan komposisi kimia lainnya) dan karakteristik membran (mis., ukuran dan distribusi pori, pengisian, permukaan kekasaran, dan material) (Dexler dan Yeh, 2014). Gambar 2.4 menggambarkan penolakan zat terlarut berdasarkan jenis-jenis filtrasi. *Nannochloropsis* sp. yang memiliki ukuran 2-5 μm akan efisien dipisahkan pada jenis filtrasi mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.

Material membran yang digunakan untuk industri mikroalga sangat bergantung pada konsentrasi kultur, karakteristik spesies, dan parameter alirannya. Karena pada aplikasinya terjadi pemisahan antara air (media kultur) dan sel mikroalga, maka sifat material membran yang hidrofilik sangat diperlukan untuk proses pemisahan ini. Membran yang hidrofilik akan memiliki permeabilitas yang tinggi sehingga akan mampu beroperasi dalam pemanenan mikroalga dengan waktu yang efisien. Material membran yang umum digunakan untuk pemanenan mikroalga adalah membran keramik dan membran polimer (Nurra dkk., 2014).

Membran keramik merupakan membran yang terbuat dari campuran senyawa-senyawa logam silika, alumina dan zirkonia. Membran keramik ini memiliki kinerja yang baik dalam hal permeabilitas, hidrofilitas, dan reproduibilitas. Namun, membran keramik memerlukan biaya produksi yang tinggi dibandingkan dengan membran polimer (Rios dkk., 2010). Sedangkan keterbatasan yang dimiliki oleh membran polimer, seperti poliviniliden fluorida (PVDF), polieter sulfon (PES), dan

poliakrilonitril (PAN) memiliki struktur permukaan yang bersifat hidrofobik (Nurra dkk., 2014). Untuk menciptakan sifat seperti membran keramik, namun dengan biaya produksi yang rendah, maka pengembangan sifat hidrofilik membran polimer sangat diperlukan.

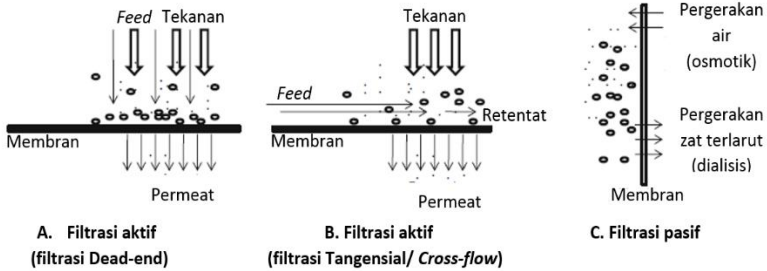


Gambar 2.4 Skema penolakan zat terlarut dalam berbagai jenis filtrasi (Dexler dan Yeh, 2014)

Pengembangan membran polimer hidrofilik dapat dilakukan dengan penambahan zat aditif pada polimer yang mampu meningkatkan hidrofilitas membran. Pada penelitian Subasi dan Cicek dkk (2016) pelapisan membran PVDF dengan polivinil alkohol mampu menurunkan sudut kontak air dari $81 \pm 1^\circ$ menjadi $68 \pm 1^\circ$. Sudut kontak air menunjukkan tingkat hidrofilitas air. Hidrofilitas meningkat seiring dengan menurunnya nilai sudut kontak. Pada penelitian lainnya, Khosravi dkk (2018) menambahkan LiCl pada membran PVDF dan berhasil menurunkan sudut kontak air dari 88° menjadi 72° . Pada penelitian lainnya, Mavukkandy dkk (2018) menambahkan polietilen glikol pada membran yang PVDF juga mampu menurunkan sudut kontak air dari 115° menjadi 73° . Dengan demikian, penambahan aditif

berpotensi untuk menjadi kandidat dalam menciptakan permukaan membran yang hidrofilik.

Pemanenan mikroalga dapat dilakukan dengan beberapa konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Filtrasi aktif ditandai dengan penggunaan tekanan (tekanan transmемbran) yang dibutuhkan untuk mengalirkan *feed* kedalam modul membran. Zat terlarut ditolak secara selektif dan permeat akan ditarik melintasi membran. Filtrasi membran yang termasuk kedalam jenis filtrasi aktif adalah filtrasi *dead-end* dan filtrasi tangensial (TFF). Filtrasi *dead-end* memiliki kelemahan, yaitu sangat rawan terjadi penyumbatan dibandingkan dengan filtrasi tangensial (TFF). Karena filtrasi tangensial menyebabkan pergeseran sel mikroalga yang diakibatkan oleh gerakan paralel dari aliran *feed*, akibatnya, membran tidak lebih mudah terjadi penyumbatan. Selain itu, filtrasi pasif (seperti, dialisis dan osmosis maju) merupakan proses filtrasi yang bergantung pada pergerakan zat terlarut atau pelarut melintasi membran. Filtrasi pasif tidak membutuhkan besar tekanan, akibatnya, filtrasi pasif membutuhkan lebih sedikit energi daripada filtrasi aktif. Namun, dikarenakan perlunya efisiensi waktu yang tinggi dalam pemanenan mikroalga, filtrasi tangensial merupakan kandidat yang tepat. Hal ini dikarenakan, filtrasi tangensial membuat sel mikroalga tidak mudah menyumbat pori membran. Selain itu, bantuan tekanan pada filtrasi tangensial juga akan menghasilkan nilai fluks yang lebih tinggi dibanding filtrasi pasif. Dilihat dari segi ekonomi, *T.suecica* berhasil dipekatkan 150 kali lipat dari konsentrasi awalnya dengan aliran TFF, dengan energi yang dikeluarkan sebesar 2.06 Kwh/m³. Energi yang dikeluarkan ini lebih sedikit dibandingkan energi yang dikeluarkan dari teknik flokulasi, sentrifugasi, ataupun filtrasi vakum (Drexler dan Yeh, 2014).



Gambar 2.5 Ilustrasi mekanisme filtrasi membran dengan beberapa konfigurasi (Drexler dan Yeh, 2014)

2.4 Pemilihan Material Membran

Pemilihan material membran, seperti material polimer dan zat aditif sangat penting dalam peningkatan sifat hidrofilik dan kinerja membran pemanenan mikroalga. Oleh karena itu, pemilihan material perlu dipertimbangkan.

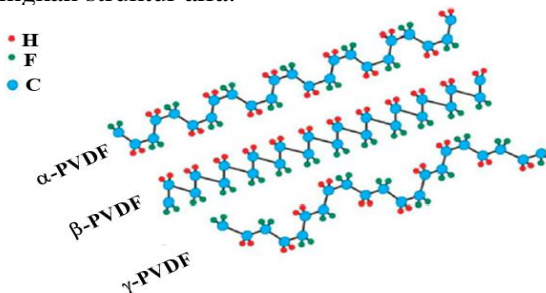
2.4.1 Pemilihan Polimer

Pemilihan jenis polimer yang memiliki permeabilitas yang baik dapat meningkatkan kinerja pemanenan mikroalga. Jenis polimer yang umum digunakan pada pemanenan mikroalga adalah poliviniliden fluorida (PVDF), polieter sulfon (PES), dan poliakrilonitril (PAN) (Nurra dkk., 2014). Membran tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada penelitian Nurra dkk (2014), kinerja ketiga membran polimer tersebut dibandingkan. Tabel 2.4 menunjukkan membran PVDF memiliki nilai permeabilitas mikroalga tertinggi yaitu, $43 \pm 5 \text{ L/m}^2/\text{h}/\text{bar}$.

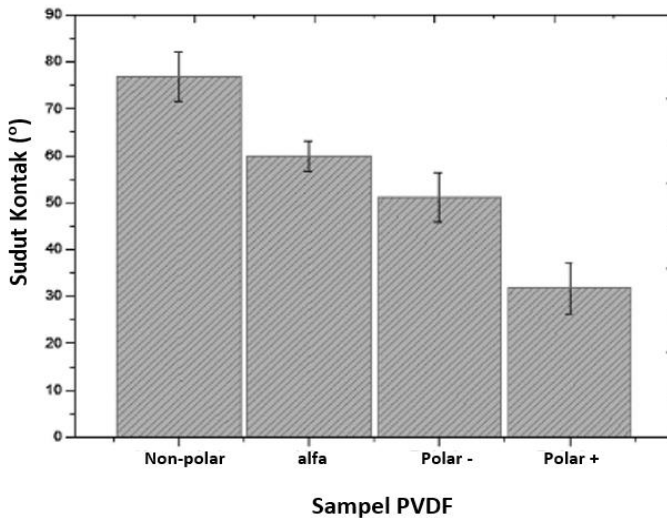
Tabel 2.4 Perbandingan permeabilitas mikroalga pada variasi material polimer

| Material Polimer | Permeabilitas mikroalga ($\text{L/m}^2/\text{h}/\text{bar}$) |
|------------------|---|
| PVDF 50 | 43 ± 5 |
| PES 20 | 36 ± 4 |
| PAN 50 | 30 ± 0 |

Selain permeabilitas yang baik, poliviniliden fluorida juga memiliki beberapa sifat unggul, seperti kekuatan mekanik tinggi yang disebabkan oleh struktur polimernya yang semi-kristalin, memiliki stabilitas termal yang baik, dan ketahanan terhadap bahan kimia yang baik (Liu dkk., 2011). Adapun struktur semi-kristalin pada polimer PVDF mempresentasikan sifat hidrofilitas permukaan membran tersebut. Umumnya, struktur semi-kristalin ini terdiri dari 3 fasa, yaitu bentuk α , β , γ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pada fasa α , PVDF memiliki rantai monomer dengan konformasi rantai TGT \check{G} (T = *trans*, G = *gauche*⁺, \check{G} = *gauche*⁻), sedangkan pada fasa β , rantai polimer memiliki konformasi TTTT (*Trans*), dan pada fasa γ , polimer PVDF memiliki konformasi rantai TTTGTTT \check{G} (Ahn dkk., 2013). Unit sel dengan fasa α ini terdiri atas 2 rantai antiparalel dengan konformasi TGT \check{G} yang muatannya saling menetralkan, sehingga struktur alfa dideskripsikan sebagai struktur yang sangat non-polar (Lovinger, 1983). Sebaliknya, struktur β memiliki sifat yang sangat polar diantara struktur lainnya (Lim dkk., 2015). Struktur beta yang polar dapat menciptakan membran dengan hidrofilitas yang baik (Salem dkk., 2015). Hal tersebut dijelaskan pada penelitian Ribeiro dkk (2012) yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dimana struktur beta yang bersifat polar memiliki sudut kontak yang lebih rendah dibandingkan struktur alfa.



Gambar 2.6 Skematik konformasi rantai polymer α , β , dan γ pada polimer PVDF (Martins dkk., 2014).



Gambar 2.7 Evaluasi sudut kontak air dari berbagai PVDF film dengan struktur semi kristalin α , β non-polar, β polar+ and β polar-). (Ribeiro dkk., 2012)

2.4.2 Pemilihan Zat Aditif

Keterbatasan yang dimiliki membran polimer adalah hidrofobisitas permukannya yang tinggi. Oleh karena itu, modifikasi membran dengan penambahan zat aditif diperlukan untuk meningkatkan sifat hidrofilik membran. Pada penelitian Khosravi dkk (2018), dilaporkan perbandingan peningkatan nilai hidrofilisitas membran PVDF akibat penambahan zat aditif, seperti LiCl, PEG 400, asam asetat, gliserol, dan metanol. Tabel 2.5. menunjukkan bahwa LiCl dapat secara maksimal menurunkan sifat hidrofobik membran dibandingkan dengan aditif lainnya. Hasil analisa sudut kontak air menunjukkan adanya penurunan derajat sudut kontak setelah penambahan LiCl dari semula 88° menjadi 72° . Selain itu, Tabel 2.6 juga menunjukkan bahwa penambahan zat aditif dapat meningkatkan kekuatan tarik. Membran dengan kekuatan tarik yang baik juga diperlukan oleh membran

pemanenan mikroalga untuk mencegah terjadinya kerusakan membran. Penambahan LiCl berhasil meningkatkan kekuatan tarik membran 2 kali lipat dibandingkan dengan sebelum penambahan, yaitu sebesar 12,06 Mpa. Nilai ini tertinggi dibandingkan penambahan dengan zat aditif lainnya.

Tabel 2.5 Sudut kontak membran PVDF dengan variasi zat aditif

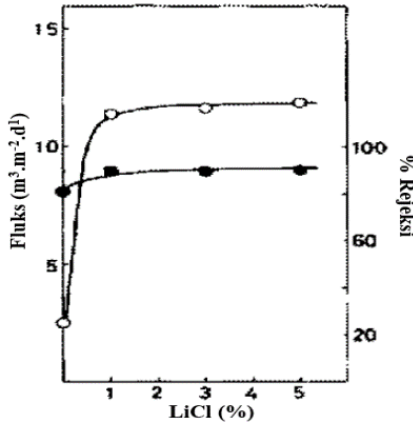
| Sampel | Sudut Kontak (°) |
|------------------|-------------------------|
| PVDF murni | 88 |
| PVDF- Metanol | 80 |
| PVDF- Gliserol | 78 |
| PVDF-Asam asetat | 76 |
| PVDF-PEG | 74 |
| PVDF-LiCl | 72 |

Tabel 2.6 Kekuatan tarik membran PVDF dengan variasi zat aditif

| Sampel | Kekuatan Tarik (Mpa) |
|------------------|-----------------------------|
| PVDF murni | 6,05 |
| PVDF- Metanol | 6,73 |
| PVDF- Gliserol | 5,01 |
| PVDF-Asam asetat | 5,63 |
| PVDF-PEG | 2,67 |
| PVDF-LiCl | 12,06 |

Efek penambahan konsentrasi LiCl kedalam polimer PVDF pada pelarut NMP telah diteliti sebelumnya. Bottino dkk (1988) melaporkan bahwa penambahan 1-5% LiCl berhasil meningkatkan permeabilitas dan selektivitas mikroalga yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pada penambahan 1% LiCl terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada fluks dan % rejeksi dibandingkan sebelum penambahan LiCl. Hal tersebut dikarenakan LiCl memiliki afinitas yang besar terhadap air, sehingga proses presipitasi berlangsung secara cepat. Akibatnya akan terjadi pembentukan pori secara

terbuka, sehingga menghasilkan membran yang hidrofilik. Adapun penambahan LiCl setelah 3% tidak memberikan efek yang optimum terhadap nilai fluks dan % rejeksi.

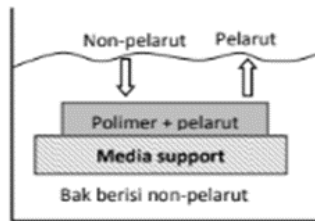


Gambar 2.8 Efek penambahan LiCl dalam larutan PVDF/NMP (% berat) pada performa ultrafiltrasi (Bottino dkk., 1988).

2.5 Preparasi Membran dengan *Thermally Induced Phase Separation* (TIPS)

TIPS merupakan metode preparasi membran yang biasanya digunakan untuk polimer semi-kristalin salah satunya seperti PVDF. TIPS memiliki proses yang relatif sederhana untuk mendapatkan membran dengan keseluruhan porositas tinggi tanpa banyaknya faktor yang mempengaruhi, seperti komposisi, viskositas, jenis zat aditif, jenis polimer dll. Pada prinsipnya, pada proses pemisahan membran terjadi perpindahan materi secara selektif karena daya dorong atau penggerak yang berupa perbedaan konsentrasi, tekanan, potensial listrik, atau suhu. Membran terbentuk karena adanya pemisahan fasa cair-cair yang umumnya didasarkan atas perbedaan ukuran partikel dan perbedaan muatan dengan gaya dorong (*driving force*) berupa temperatur (ΔT), perbedaan tekanan (ΔP) perbedaan konsentrasi (ΔC), perbedaan energi (ΔE), dan medan listrik (Mulder, 1996). Prinsip kerja dari

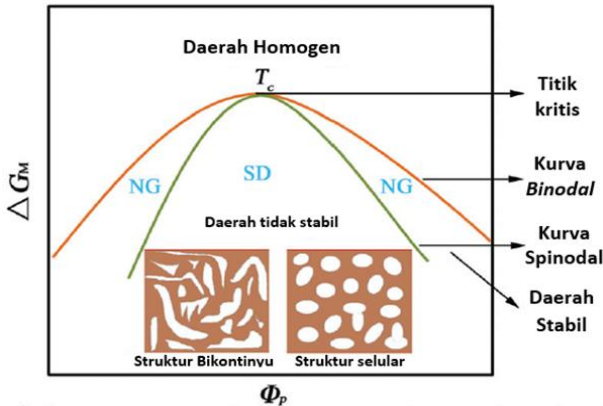
metode TIPS adalah dengan memanfaatkan transfer panas dari larutan polimer yang telah dipanaskan dengan temperatur tinggi untuk mendorong proses *demixing* dan inversi fasa secara cepat yang kemudian berakhir dengan pematatan polimer (Zahid dkk., 2018). Semakin tinggi nilai delta temperatur antara pelarut dan non pelarut akan semakin tinggi porositas membran yang terbentuk (Khairuddin dkk., 2019). Adapun fenomena ini diilustrasikan pada Gambar 2.9, yang menunjukkan terjadinya proses difusi antara pelarut dan non pelarut akibat kesetimbangan termodinamika yang berbeda antara pelarut dan non-pelarut.



Gambar 2.9 Proses pembentukan membran dengan metode TIPS (Arahman, 2012)

Pertukaran antara pelarut dan non pelarut ini yang menyebabkan terbentuknya 2 fasa, yaitu fasa kaya polimer dan yang tidak. Fasa kaya polimer akan membentuk sebuah matriks membran dan fasa yang tidak kaya polimer akan membentuk sebuah pori (Lu dkk., 2017). Meningkatnya delta suhu antara pelarut dengan non-pelarut akan meningkatkan interaksi antar keduanya, sehingga mempercepat pemisahan fasa polimer. Keadaan termodinamika ini dijelaskan pada diagram fasa terner yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Dalam diagram terner, kurva *binodal* dihitung dari teori Flory-Huggins dengan cara mengukur *cloud point* (titik kabut). Sementara, kurva *spinodal* ditentukan dari hasil turunan kurva *binodal*. Pemisahan fasa umumnya terjadi dengan mekanisme *nucleation* dan *growth* (NG) atau dekomposisi spinodal (SD), ketika komposisi larutan berada di daerah stabil, maka larutan akan terpisah dengan mekanisme NG yang menciptakan pori selular, sedangkan apabila komposisi larutan berada di daerah tidak stabil,

maka larutan akan terpisah dengan mekanisme SD yang membentuk morfologi struktur pori bikontinyu.



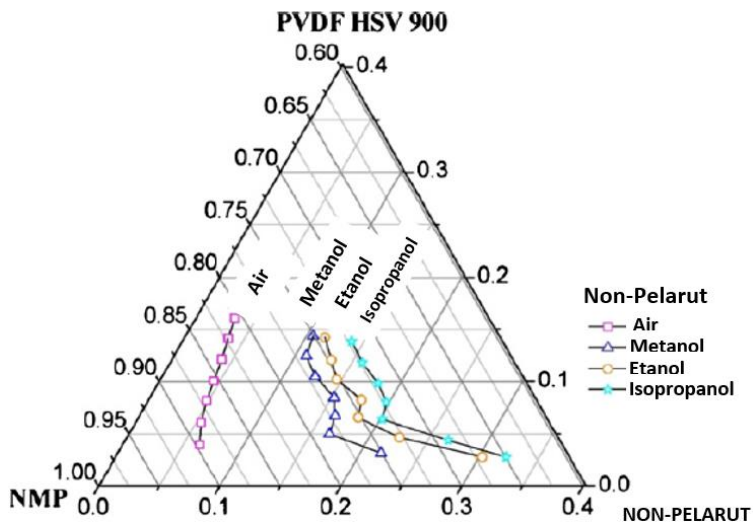
Gambar 2.10 Skematik diagram fasa (Lu dkk., 2017)

Adapun syarat dari sebuah pelarut untuk bisa digunakan pada metode TIPS, yaitu pelarut harus memiliki berat molekular yang rendah, titik didih yang tinggi, volatilitas rendah, kedapatcampuran (miscibility) tinggi dengan polimer pada suhu tinggi, stabilitas termal yang baik, dan toksisitas yang rendah (Karkhanечи dkk., 2016). Tabel 2.7 menunjukkan perbandingan beberapa pelarut dengan masing-masing titik didihnya. NMP memiliki titik didih tertinggi (202°), akibatnya, NMP tidak mudah menguap pada saat pemanasan polimer. Oleh karena itu, pelarut NMP merupakan pelarut ideal untuk metode TIPS.

Tabel 2.7 Perbandingan titik didih pelarut

| Pelarut | Titik didih ($^\circ$) | Pustaka |
|---------|--------------------------|-------------------|
| DMF | 153 | (Ucar dkk., 2015) |
| NMP | 202 | (Ucar dkk., 2015) |
| DMSO | 189 | (Ucar dkk., 2015) |
| DMAc | 165 | (Dong dkk., 2018) |

Selain dari pemilihan pelarut, pemilihan non-pelarut juga penting untuk menginduksi terjadinya inversi fasa. Gambar 2.11 menunjukkan diagram Ternern pada sistem PVDF/NMP/Non-pelarut dengan suhu 25°. Dapat dilihat bahwa kurva binodal bergeser ke konsentrasi non-pelarut yang lebih rendah dengan urutan isopropanol > etanol > metaol > air. Hal itu berarti bahwa air merupakan non pelarut yang paling efisien. Penggunaan sejumlah kecil air ke dalam larutan PVDF/NMP dapat menyebabkan larutan polimer dipisahkan menjadi dua fasa.



Gambar 2.11 Diagram Fase Ternern sistem PVDF/NMP/ dengan berbagai non pelarut (Sukitpaneetit dan Chung, 2009).

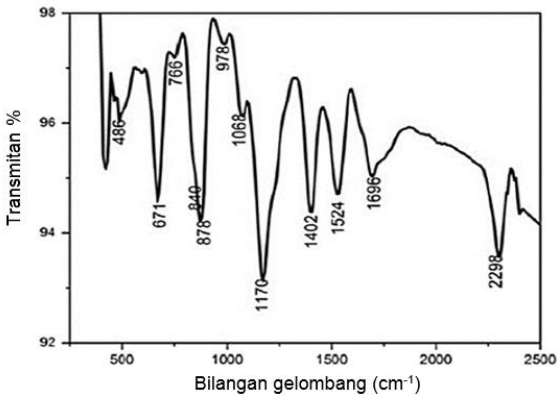
2.6 Karakterisasi

2.6.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

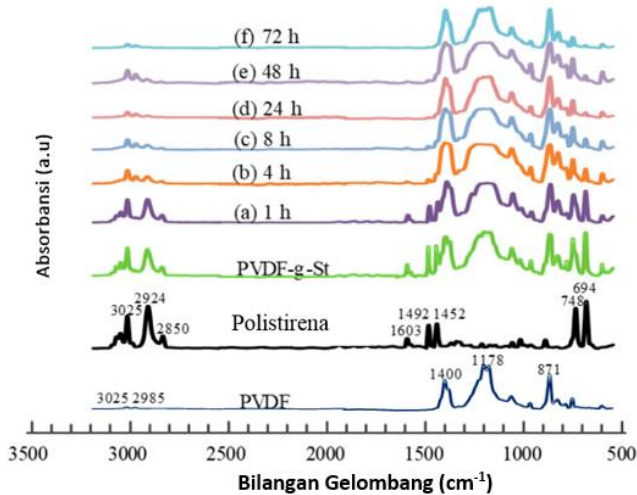
FTIR memiliki prinsip kerja dimana radiasi inframerah yang berada pada range 4000-400 cm^{-1} diabsorb dan dikonversi oleh molekul organik menjadi energi yang kemudian digunakan

suatu molekul untuk bervibrasi. Frekuensi atau bilangan gelombang yang diabsorpsi suatu material mempengaruhi massa atom relatif, konstanta kekuatan ikatan dan geometri atom-atom. Secara umum tipe vibrasi molekul dikelompokkan menjadi 2, yaitu *stretching* dan *bending*. *Stretching* merupakan pergerakan secara teratur sepanjang sumbu x, seperti jarak antar atom yang bertambah atau berkurang. *Bending* adalah gerakan yang menghasilkan perubahan sudut diantara atom-atom yang berikatan (Silverstein dkk, 2005). Spektrofotometri inframerah juga digunakan untuk penentuan struktur, khususnya senyawa organik dan juga untuk analisis kuantitatif.

Spektra FTIR dari membran PVDF yang diamati pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 memiliki puncak-puncak serapan yang khas. puncak tersebut diamati pada panjang gelombang 766 cm^{-1} dan 976 cm^{-1} yang merupakan puncak serapan dari ikatan ($-\text{CF}_2$ bending dan $-\text{CH}_2$ rocking) pada fase alfa, sedangkan ikatan C-C diamati pada puncak serapan dengan panjang gelombang 878 cm^{-1} dan ikatan $-\text{CF}_2$ *stretching* diamati pada panjang gelombang 1170 cm^{-1} (Sabira dkk., 2017). Ikatan $-\text{CH}_2$ *stretching asymmetric* dan $-\text{CH}_2$ *stretching symmetric* diamati pada panjang gelombang 3025 cm^{-1} dan 2985 cm^{-1} (Chen dan Seko, 2019).



Gambar 2.12 Spektra FTIR membran PVDF (Sabira dkk., 2017)

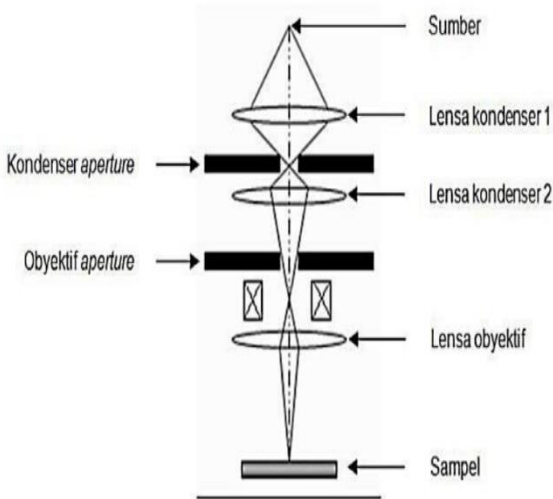


Gambar 2.13 Spektra FTIR membran PVDF (Chen dan Seko, 2019)

2.6.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

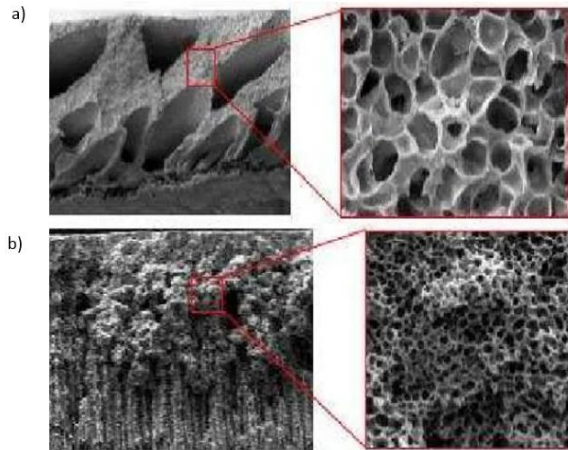
SEM merupakan salah satu jenis mikroskop yang digunakan untuk menentukan mikrostruktur padatan seperti morfologi, komposisi dan informasi kristalografi permukaan dari suatu sampel (Mukhopadhyay dan Gupta, 2013). SEM bekerja dengan cara menembakkan elektron pada seluruh permukaan sampel, interaksi antara sampel dan berkas elektron menghasilkan berbagai jenis sinyal elektron yang dipancarkan di atau dekat permukaan sampel (Matt dkk., 2015). Sinyal elektronik ini dikumpulkan, diproses, dan diterjemahkan sebagai piksel pada monitor untuk membentuk gambar topografi permukaan sampel yang muncul secara tiga dimensi. Tipe-tipe sinyal yang diproduksi oleh SEM dapat berupa *secondary electron* (SE), *back-scattered electron* (BSE), dan sinar X. Foto yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik dengan berbagai intensitas dan gradasi gelap terang pada permukaan sebagai topografi gambar (Gedde, 1995). Umumnya sampel dipreparasi dengan dilapisi film tipis emas atau

platinum untuk meningkatkan kontras dan rasio sinyal terhadap *noise*. Komponen alat dari SEM ditunjukkan pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Komponen alat SEM (Gede, 1995)

Hasil SEM dari membran PVDF/NMP dan PVDF/NMP/LiCl dapat dilihat pada Gambar 2.15. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hanya dengan penambahan sejumlah kecil aditif (2%) kedalam larutan *dope* berhasil meningkatkan struktur spons. Interaksi yang kuat antara polimer, pelarut, dan non-pelarut mengakibatkan meningkatnya viskositas larutan *dope*. Hal ini dapat menyebabkan proses *delayed demixing* pada proses pemisahan fasa cair-cair terjadi, sehingga pori dengan struktur spons terbentuk (Sunarti dan Ahmed, 2016). Pada hasil SEM terlihat bahwa penambahan LiCl mengakibatkan pori-pori kecil terbentuk, sehingga meningkatkan porositas membran. Selain itu, Lalia dkk (2013) menjelaskan bahwa penambahan LiCl tidak hanya mencegah pembentukan makrovvoid tetapi juga mendukung pengembangan struktur berpori yang sangat halus.

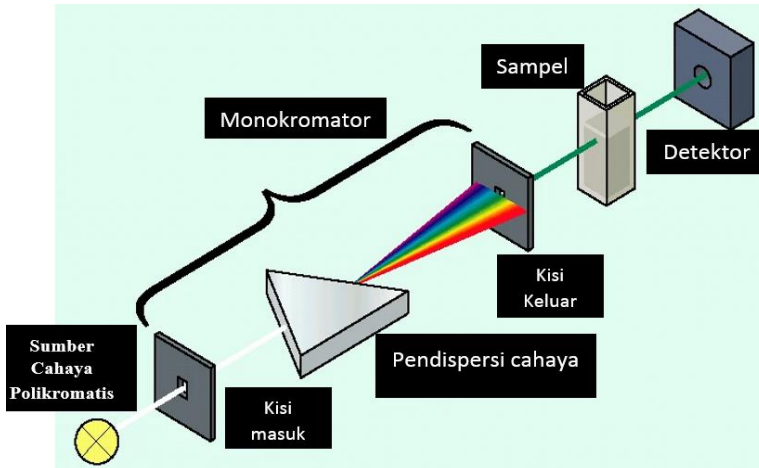


Gambar 2.15 Morfologi penampang melintang membran *flat sheet* PVDF/NMP/LiCl dengan rasio konsentrasi a) 17:83:0 dan b) 15:83:2 (Sunarti dan Ahmed, 2016)

2.6.3 Spektrofotometri Ultra-violet dan Sinar Tampak

Spektrofotometri ultra violet dan sinar tampak adalah instrumen yang digunakan untuk analisa baik secara kualitatif maupun kuantitatif terhadap senyawa-senyawa organik dalam jumlah yang sangat kecil (Skoog dan West, 1971). Metode ini berdasarkan pada pengukuran serapan cahaya di daerah ultraviolet (200-400 nm) dan sinar tampak (400-800 nm) oleh suatu senyawa yang memiliki gugus kromofor. Suatu kombinasi tertentu dari gugus fungsi akan menghasilkan suatu sistem kromoforik yang dapat menimbulkan pita-pita absorpsi dengan karakteristik tertentu (Skoog dan West, 1971). Sumber cahaya yang akan diserap oleh spesimen harus memancarkan sinar dengan kekuatan yang cukup dan konstan selama waktu yang diperlukan. Sumber cahaya tampak dan sumber radiasi Ultra-violet yang paling umum digunakan adalah lampu Wolfram dan lampu hidrogen atau deuterium yang mengandung hidrogen dengan tekanan tinggi

(Skoog dan West, 2017). Adapun prinsip kerja dari Spektrofotometri ultra violet dan sinar tampak digambarkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Skema prinsip kerja spektrofotometer ultra-violet dan sinar tampak (Skoog dan West, 1971)

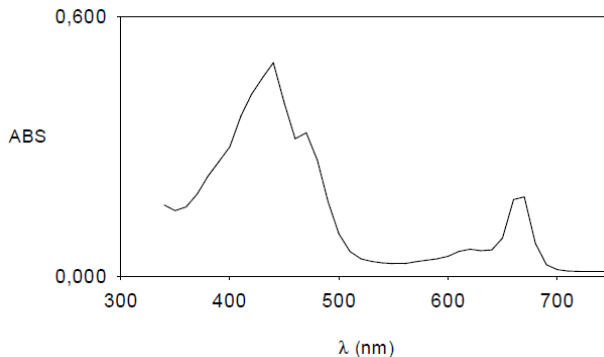
Seperti terlihat pada Gambar 2.16, suatu sumber cahaya polikromatis dipancarkan melalui monokromator. Monokromator akan menguraikan sinar yang dipancarkan dari sumber cahaya menjadi pita-pita panjang gelombang yang diinginkan untuk pengukuran. Dari monokromator, cahaya/energi radiasi akan diteruskan dan diserap oleh suatu larutan yang berada di dalam kuvet. Kemudian, jumlah cahaya yang diserap akan menghasilkan sinyal pada detektor. Sinyal yang dihasilkan akan sebanding dengan jumlah cahaya yang diserap oleh sampel larutan. Metode ini berdasarkan hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa jumlah cahaya tampak ataupun sinar ultra-violet yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu larutan merupakan suatu fungsi eksponen dari konsentrasi zat dan tebal larutan yang dituliskan kedalam Persamaan 2.1

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

(2.1)

(Skoog dan West, 1971)

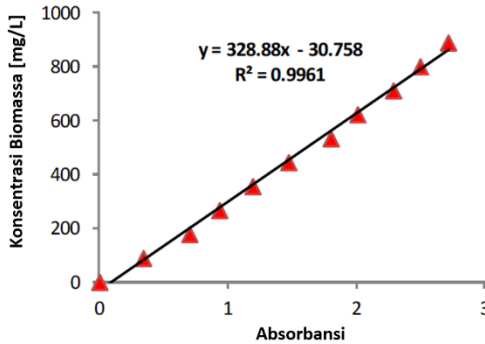
Pada persamaan 2.1, A adalah absorbansi, ϵ adalah absorbtivitas molar, dan c adalah konsentrasi. Metode ini dapat digunakan salah satunya untuk identifikasi mikroalga *Nannochloropsis gaditama*. Pada penelitian Gitelson dkk (2000), *Nannochloropsis gaditama* yang merupakan klorofita diidentifikasi dengan melihat keberadaan klorofil a yang ditangkap pada puncak dengan panjang gelombang 435 nm dan 675 nm seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Spektrum UV-Vis sel mikroalga *Nannochloropsis gaditama* (Gitelson dkk., 2000).

Selain pada pengujian kualitatif, konsentrasi mikroalga pada media kulturnya juga dapat ditentukan dengan metode Spektrofotometri ultra violet dan sinar tampak. Pada penelitian Benavides dkk (2015), kurva standar mikroalga *Dunaliella tertiolecta* berhasil dibuat. Pada pengujian pembuatan kurva standar, dilakukan scanning antara panjang gelombang 190-1100 nm, dan didapatkan puncak tertinggi pada panjang gelombang 680 nm yang kemudian ditunjukkan hubungan antara absorbansi dan

konsentrasi biomassa mikroalga dengan kurva kalibrasi pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 Kurva kalibrasi mikroalga *Dunaliella tertiolecta* (Benavides dkk., 2015).

2.7 Uji Membran

Performa membran dapat diketahui dengan cara uji membran, salah satunya adalah untuk pemanenan mikroalga. Dari uji pemanenan ini akan diketahui permeabilitas, rejeksi membran dan hasil pemekatan mikroalga. Dalam proses pemanenan, akan didapatkan data volume filtrat, waktu pemanenan, tekanan transmbran, dan area aktif membran yang digunakan sehingga nilai permeabilitas membran dapat ditentukan. Permeabilitas membran ini diukur dengan dengan Persamaan 2.2.

$$J_w = \frac{V}{\Delta t \times A \times P} \quad (2.2)$$

(Khairuddin dkk., 2019).

Rejeksi mikroalga (%) merupakan parameter penting dalam proses pemanenan mikroalga oleh membran filtrasi. Parameter ini ditentukan dengan mengukur hasil filtrat pada akhir proses pemanenan untuk mengetahui tingkat efisien membran dalam menyaring mikroalga. Membran dikatakan 100% efisien

apabila membran mendapatkan hasil perhitungan rejeksi sebesar 100% yang artinya bahwa sudah tidak ada sama sekali sel mikroalga pada filtrat. Analisa ini dapat dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer ultra-violet dan sinar tampak dengan mengidentifikasi keberadaan puncak klorofil pada rentang 640-690 nm. Kemudian, % rejeksi dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$R(\%) = \frac{C_f - C_p}{C_f} \times 100 \quad (2.3)$$

(Rao dkk., 2015)

Pada persamaan 2.3, C_p dan C_f adalah konsentrasi mikroalga di permeat dan *feed* awal mikroalga. Kemudian, parameter berikutnya adalah hasil pemanenan mikroalga, dengan mengukur hasil konsentrasi pemekatan mikroalga pada retentat diakhir proses filtrasi. Hal ini penting dilakukan, untuk mengetahui komersialisasi membran yang dipreparasi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi 5 tahap, yaitu:

- (1) Alat yang digunakan untuk budidaya kultur mikroalga adalah botol kultur, autoklaf, aerator, refraktometer (ATAGO).
- (2) Alat yang digunakan untuk preparasi membran polimer dengan variasi zat aditif adalah spatula, botol reagen, kaca arloji, gelas kimia, hotplate, *spin bar*, *magnetic stirrer*, bak air, kaca cetak, *roller tube*.
- (3) Alat yang digunakan untuk karakterisasi membran polimer yang telah dimodifikasi adalah *Fourier Transform-Infrared* (FTIR Thermo Scientific Nicolet iS10) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM Hitachi FlexSEM 1000).
- (4) Alat yang digunakan untuk uji pemanenan mikroalga adalah pompa peristaltik (FSD-400), modul filtrasi 50R Viva-flow (Sartorius), dan *stopwatch*.
- (5) Alat yang digunakan untuk analisa hasil pemanenan mikroalga adalah labu ukur, kertas saring whatman, neraca analitik, oven, spektrofotometer ultra-violet dan sinar tampak (Thermo Scientific GENESYS 10S)

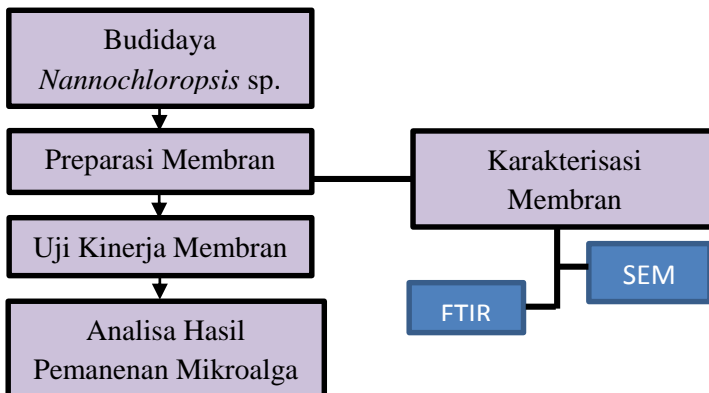
3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

- (1) Bahan yang digunakan untuk budidaya kultur *Nannochloropsis* sp. adalah bibit kultur mikroalga *Nannochloropsis* sp. dan pupuk Walne yang didapat dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo, Air laut yang didapat dari Pasar ikan hias Gunung Sari, dan Aquades.
- (2) Bahan yang digunakan untuk preparasi membran polimer adalah padatan polimer PVDF (Sigma-Aldrich), LiCl (Merck), N-metil-2-pirrolidon (NMP) (Sigma Aldrich, 99 %), dan aquades.

3.2 Prosedur Penelitian

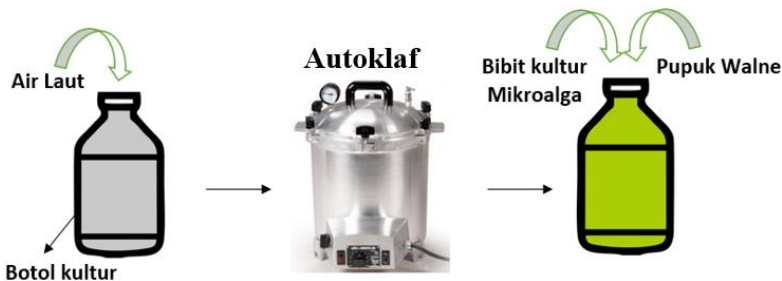
Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu proses budidaya kultur *Nannochloropsis* sp., preparasi membran, karakterisasi membran, uji kinerja membran, dan analisa hasil pemanenan mikroalga. Bagan tahapan penelitian ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

3.2.1 Metode Budidaya Kultur *Nannochloropsis* sp.

Proses budidaya kultur mikroalga dilakukan dengan memodifikasi prosedur yang dilaporkan pada penelitian Sari dan Manan (2012). Prosedur kultur mikroalga ditunjukkan pada Gambar 3.2. Proses diawali dengan sterilisasi botol kultur dan air laut sebagai media kultur menggunakan autoklaf pada suhu 121°C. Setelah proses sterilisasi, 55 mL kultur mikroalga *Nannochloropsis* sp. dan 0,55 mL pupuk Walne dimasukkan kedalam 495 mL air laut steril dengan salinitas 28-32 ppt yang diukur dengan refraktometer (ATAGO). Jumlah total volume kultur *Nannochloropsis* sp. pada botol kultur sebanyak 550 mL pada setiap perlakuan. Mikroalga diinkubasi selama 10 hari di dalam ruang kultur steril dengan aliran udara dari aerator dibawah pencahayaan yang cukup.



Gambar 3.2 Skema budidaya kultur *Nannochloropsis* sp.

3.2.2 Metode Preparasi Membran

Preparasi membran PVDF/NMP dan PVDF/NMP/LiCl dilakukan dengan memodifikasi prosedur yang dilaporkan pada penelitian Sunarti dan Ahmed (2014) termodifikasi. Tabel 3.1 menunjukkan formulasi membran yang disiapkan. Pada tahap awal pelarutan bahan, LiCl dilarutkan dalam pelarut NMP yang kemudian diikuti polimer PVDF. Campuran polimer diaduk dengan suhu 60°C selama 18 jam sampai campuran homogen. Setelah homogen, larutan didiamkan pada suhu ruang untuk menghilangkan gelembung yang terbentuk selama pencampuran.

Setelah itu, tahap preparasi membran dengan metode TIPS ditunjukkan pada Gambar 3.3. Campuran polimer yang homogen dipanaskan kembali hingga 90°C. Setelah suhu larutan mencapai 90°C, larutan polimer dicetak dengan menggunakan *roller tube*. Hasil cetakan kemudian direndam dalam bak berisi air (non-pelarut) pada suhu ruangan. Ketebalan membran rata-rata diukur dengan menggunakan mikrometer.

Tabel 3.1 Komposisi larutan *dope* % berat (larutan total = 50 mL)

| PVDF | NMP | LiCl |
|------|-----|------|
| | | 0% |
| | | 1% |
| 9% | 91% | 2% |
| | | 3% |



Gambar 3.3 Skema preparasi membran

3.3 Karakterisasi

3.3.1 Spektrofotometer Fourier-Transform Infra Red (FTIR)

Karakterisasi ikatan kimia hasil membran PVDF/NMP, dan membran PVDF/NMP/LiCl ditentukan dengan instrumen spektrofotometer FTIR. Pada tahap preparasi, membran dipotong dengan ukuran 2 cm × 4 cm, kemudian dicampur dan digerus dengan KBr dengan perbandingan 1:9 sampai homogen.

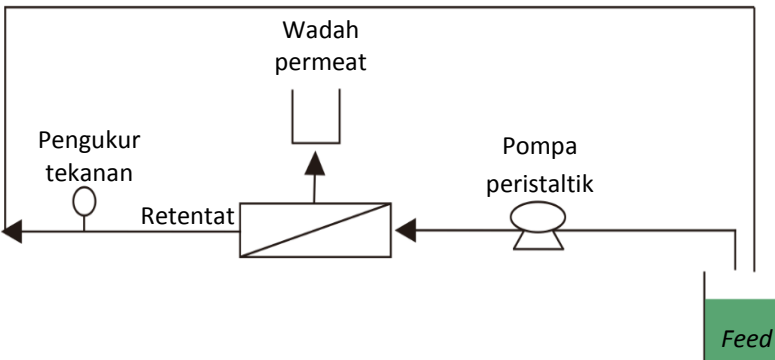
Campuran tersebut dibuat pelet dengan cara ditekan menggunakan alat penekan hidrolik. Selanjutnya pelet yang terbentuk dianalisis dengan spektrofotometer FTIR pada bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} .

3.3.2 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Membran PVDF/NMP, dan membran PVDF/NMP/LiCl dianalisa dengan instrumen *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Untuk mengetahui morfologi membran. Membran berukuran 1cm x1 cm ditempelkan pada *specimen holder*, membran dibersihkan dengan *hand blower* untuk menghilangkan debu yang tersisa. Kemudian dilakukan pelapisan dengan Au pada permukaan sampel dan diamati morfologinya dengan pemotretan menggunakan SEM

3.4 Uji Kinerja Membran

Pengujian kinerja membran dilakukan melalui 3 tahapan, yaitu ujian permeabilitas membran terhadap air, uji pemanenan mikroalga, dan analisa persentase rejeksi mikroalga. Proses filtrasi dilakukan dalam skala laboratorium dengan spesifikasi alat yang ditampilkan pada Tabel 3.2 dan skema yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar. 3.4 Skema unit *cross-flow*

Tabel 3.2 Spesifikasi Alat filtrasi

| | |
|--|--|
| Material modul filtrasi | Akrilik |
| Dimensi modul | 100×100×25 (mm) |
| Jenis aliran | Tangensial (<i>cross-flow</i>) |
| Area aktif membran | 50 cm ² |
| Material membran <i>support</i> | Polipropilena |
| Material <i>Tubing</i> | PVC (<i>medical grade</i>) |
| Diameter <i>Tubing</i> | 6 mm |
| Aliran pompa | 200-400 mL/min |
| <i>Maximum operating pressure</i> | 4 bar (48 psi) |
| <i>Maximum allowable working temperature</i> | 60°C |
| Material indikator tekanan | Polipropilena, SS <i>spring</i> (1-3 bar) |

Pada tahap awal, membran yang telah dipreparasi dipotong terlebih dahulu dengan ukuran 50 cm², kemudian dimasukkan ke dalam modul filtrasi. Pompa peristaltik digunakan untuk mengalirkan *feed* ke dalam modul filtrasi. Standar operasi pada setiap pengujian filtrasi ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Standar operasi pada proses filtrasi

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Rata-rata konsentrasi mikroalga awal | 594 mg/L |
| Volume <i>feed</i> awal | 550 mL |
| Tekanan transmembran | 1 bar |
| Laju aliran <i>feed</i> | 200 mL/min |

Pengujian permeabilitas membran dilakukan selama 30 menit dengan aquades seperti pada Gambar 3.1. Setelah itu, membran dilakukan untuk uji pemanenan mikroalga yang berlangsung selama 40 menit. Kemudian, fluks air pada masing-masing pengujian dihitung dengan sama seperti pada Persamaan 2.2.

Efisiensi pemanenan mikroalga dari membran filtrasi ditentukan dengan bersarnya % rejeksi mikroalga yang dihitung sama seperti Persamaan 2.3.

3.5 Analisa Hasil Pemanenan Mikroalga

Analisa hasil pemanenan mikroalga dilakukan dengan 2 tahapan, yaitu pembuatan kurva kalibrasi konsentrasi mikroalga dan perhitungan konsentrasi mikroalga setelah proses pemanenan.

Tahap 1. Pembuatan kurva kalibrasi konsentrasi mikroalga

Metode *dry weight* dilakukan untuk mengukur konsentrasi awal biomassa kering mikroalga. Prosedur dilakukan dengan memodifikasi prosedur yang dilaporkan pada penelitian Benavides dkk (2015). Sebanyak 10 mL mikroalga pekat dari hasil panen yang belum diketahui konsentrasinya diambil (secara duplo) dan masing-masing disaring dengan kertas saring Whatman untuk menghilangkan air kultur. Kemudian, pengeringan dengan pemanasan dilakukan didalam oven pada suhu 60°C selama 12 jam. Setelah itu, mikroalga yang kering ditimbang dengan menggunakan neraca analitik, konsentrasi dihitung dengan Persamaan 3.3

$$\text{Biomassa kering (mg/L)} = \frac{\text{Berat total} - \text{Berat kertas saring}}{\text{Volum larutan}} \quad (3.3)$$

Setelah mikroalga pekat diketahui konsentrasinya, sebanyak 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL kultur mikroalga pekat masing-masing dimasukkan kedalam labu ukur 50 mL dan ditambah aquades sampai batas takar, kemudian diukur absorbansi dengan dilakukan scanning menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada rentang panjang gelombang 300-800 nm. Pada data absorbansi eksperimental terlihat bahwa serapan tertinggi *Nannochloropsis* sp. berada pada panjang gelombang 684 nm. Kemudian, konsentrasi mikroalga yang diencerkan dapat dihitung dengan Persamaan 3.4

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (3.4)$$

Pada persamaan 3.4, M_1 adalah konsentrasi mikroalga pekat yang telah diketahui konsentrasinya dengan metode *dry weight* (mg/L), V_1 adalah volume mikroalga pekat (L), M_2 adalah konsentrasi setelah pengenceran (mg/L), V_2 adalah volume pengenceran (L). Setelah itu, diplotkan data absorbansi vs konsentrasi (mg/L) sebagai kurva kalibrasi konsentrasi mikroalga.

Tahap 2. Perhitungan Konsentrasi Mikroalga setelah Pemanenan

Pada proses pemanenan mikroalga selama 40 menit, setiap 5 menit sekali mikroalga yang tertahan membran (retentat) diambil sebanyak 8 ml untuk dianalisa absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 684 nm. Konsentrasi pemanenan mikroalga dihitung dengan bantuan kurva kalibrasi yang telah dibuat pada tahap 1. Proses ini dilakukan dengan cara memplotkan nilai absorbansi mikroalga yang telah diketahui kedalam rumus linear kurva kalibrasi, sehingga didapat hasil dari konsentrasi pemanenan mikroalga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas hasil dari budidaya kultur mikroalga *Nannochloropsis* sp., hasil dari preparasi dan karakterisasi membran PVDF/LiCl, serta hasil uji pemanenan mikroalga .

4.1 Hasil Budidaya Kultur Mikroalga *Nannochloropsis* sp.

Keberhasilan kultur mikroalga dipengaruhi oleh media kultur yang bebas kontaminasi, waktu kultur, pemberian nutrisi, dan kondisi lingkungan seperti salinitas, kuantitas cahaya matahari dan musim. Pada penelitian ini, proses sterilisasi botol kultur serta air laut yang digunakan sebagai media tumbuh mikroalga dilakukan dengan autoklaf pada suhu 121°C. Hal ini dilakukan untuk mencegah adanya kontaminasi mikroorganisme lain yang dapat mengganggu pertumbuhan mikroalga. Selain itu, proses budidaya kultur dilakukan dengan masa inkubasi selama 10 hari. Adapun masa inkubasi selama 10 hari merupakan waktu yang optimum untuk perkembangbiakan mikroalga. Hasil tersebut dijelaskan pada penelitian Kwangdinata dkk (2013) bahwa pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. tercepat ada pada rentang hari ke 3-10, yaitu pada tahap fase eksponensial. Peningkatan kepadatan sel juga diperkaya dengan diberikannya kandungan unsur hara pada kultur melalui pemupukan. Pada penelitian ini pupuk Walne teknis digunakan sebagai sumber nutrisi yang mengandung berbagai unsur hara mikro makro, dan vitamin bagi mikroalga untuk tumbuh (Ochthreeani dan Soedarsono, 2014). Besar kecilnya kadar salinitas berpengaruh terhadap tekanan osmose dan mekanisme osmoregulasi yang secara langsung akan mempengaruhi proses metabolisme, proses respirasi serta menghambat proses pembiakan sel vegetatif secara bertahap, sehingga akan mempengaruhi kepadatan populasi mikroalga (Vasquez-Duhalt dan Arredondo-Vega, 1991). Oleh karena itu, salinitas air laut sebagai media tumbuh mikroalga dikontrol

dengan nilai 28-32 ppt. Kemudian, udara CO₂ yang dialirkan ke dalam kultur mikroalga dengan kondisi pencahayaan yang cukup juga akan sangat dibutuhkan mikroalga untuk berfotosintesis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dengan mengontrol beberapa parameter penting, mikroalga *Nannochloropsis* sp. berhasil dikultur dengan menghasilkan konsentrasi rata-rata sebesar 0,594 g/L.

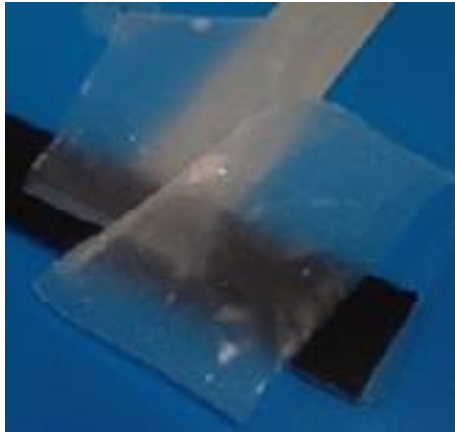


Gambar 4.1 Proses budidaya kultur *Nannochloropsis* sp.

4.2 Karakteristik membran *Flat-sheet* PVDF/LiCl pada metode TIPS

Membran *flat-sheet* PVDF pada penelitian ini dipreparasi dari poliviniliden fluorida (PVDF) dalam pelarut N-metilpirolidin (NMP) dengan modifikasi antara penambahan variasi konsentrasi aditif LiCl dan metode TIPS. Hasil preparasi membran *flat-sheet* ditunjukkan pada Gambar 4.2. Membran yang telah dipreparasi dikarakterisasi menggunakan *Fourier-Transform InfraRed* FTIR dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi tersebut

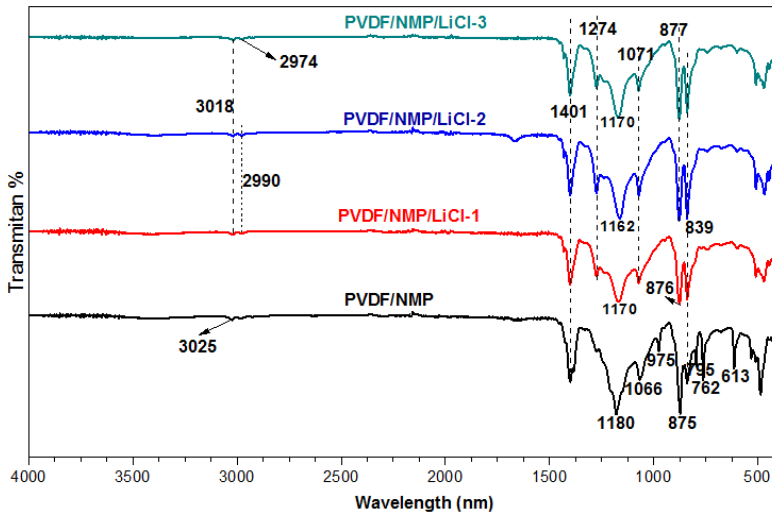
digunakan untuk mengetahui pengaruh komposisi penambahan aditif LiCl pada hasil preparasi membran.



Gambar 4.2 Hasil preparasi membran *flat-sheet* PVDF

4.2.1 Struktur Ikatan Kimia Membran PVDF/LiCl dengan Variasi Konsentrasi LiCl

Membran hasil preparasi dianalisa dengan Spektrofotometer *Fourier-Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui struktur ikatan kimia membran. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif LiCl pada perubahan struktur membran polimer. Hasil analisa FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 terlihat bahwa LiCl tidak berikatan secara kimia dengan polimer PVDF. Hal tersebut dijelaskan pada penelitian Bottino dkk (1988) yang melaporkan bahwa LiCl memiliki afinitas yang jauh lebih besar terhadap air. Akibatnya, LiCl bersama pelarut NMP ikut berdifusi pada saat inversi fasa dengan air sebagai non-pelarut yang berakhir dengan pematatan polimer PVDF dengan struktur pori tertentu. Identifikasi ikatan juga dilakukan dengan mengamati beberapa puncak-puncak tertentu yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

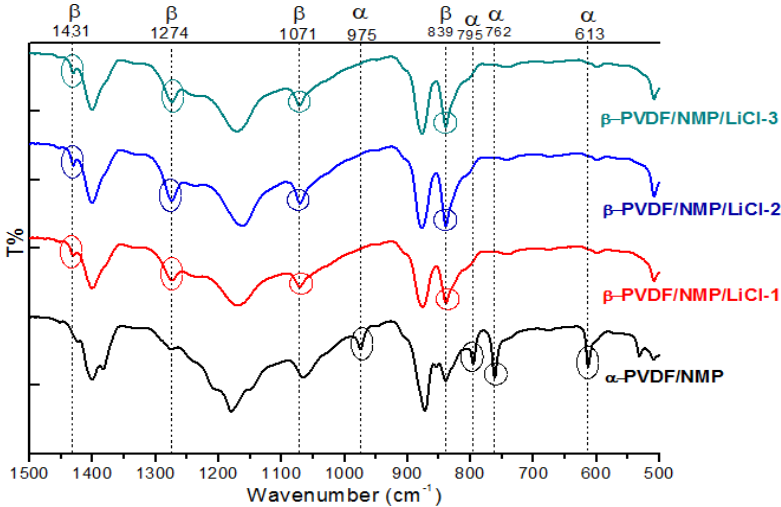


Gambar 4.3 Spektra IR membran PVDF murni dan PVDF/LiCl dengan variasi konsentrasi 1-3% berat

Walaupun LiCl tidak berikatan secara kimia dengan polimer PVDF, namun keberadaan LiCl mengakibatkan perubahan struktur fasa rantai polimer α menjadi fasa β pada membran PVDF yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.1. PVDF merupakan polimer semi-kristalin yang memiliki beberapa struktur pada orientasi rantai polimernya diantaranya yaitu orientasi α , β , γ (Ahn dkk., 2013). Sebelum LiCl ditambahkan, spektra IR pada membrane polimer PVDF murni menunjukkan penyerapan karakteristik dengan konformasi alfa sepanjang rantai polimernya, diantaranya puncak serapan tersebut ada pada bilangan gelombang 613 cm^{-1} , 762 cm^{-1} , 795 cm^{-1} , dan 975 cm^{-1} . Setelah penambahan LiCl, spektra membran polimer PVDF menunjukkan puncak serapan yang berbeda dari sebelum penambahan LiCl diantaranya terlihat puncak serapan pada bilangan gelombang 839 cm^{-1} , 1071 cm^{-1} , 1274 cm^{-1} , dan 1431 cm^{-1} yang mengarah kepada pembentukan fasa beta sepanjang rantai polimer PVDF.

Tabel 4.1 Ikatan kimia membran polimer PVDF-Murni dan PVDF/LiCl

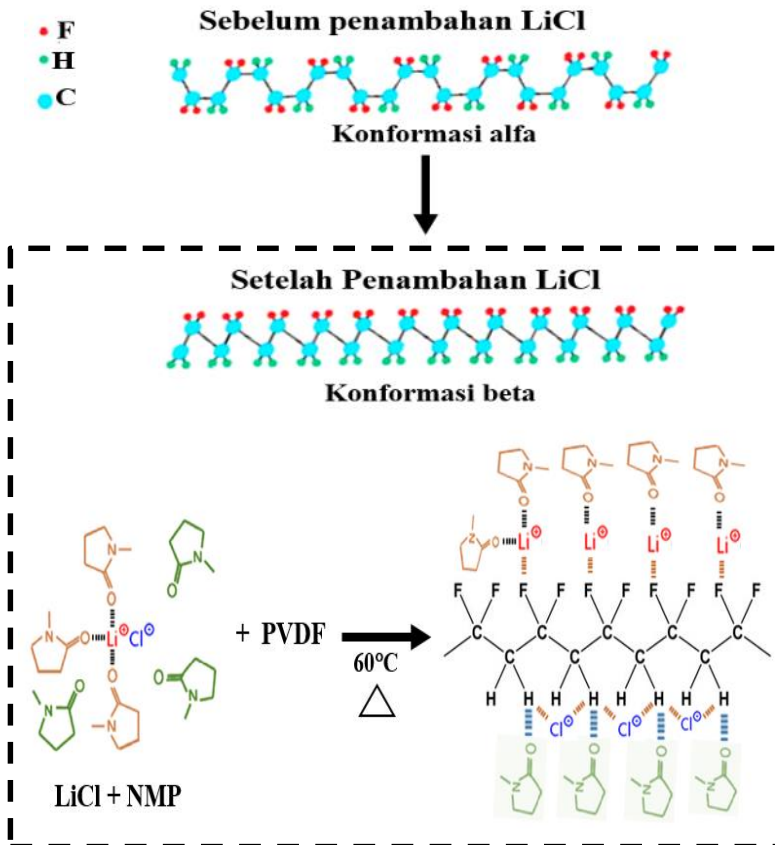
| Puncak (cm^{-1}) | Ikatan | fasa | Pustaka |
|--------------------------------|---|----------|---|
| 3025, 3018 | -CH ₂ <i>stretching</i> <i>asymmetric</i> | | (Chen dan Seko, 2019) (Mendez dkk., 2001) |
| 2990, 2974 | -CH ₂ <i>stretching</i> <i>symmetric</i> | | (Ahmed dkk., 2013) (Mendez dkk., 2001) |
| 1431 | -CH ₂ <i>bending</i> | β | (Mofokeng dkk., 2014) |
| 1401 | -CH ₂ <i>scissoring</i> <i>deformation</i> | | (Chen dan Seko, 2019) |
| 1274 | -CF ₂ <i>stretching</i> <i>asymmetric</i> | β | (Nallasamy dan Mohan, 2005) |
| 1180, 1170, 1162 | -CF ₂ <i>stretching</i> | | (Dahan dkk., 2015) (Lu dkk, 2017) (Chilvery dkk., 2014) |
| 1071 | C-C <i>stretching</i> | β | (Nallasamy dan Mohan, 2005) |
| 1066 | C-C <i>stretching</i> | | (Nallasamy dan Mohan, 2005) |
| 975 | -CH ₂ <i>twisting</i> | α | (Roy dkk, 2018) |
| 875, 876,877 | C-C <i>stretching</i> | | (Nallasamy dan Mohan, 2005) |
| 839 | -CH ₂ <i>rocking</i> -CF ₂ <i>bending</i> C-C <i>stretching</i> | β | (Dahan dkk., 2015) |
| 795 | -CH ₂ <i>rocking</i> | α | (Roy dkk., 2018) |
| 762 | -CF ₂ <i>bending</i> dan <i>skeletal</i> <i>bending</i> | α | (Roy dkk., 2018) |
| 613 | -CF ₂ <i>bending</i> | | (Mendez dkk., 2001) |
| | | α | |



Gambar 4.4 Spektra IR konformasi rantai polimer membran α -PVDF dan β -PVDF/LiCl

Adapun proses perubahan fasa α menjadi fasa β setelah penambahan LiCl ini terjadi melalui proses yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pada awal proses homogenasi larutan *dope*, ketika LiCl dilarutkan kedalam pelarut NMP, LiCl akan terdisosiasi menjadi ion Li^+ dan Cl^- , dimana Li^+ sebagai kation akan memiliki interaksi ion-dipol dengan gugus karbonil secara yang dimiliki NMP. Oleh karena itu, LiCl dapat dengan sempurna larut dengan pelarut NMP (Lu dkk., 2017). Selain itu, penambahan LiCl dalam jumlah yang kecil dapat menyebabkan terjadinya peningkatan viskositas yang tinggi pada larutan *dope*. Hal ini selain disebabkan oleh interaksi Li^+ dengan gugus karbonil, juga terjadi akibat adanya interaksi gaya intermolekuler yang kuat antara Li^+ dengan donor elektron PVDF (Bottino dkk., 1988) dan juga terbentuknya ikatan hidrogen antara atom H dengan gugus karbonil bebas dari pelarut NMP (Jie dkk., 2020). Berdasarkan hasil analisa dengan FTIR, interaksi antara LiCl, PVDF, dan NMP dalam proses homogenasi menginduksi terjadinya perubahan konformasi rantai membran

polimer PVDF menjadi fasa beta. Struktur beta memiliki kepolaran yang tertinggi dibandingkan bentuk konformasi rantai lainnya, sifat polar ini dapat menciptakan membran dengan hidrofilitas yang baik (Salem dkk., 2015).

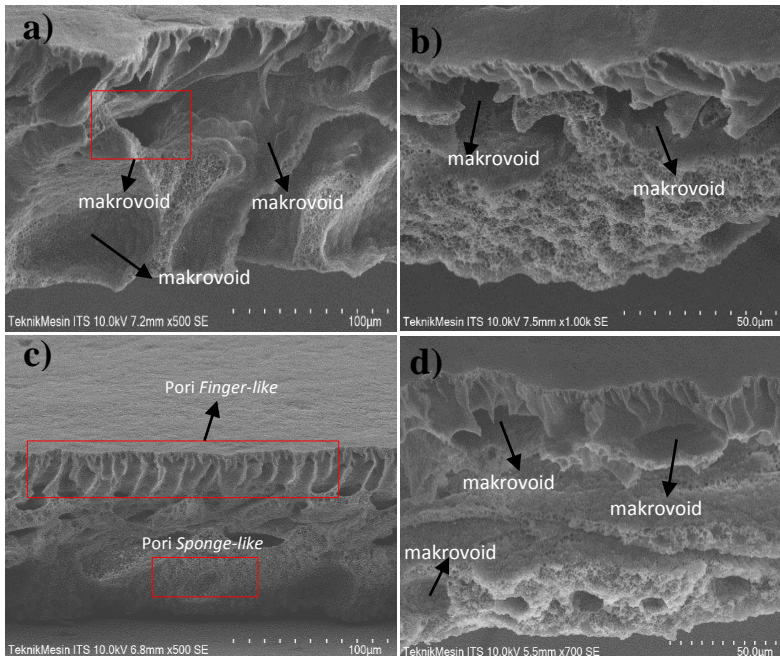


Gambar 4.5 Skema proses terbentuknya konformasi beta pada rantai polimer membran PVDF

4.2.2 Morfologi Membran PVDF/LiCl dengan Variasi LiCl

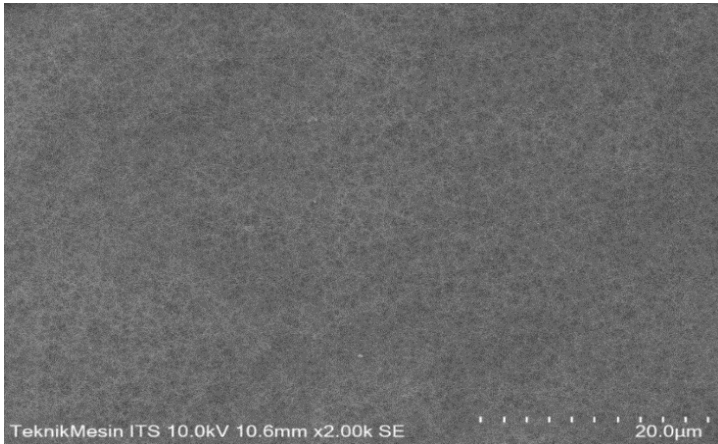
Hasil preparasi membran diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan danampang melintang (*cross section*) dari membran. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif LiCl pada morfologi tampang melintang dan permukaan membran. Morfologi tampang melintang membran PVDF murni dan PVDF/LiCl dengan variasi konsentrasi LiCl dapat dilihat pada Gambar 4.6. Hasil menunjukkan bahwa porositas membran meningkat seiring meningkatnya penambahan konsentrasi LiCl, adanya pori yang menyerupai jari pada bagian atas membran setelah penambahan LiCl menunjukkan bahwa terjadinya proses *instantaneous demixing* pada inversi fasa yang artinya proses pemadatan polimer terjadi secara cepat. Hal tersebut dikarenakan LiCl memiliki afinitas yang besar terhadap air sehingga akan menginduksi terjadinya pembentukan struktur pori tersebut (Guillen dkk., 2011). Selain itu, struktur pori yang seperti spons pada bagian tengah sampai bawah membran dihasilkan dari proses *delayed demixing* dimana pemadatan polimer terjadi dengan waktu yang lebih lambat (Guillen dkk., 2011). Pembentukan makrovoid yang meluas pada membran PVDF murni terjadi dikarenakan rendahnya konsentrasi polimer PVDF dalam pelarut (Kahrs dkk., 2019). Dalam konsentrasi polimer yang terlalu rendah, pertukaran antara air dan pelarut pada inversi fasa dapat menyebabkan perluasan makrovoid yang dapat mengurangi selektivitas membran dan menghasilkan membran yang kurang berpori (Kahrs dkk., 2019). Morfologi membran menunjukkan bahwa penambahan LiCl sebanyak 2% berat merupakan penambahan yang optimum. Hal ini disebabkan pada membran PVDF/LiCl 2% ukuran dan keberadaan void sangat menurun dibandingkan pada membran lainnya, dan terlihat bahwa berkurangnya void akan menghasilkan membran yang berporositas tinggi. Peningkatan viskositas oleh penambahan LiCl mengakibatkan menurunnya kecepatan difusi tukar antara pelarut dan non-pelarut yang menyebabkan melambatnya pemadatan

polimer, Oleh karena itu, penambahan jumlah zat aditif yang tepat dapat menghalangi pembentukan makrovoid (Guillen dkk., 2013). Namun, peningkatan viskositas yang terlalu tinggi juga dapat membentuk kembali makrovoid pada membran, seperti yang terjadi pada membran PVDF/LiCl 3%.



Gambar 4.6 Hasil SEM morfologi membran a) PVDF murni, b) PVDF/LiCl 1%, c) PVDF/LiCl 2%, d) PVDF/LiCl 3%

Hasil morfologi permukaan membran PVDF/LiCl 2% ditunjukkan pada Gambar 4.7. Hasil menunjukkan bahwa membran PVDF/LiCl 2% memiliki permukaan yang halus dan luas permukaan pori yang tinggi.

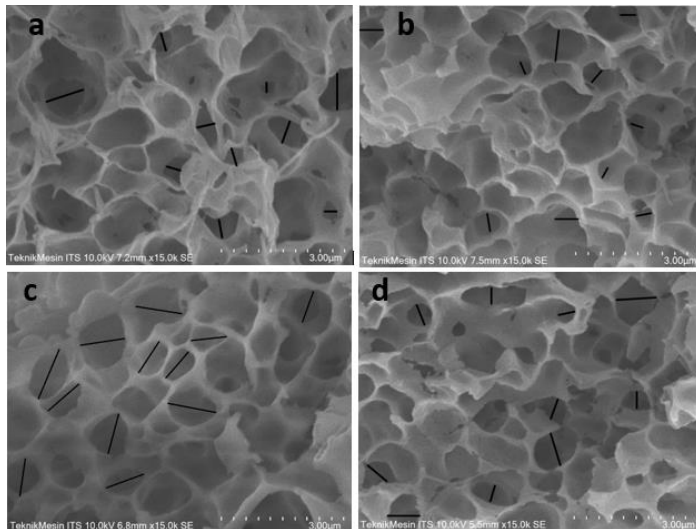


Gambar 4.7 Hasil SEM morfologi membran PVDF/LiCl 2% bagian permukaan.

Analisa pengukuran struktur poriampang melintang membran PVDF/LiCl 2% juga dilakukan pada penelitian ini. Kombinasi antara metode TIPS dan LiCl berhasil memberikan efek yang cukup signifikan terhadap hasil pengukuran diameter pori terhadap lapisan struktur spons pada bagianampang melintang membran ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.8. Hasil menunjukkan bahwa lapisan pori spons membran PVDF/LiCl-2 memiliki ukuran rata-rata pori tertinggi, yaitu 1 μm . Semakin besarnya ukuran pori akan semakin meningkatkan permeabilitas membran dalam pemanenan. Namun, jika dibandingkan dengan ukuran sel mikroalga *Nannochloropsis* sp. yang memiliki diameter 2-5 μm (Khairuddin dkk., 2019), rata-rata ukuran pori membran yang juga berukuran mikro dapat mengakibatkan penyumbatan oleh mikroalga pada membran selama pemanenan.

Tabel 4.2 Persebaran ukuran diameter pori *sponge-like* membran PVDF/LiCl

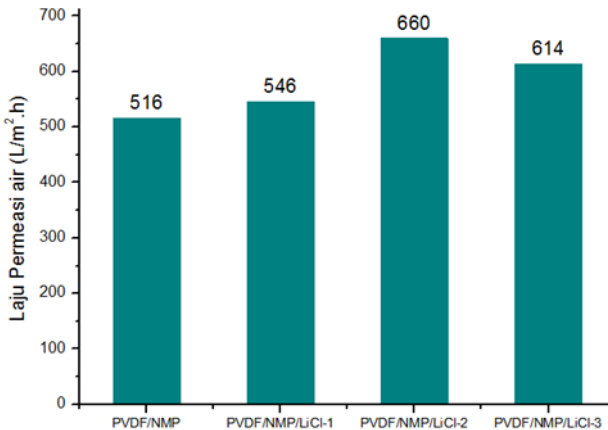
| PVDF Murni | PVDF/LiCl-1 | PVDF/LiCl-2 | PVDF/LiCl-3 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,666 | 0,509 | 0,817 | 0,801 |
| 0,232 | 0,811 | 0,932 | 1,042 |
| 0,433 | 0,443 | 1,163 | 0,542 |
| 0,273 | 0,604 | 0,924 | 0,716 |
| 0,432 | 0,278 | 1,232 | 0,515 |
| 0,465 | 0,446 | 0,856 | 0,664 |
| 0,236 | 1,004 | 1,126 | 0,493 |
| 0,566 | 0,777 | 0,895 | 0,595 |
| 0,577 | 0,561 | 0,970 | 0,396 |
| 0,413 | 0,437 | 1,084 | 0,754 |
| 0,43 | 0,59 | 1 | 0,65 |



Gambar 4.8 Hasil morfologi struktur pori *sponge-like* pada membran : a)PVDF Murni; b) PVDF/LiCl-1; c) PVDF/LiCl-2; d)PVDF/LiCl-3

4.3 Hasil Kinerja Membran PVDF/LiCl untuk Pemanenan Mikroalga *Nannochloropsis* sp.

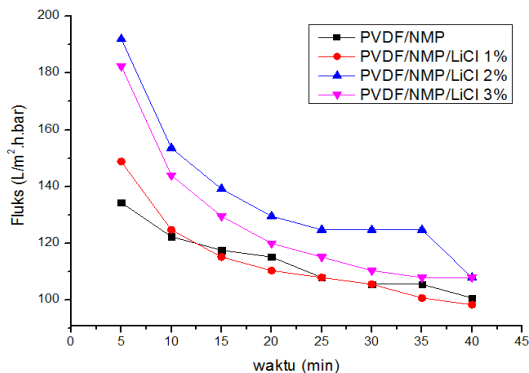
Membran yang telah dipreparasi dilakukan uji pemanenan mikroalga untuk mengetahui permeabilitas membran, fluks pemanenan mikroalga, dan rejeksi mikroalga. Gambar 4.9 menunjukkan laju permeasi air untuk variasi konsentrasi membran PVDF/LiCl. Laju permeasi air yang optimum ada pada membran dengan penambahan LiCl sebanyak 2%. Hal ini disebabkan membran PVDF/LiCl-2 memiliki porositas dan hidrofilisitas yang tinggi, sehingga sangat berkontribusi pada kenaikan laju permeasi air.



Gambar 4.9 Laju permeasi air dari variasi penambahan LiCl dalam membran PVDF/LiCl

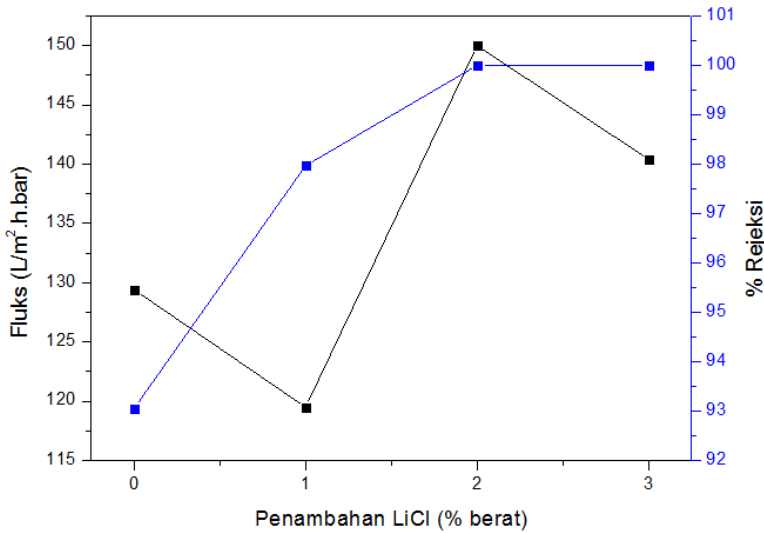
Grafik laju fluks pemanenan mikroalga dari menit ke- 5 sampai menit ke- 40 oleh membran yang dipreparasi ditunjukkan pada Gambar 4.10. Hasil menunjukkan bahwa membran PVDF/LiCl-2 memiliki grafik fluks yang lebih tinggi dibandingkan dengan membran lainnya. Hasil ini selaras dengan sifat hidrofilisitas yang tinggi pada membran

PVDF/LiCl-2 dapat meningkatkan laju fluks pemanenan mikroalga. Namun, Laju fluks pada masing-masing membran juga menunjukkan penurunan dengan bertambahnya lama waktu pemanenan, dan mencapai tingkat fluks yang konstan setelah 25 menit lama pemanenan pada membran PVDF/NMP/LiCl 2%. Fluks menurun terjadi dikarenakan adanya penyumbatan pori oleh sel mikroalga.



Gambar 4.10 Laju fluks pemanenan mikroalga dari variasi penambahan LiCl dalam membran PVDF/LiCl

Gambar 4.11 dan Tabel 4.3 menunjukkan besar rata-rata % rejeksi dan fluks pemanenan mikroalga terhadap 3 kali pengulangan. Sebelum penambahan LiCl, membran PVDF memiliki % rejeksi terendah, yaitu 93,05 %. Hal tersebut selaras dengan hasil morfologi membran yang menunjukkan bahwa makrovoid yang terbentuk pada membran PVDF murni dapat menurunkan selektivitas membran (Kahrs dkk., 2019). Setelah penambahan LiCl, % rejeksi semakin meningkat seiring penambahan jumlah LiCl. Hasil menunjukkan bahwa membran PVDF/LiCl 2% memiliki kinerja yang optimum, dengan nilai fluks rata-rata tertinggi, yaitu 150 L/m²h dan nilai % rejeksi tertinggi sebesar 100%.



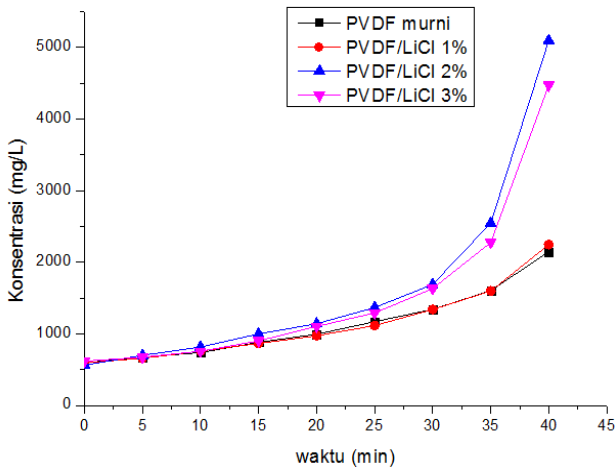
Gambar 4.11 Kurva rata-rata laju fluks dan % rejeksi pada pemanenan mikroalga terhadap variasi penambahan LiCl pada membran PVDF/LiCl

Tabel 4.3 Nilai rata-rata fluks dan rejeksi pemanenan mikroalga

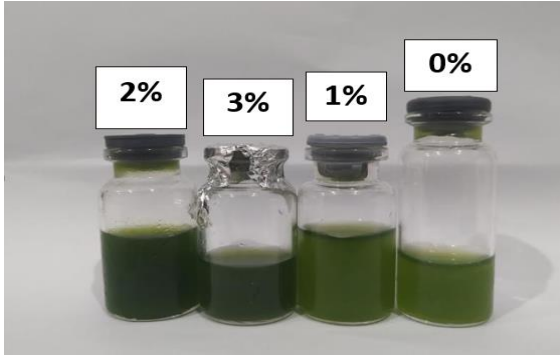
| Membran | Rata –Rata Fluks (L/m ² .h) | Rata-Rata Rejeksi (%) |
|-----------------|--|-----------------------|
| PVDF/NMP | 129,4 | 93,05 |
| PVDF/NMP/LiCl-1 | 119,5 | 97,97 |
| PVDF/NMP/LiCl-2 | 150 | 100 |
| PVDF/NMP/LiCl-3 | 140,4 | 100 |

4.4 Hasil Analisa Konsentrasi Mikroalga setelah Pemanenan

Mikroalga yang telah dipanen dianalisa untuk ditentukan konsentrasinya. Hasil konsentrasi pada akhir proses panen menjadi kriteria membran yang efektif dalam pemanenan. Gambar 4.12 menunjukkan kenaikan konsentrasi mikroalga selama 40 menit pertama pemanenan. Hasil menunjukkan bahwa membran PVDF/LiCl 2% menghasilkan konsentrasi akhir hasil pemanenan mikroalga tertinggi, yaitu 5,097 mg/L. Hasil ini seiring dengan fluks membran PVDF/LiCl 2% yang tinggi. Gambar 4.13 juga menunjukkan perbedaan warna retentat akhir pemanenan mikroalga pada membran dengan variasi penambahan LiCl. Hasil tersebut selaras dimana konsentrasi retentat yang lebih tinggi menghasilkan warna retentat yang lebih pekat. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa membran PVDF/LiCl 2% adalah membran yang menunjukkan kinerja optimum pada penelitian ini.



Gambar 4.12 Kurva konsentrasi retentat mikroalga selama 40 menit pada variasi penambahan LiCl membran PVDF/LiCl



Gambar 4.13 Perubahan warna retentat akhir proses pemanenan pada variasi konsentrasi LiCl membran PVDF/LiCl

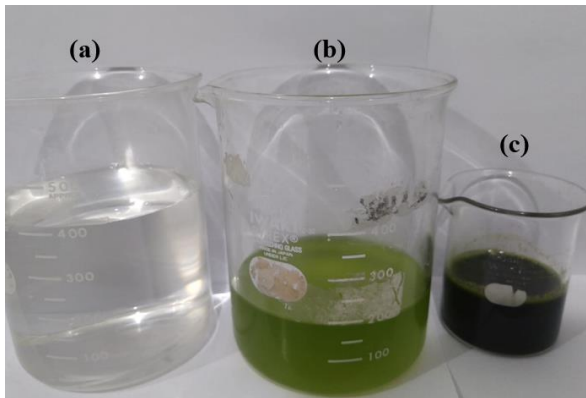
Gambar 4.14 juga menunjukkan perbedaan warna retentat mikroalga dari menit ke-5 hingga menit ke-40 pada membran PVDF/LiCl 2%. Hasil menunjukkan bahwa warna mikroalga semakin pekat seiring bertambahnya waktu. Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya jumlah air dalam kultur mikroalga yang diakibatkan oleh penyaringan dengan membran filtrasi.



Gambar 4.14 Perubahan warna retentat mikroalga selama 40 menit pertama membran PVDF/LiCl 2%

Setelah mendapatkan hasil membran dengan variasi penambahan LiCl yang optimum, percobaan *up-scale* dilakukan untuk mengetahui potensi membran untuk digunakan dalam skala

implementatif. Hal ini dilakukan dengan cara menambahkan jumlah *feed* mikroalga awal yang semula 550 mL menjadi 4L dan menentukan lama waktu pemanenan serta % rejeksi mikroalga selama proses berlangsung. Selanjutnya, hasil retentat akhir mikroalga dianalisa dengan menghitung konsentrasinya. Hasil menunjukkan bahwa membran PVDF/LiCl 2% mampu memanen mikroalga dengan konsentrasi *feed* awal 508 mg/L sebanyak 4L dengan waktu 13 jam 26 menit, dan tetap memiliki performa yang baik yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dengan hasil filtrat yang jernih. Hasil ini mengindikasikan bahwa membran tetap memiliki % rejeksi sebesar 100% selama proses tersebut berlangsung. Konsentrasi retentat akhir dihasilkan sebesar 28,290 mg/L. Dengan demikian, kinerja pemanenan mikroalga oleh membran PVDF/LiCl 2% dengan waktu yang cepat dan tidak ada penurunan performa membran selama proses pemanenan berlangsung menunjukkan bahwa membran memiliki potensi untuk diterapkan dalam skala industri.



Gambar 4.15 Hasil *up-scale* pemanenan mikroalga dengan membran PVDF/LiCl 2%, a) Filtrat, b) *Feed* awal (508 mg/L), c) Retentat (28,290 mg/L)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Membran PVDF/LiCl pada penelitian ini berhasil meningkatkan hidrofilitas dan kinerja pemanenan mikroalga *Nannochloropsis* sp. Metode TIPS dan konsentrasi LiCl dapat mempengaruhi hidrofilitas dan kinerja membran. Penambahan jumlah LiCl yang tepat dapat menurunkan jumlah dan ukuran makrovoid, dan meningkatkan porositas membran yang ditunjukkan dengan analisa SEM. Penambahan LiCl juga mampu mengubah struktur konformasi fasa α menjadi β yang memiliki kepolaran yang tinggi, sehingga meningkatkan hidrofilitas membran yang ditunjukkan pada spektra FTIR. Pada penelitian ini, membran PVDF/LiCl 2% memiliki kinerja pemanenan mikroalga yang baik. Nilai permeasi air untuk membran PVDF/LiCl 2% adalah 660 L/m²h, dengan nilai rata-rata fluks mikroalga, yaitu 150 L/m²h.bar dan nilai % rejeksi mikroalga sebesar 100%.

5.2 Saran

Penelitian lanjutan dari penelitian ini, yaitu metode pencucian membran, karena masalah penyumbatan membran juga terjadi pada membran mikrofiltrasi PVDF/LiCl. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui potensi aplikasi membran PVDF/LiCl dalam jangka waktu yang panjang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Al Hattab, M., Ghaly, A., & Hammouda, A. (2015). Microalgae Harvesting Methods for Industrial Production of Biodiesel : Critical Review and Comparative Analysis Fundamentals of Renewable Energy and Applications. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 5(2), 1-26.
- Ahmed, B., Raghuvanshi, S.K., Sharma, N.P., Krishna, J.B.M., & Wahab, M. (2013). 1.25mev Gamma Irradiated Induced Physical and Chemical Changes in Poly Vinylidene Fluoride (PVDF) Polymer. *Progress in Nanotechnology and Nanomaterials*, 2(2), 42-46.
- Ahn, Y. J., Im, J. Y., Seo, Y. S., Hong, S. M. 2012. Enhanced Piezoelectric Properties of Electrospun Poly(vinylidene fluoride)/ Multiwalled Carbon Nanotube Composites. *Advances in Science and Technology*, 77, 82-85.
- Arahman, N., 2012. Konsep dasar pembuatan membran berpori dengan metode non-solvent induced separation- penentuan cloud point dan diagram tiga fasa. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9(2), 68-73.
- Azmi, R. A., Goh, P. S., Ismail, A. F., Lau, W. J., Ng, B. C., Othman, N. H.,Yusoff, M. S.A. (2015). Deacidification of crude palm oil using PVA-crosslinked PVDF membrane. *Journal of Food Engineering*, 166, 165-173.
- Benavides, M., Mailier, J., Hantson, A., Muñoz, G., Vargas, A., Wouwer, A. (2015). Design and test of a low-cost RGB sensor for online measurement of microalgae concentration within a photo-bioreactor. *Sensors (Switzerland)*, 15(3), 4766-4780.

- Bilad, M. R., Arafat, H. A., & Vankelecom, I. F.J. (2014). Membrane technology in microalgae cultivation and harvesting: A review. *Biotechnology Advances*, 32(7), 1283-1300.
- Bona, F., Capuzzo, A., Franchino, M., & Maffei, M.E. (2014). Semicontinuous nitrogen limitation as convenient operation strategy to maximize fatty acid production in *Neochloris oleoabundans*. *Algal Res*, 5, 1–6.
- Bottino, A., Capannelli, G., Munari, S., Turturro, A. (1988). High performance ultrafiltration membranes cast from LiCl doped solutions. *Desalination*, 68(2-3), 167-177.
- Bougaran, G., Rouxel, C., Dubois, N., Kaas, R., Grouas, S., Lukomska, E., Le Coz, J.-R., & Cadoret, J.-P. (2012). Enhancement of neutral lipid productivity in the microalga *Isochrysis affinis galbana* (T-iso) by a mutation-selection procedure. *Biotechnol. Bioeng*, 109, 2737–2745.
- Boussiba, S., Vonshak, A., Cohen, Z., Avissar, Y., Richmond, A. (1987). Lipid and biomass production by the halotolerant microalga *Nannochloropsis salina*. *Biomass*, 12, 37–47.
- Cecilia Damiani, M., Popovich, C.A., Constenla, D., & Leonardi, P.I. (2010). Lipid analysis in *Haematococcus pluvialis* to assess its potential use as a biodiesel feedstock. *Bioresour. Technol*, 101, 3801–3807.
- Chen, J., & Seko, N. (2019). Cleavage of the graft bonds in PVDF-g-St films by boiling xylene extraction and the determination of the molecular weight of the graft chains. *Polymers*, 11 (7).

- Chilvery1, A. K., Batra, A. K., & Thomas, M. (2014). Investigation on characteristics of PVDF/ZnO nanocomposite films for high-k capacitors. *Physical Science International Journal*, 4(5), 734-741.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306.
- Chisti, Y. (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*, 26, 126–131.
- Dahan, R., Arshad, A. N., Mohamed, N. A., Zawawi, E., Kamarun, D., Wahid, M. H., Sarip, M. N., Mahmood, M. R. (2015). ATR-FTIR Analysis on Polymorphism of PVDF/MgO Nanocomposite Thin Films. *Advanced Materials Research*, Vol. 1134, pp 39-43.
- Damiani, M. C., Cecilia, A. P., Diana, C., Patricia, L. (2010). Lipid analysis in *Haematococcus pluvialis* to assess its potential use as a biodiesel feedstock. *Bioresource Technology*, 101(11):3801-7.
- Dong, X., Al-Jumaily, A., & Escobar, I. (2018). Investigation of the use of a bio-derived solvent for non-solvent-induced phase separation (NIPS) fabrication of polysulfone membranes. *Membranes*, 8(23).
- Drexler, I., & Yeh, D. (2014). Membrane applications for microalgae cultivation and harvesting: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 13(4), 487-504.
- Fontananova, E., Bahattab, M. A., Aljlil, S. A., Alowairdy, M., Rinaldi, G., Vuono, D., Di Profio, G. (2015). From hydrophobic to hydrophilic polyvinylidene fluoride (PVDF) membranes by gaining new insight into material's properties. *Royal Society of Chemistry*, 1-3.

- French, C. S., Brown, J.S., & Lawrence, M.C. (1972). Four universal forms of Chlorophyll *a*. *Plant Physiol*, 49, 421–429
- Gambelli, D., Alberti F., Solfanelli F., Vairo D., & Zanolì R. (2017). Third generation algae biofuels in Italy by 2030: A scenario analysis using Bayesian networks. *Energy Policy*, 103, 165–178.
- Gedde, U. W. (1995). Polymer physics (First Edition). *Chapman & Hall*, London.
- Gitelson, A. A., Grits, Y. A., Etzion, D., Ning, Z., Richmond, A. (2000). Optimal properties of *Nannochloropsis* sp and application to remote estimation of cell mass, *Biotech. Bioeng.*, 69, 516-525.
- Granados, M. R., Acién, F. G., Gómez, C., Fernández-Sevilla J. M., Grima E. M. (2012). Evaluation of flocculants for the recovery of freshwater microalgae. *Bioresource Technol*, 118, 102-110.
- Griffin, G. J., Batten, D. F., Beer, T., & Campbell, P. K. (2009). The costs of producing biodiesel from microalgae in the Asia-Pacific region. *International Journal of Renewable Energy Development*, 2(3), 105-113.
- Guillen, G. R., Ramon, G. Z., Kavehpour, H. P., Kaner, R. B., & Hoek, E. M.V. (2013). Direct microscopic observation of membrane formation by nonsolvent induced phase separation. *Journal of Membrane Science*, 431, 212-220.
- Harith, Z. T., Yusoff, F. M., Mohamed, M. S., Mohamed Din, M. S., Ariff, A. B. (2009). Effect of different flocculants on the

flocculation performance of microalgae *Chaetoceros calcitrans* cells. *African Journal of Biotechnology*, 8(21), 5971-5978

Heasman, .M., Diemar, J., O'Connor, .W., Sushames, .T., & Foulkes .L., (2000). Development of extended shelf-life microalgae concentrate diets harvested by centrifugation for bivalve molluscs—a summary. *Aquaculture Res*, 31, 637-659.

Huang, C., Chen, X., & Liu, T. (2012). Harvesting of *Chlorella* sp. using hollow fiber ultrafiltration. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 19, 1416–1421.

Hibberd. (1981). Notes on the taxonomy and nomenclature of the algal classes *Eustigmatophyceae* and *Tribophyceae* (Synonym *Xanthophyceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 82 (2), 93–119.

Jie, J., Liu, Y., Cong, L., Zhang, B., Lu, W., Sun, L. 2020. High-performance PVDF-HFP based gel polymer electrolyte with a safe solvent in Li metal polymer battery. *Journal of Energy Chemistry*, 49, 80-88.

Jorquera, O., Kiperstok, A., Sales, E. A., Embiruçu, M., & Ghirardi, M. L. (2010). Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors. *Bioresource Technology*, 101(4), 1406-1413.

Kabinawa, I.N.K. (2006). *Spirulina : Ganggang Penggempur Aneka Penyakit*. PT. Agromedia Pustaka: Depok.

Kahrs, C., Gühlstorf, T., & Schwellenbach, J. (2019). Influences of different preparation variables on polymeric membrane

- formation via nonsolvent induced phase separation. *Journal of Applied Polymer Science*, 48852, 1-19.
- Kang, G., & Cao, Y. (2014). Application and modification of poly(vinylidene fluoride) (PVDF) membranes - A review. *Journal of Membrane Science*, 463, 145-165.
- Karkhanechi, H., Rajabzadeh, S., Di Nicol, E., Usuda, H., Rajjak, A., Matsuyama, H. 2016. Preparation and characterization of ECTFE hollow fiber membranes via thermally induced phase separation (TIPS). *Polymer*, 97(5), 515-524
- Khairuddin, N. F. M., Idris, A., & Hock, L. W. (2019). Harvesting *Nannochloropsis* sp. using PES/MWCNT/LiBr membrane with good antifouling properties. *Separation and Purification Technology*, 212, 1-11.
- Khosravi, M., Ghadimi, A., Mansourpour, Z., Ghaee, A., Sadatnia, B. (2018). Effect of different additives on separation performance of flat Sheet PVDF membrane contactor. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 52 (2), 157-167.
- Kume, A., Akitsu, T., Nasahara, K. (2018). Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems?. *Journal of Plant Research*, 131(6), 961-972.
- Kwangdinata, R., Raya, I., Zakir, M. 2010. Produksi biodiesel dari lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. melalui metode ultrasonik. *Marina Chimica Acta*, 1(2), 28-36.
- Lalia, B. S., Kochkodan, V., Hashaikeh, R., Hilal, N. (2013). A review on membrane fabrication: Structure, properties and performance relationship. *Desalination*, 326, 77-96.

- Lanceros-Méndez, S., Mano, J. F., Costa, A. M., & Schmidt, V. H. (2001). FTIR and DSC studies of mechanically deformed β -PVDF films. *Journal of Macromolecular Science – Physics*, 40B(3-4), 517-527.
- Liu, X., Duan, J., Yang, J., Huang, T., Zhou, Z. (2015). Hydrophilicity, morphology and excellent adsorption ability of poly(vinylidene fluoride) membranes induced by graphene oxide and polyvinylpyrrolidone. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 486, 172-184.
- Lim, J., Kim, J., Kim, S., Kwak, S., Lee, Y., Seo, Y. 2015. Nonisothermal crystallization behaviors of nanocomposites of poly(vinylidene fluoride) and multiwalled carbon nanotubes. *Polymer*, 62, 11-18.
- Lovinger, A. J. (1983). Ferroelectric polymers. *Science*, 220, 1115-1121.
- Lubian, L. M., Montero O., Moreno-Garrido I., Huertas I. E., Sobrino C., Parés G. (2000). *Nannochloropsis (Eustigmatophyceae)* as source of commercially valuable pigments. *Journal of Applied Phycology*, 12 (3/5), 249–255.
- Lu, F., Zhang, C., Lu, B., Yu, K., Liu, J., Lan, G. (2017). Cellobiose as a model compound for cellulose to study the interactions in cellulose/lithium chloride/N-methyl-2-pyrrolidone systems. *Cellulose*, 24(4), 1621-1629.
- Lu, X., Peng, Y., Qiu, H., Liu, X., & Ge, L. (2017). Anti-fouling membranes by manipulating surface wettability and their anti-fouling mechanism. *Desalination*, 413, 127-135.

- Martins, P., Lopes, A. C., Lanceros-Mendez, S. **2014**. Electroactive phases of poly(vinylidene fluoride): Determination, processing and applications. *Prog. Polym. Sci*, 39, 683–706.
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), 217–232.
- Matt C. 2015. Jennifer Shieh, in Guide to Research Techniques in Neuroscience (Second Edition).
- Mavukkandy, M.O., Zaib, Q., Arafat, H.A. (2018). CNT/PVP blend PVDF membrane for the removal of organic pollutants from simulated treated wastewater effluent. *J Environ Chem Eng*, 6(5), 6733-6740.
- Ma, X., Chen, T., Yang, B., Liu, J., & Chen, F. (2016). Lipid production from *Nannochloropsis*. *Marine Drugs*, 14(4).
- Ma, Y., Wang, Z., Yu, C., Yin, Y., & Zhou, G. 2014. *Bioresource Technology*, 167, 503-509.
- Me´ndez, S. L., Mano, J. F., Costa, A. M., & Schmidt, V. H. (2001). FTIR and DSC studies of mechanically deformed PVDF-films. *J. MACROMOL. SCI.—PHYSICS*, 517–527 (2001).
- Mofokeng, G., Luyt, A. S., Pavlovic, V. P., Pavlovic, V. B., Dudic, D., Djokovic, V. (2014). Ferroelectric nanocomposites of polyvinylidene fluoride/polymethyl methacrylate blend and BaTiO₃ particles: Fabrication of b-crystal polymorph rich matrix through mechanical activation of the filler. *Journal of Applied Physics*, 115 (8).

- Mohd Dahan, R., Arshad, A., Mohamed, N., Engku Zawawi, E. Z., Kamarun, D., Rusop Mahmood, M. (2015). ATR-FTIR Analysis on Polymorphism of PVDF/MgO Nanocomposite Thin Films. *Advanced Materials Research*, 1134, 39-43.
- Mujeeb, M. A., Vedamurthy, A. B., & T, Shivasharana C. (2016). Current strategies and prospects of biodiesel production: A review. *Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research*, 7(1), 120-133.
- Mukhopadhyay, P., & Gupta, R. K. (2013). Graphite, graphene, and their polimer nanocomposites. *CRC Press*, Boca Raton.
- Mulder, M. 1996. Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. Netherlands.
- Nallasamy, P., & Mohan, S. (2005). Vibrational spectroscopic characterization of form II poly(vinylidene fluoride). *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 43(11), 821-827.
- Narala, R. R., Garg S., Sharma K., & Schenk P. M. (2016). Comparison of microalgae cultivation in photobioreactor, open raceway pond, and a two-stage hybrid system. *Frontiers in Energy Research*, 4(29), 1–10.
- Nurra, C., Clavero, E., Sa Ibadó, J., Torras, C. (2014). Vibrating Membrane Filtration as Improved Technology for Microalgae Dewatering. *Bioresource Technology*, 157, 247-253.
- Octhreeani, A., & Soedarsono, P. (2014). Pengaruh perbedaan jenis pupuk terhadap pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. dilikat dari kepadatan sel dan klorofil α pada skala semi massal. *Management of Aquatic Resource*, 3(2), 102-108.

- Rao, M., Hwang, T., Han, J., & Diallo, M. (2015). A one-pot method for the preparation of mixed matrix polyvinylidene fluoride membranes with in situ synthesized and PEGylated polyethyleneimine particles. *Journal of Membrane Science*, 474, 277-287.
- Rashid, A. H., Irfan Hatem, M. D., Ahmad, M. S., & Dzarfan Othman, M. H. (2014). A morphological study of poly (Vinylidene fluoride) PVDF membranes: In perspective of membrane pervaporation process. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 14(2), 38-47.
- Ribeiro, C., Panadero, J. A., Sencadas, V., Lanceros-Méndez, S., Tamaño, M. N., ... Gómez Ribelles, J. L. (2012). Fibronectin adsorption and cell response on electroactive poly(vinylidene fluoride) films. *Biomedical Materials*, 7(3).
- Rios, S.D., Clavero, E., Salvadó, J., Farriol, X., & Torras, C. (2010). Dynamic Microfiltration in Microalgae Harvesting for Biodiesel Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 2455-2460.
- Roy, R. E., Bhuvanawari, S., Vijayalakshmi, K. P., Dimple, R., ... Rajeev, R. S. N. (2019). Energy-induced polymorphic changes in poly(vinylidene fluoride): How ultrasonication results in polymer with predominantly γ phase. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 57(1), 40-50.
- Sabira, K., Saheeda, P., Divyasree, M. C., & Jayalekshmi, S. (2017). Impressive nonlinear optical response exhibited by Poly(vinylidene fluoride) (PVDF)/reduced graphene oxide (RGO) nanocomposite films. *Optics and Laser Technology*, 97, 77-83.
- Salem, M. A., Wang, Z., Than, L., Sreenivasulu G., & Zeng X. (2015). Poly (vinylidene fluoride)/Poly (acrylonitrile)–

based Superior Hydrophobic Piezoelectric Solid Derived by Aligned Carbon Nanotube in Electrospinning: Fabrication, the Phase Conversion and Surface Energy. *The Royal Society of Chemistry*, 5, 76383–76391.

Sari, I.P. dan Manan, A. (2012). Pola Pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* pada Kultur Skala Laboratorium, Intermediet, dan Masal. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 4 (2), 123-127.

Scott, S.A., Davey, M. P., Dennis, J. S., Horst, I., Howe, C.J., Lea-Smith, D. J., & Smith, A. G. (2010). Biodiesel from algae: Challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology*, 21(3), 277-286.

Silverstein, R. M, 1986, “Penyidikan Spektrometrik Senyawa Organik. Edisi ke-4”. Terjemahan A. J. Hartomo dan Anny Victor Purba. *Erlangga*, Jakarta.

Skogg, D.A., & West, D.M. 1971. *Principles of instrumental analysis*. Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York.

Subasi, Y., & Cicek, B. (2017). Recent advances in hydrophilic modification of PVDF ultrafiltration membranes – a review: part I. *Membrane Technology*, 7-12.

Subagyo, R., & Muliadi, D. (2017). Kaji eksperimental hidrofobitas daun dengan variasi volume dan bahan droplet. *sjme KINEMATIKA*, 2(2), 113-125

Sukitpaneelit, P., Chung, T.-S. (2009). Molecular elucidation of morphology and mechanical properties of PVDF hollow fiber membranes from aspects of phase

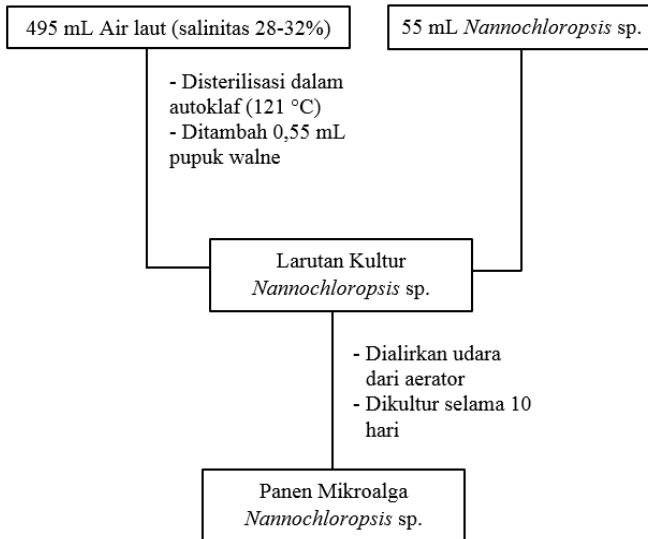
- inversion, crystallization and rheology. *Journal of Membrane Science*, 340 (1-2), 192-205.
- Sunarti, A. R., & Ahmed, S .F .A. (2016). Study the effect of LiCl as additive on PVDF membrane for CO₂/N₂ separation. *International Knowledge Press*, 6(1), 31-39.
- Tao, M., Liu, F., & Xue, L. (2012). Hydrophilic poly(vinylidene fluoride) (PVDF) membrane by in situ polymerisation of 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) and micro-phase separation. *Journal of Materials Chemistry*, 22(18), 9131-9137.
- Tavajohi, N., Cui, Z., Hoon, J., Won, D., Sanguineti, A., Arcella, V., Moo, Y. & Drioli, E. 2014. PVDF hollow fiber membranes prepared from green diluent via thermally induced phase separation : Effect of PVDF molecular weight. *Journal of Membrane Science* 471: 237-246.
- Tomazewska, M. 1996. Preparation and properties of flat sheet membranes from poly(Vinylidene Fluoride) for membrane distillation. *Desalination*, 104(1-2), 1-11.
- Ucar, N., Kizildag, N., Onen, A., Karacan, I., & Eren, O. (2015). Polyacrylonitrile-polyaniline composite nanofiber webs: Effects of solvents, redoping process and dispersion technique. *Fibers and Polymers*, 16(10), 2223-2236.
- Vanitha, A., Narayan, M.S., Murthy, K.N.C., & Ravishankar, G.A. (2007). Comparative study of lipid composition of two halotolerant alga, *Dunaliella bardawil* and *Dunaliella salina*. *Int. J. Food Sci. Nutr*, 58, 373–382.

- Vazquez-Duhalt, R., & Arredondo-Vega, B.Q. 1991. Haloadaptation of green alga *Botryococcus braunii* (Race A). *Phytochemistry*, 30 (9), 2919-2925.
- Xu, H. P., Lang, W. Z., Zhang, X., & Guo, Y. J. (2015). Preparation and characterizations of charged PVDF membranes via composite thermally induced phase separation (C-TIPS) method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 1005-1013.
- Xu, L. C., & Siedlecki, C. A. (2011). Atomic force microscopy. *Comprehensive Biomaterials*, 3, 23-35.
- Yu, H.-T., Tian, F.-L., Wang, H.-Y., Hu, Y.-H., & Sheng, W.-L. (2014). An application of *Dunaliella salina* algae: Biodiesel. *Adv. Mater. Res*, 953-954, 281-283.
- Zahid, M., Rashid, A., Akram, S., Rehan, Z., & Razzaq, W. 2018. A Comprehensive Review on Polymeric Nano-Composite Membranes for Water Treatment. *Journal of Membrane Science & Technology*, 8, 1-20.
- Zeng, G., Duan, Y., Besenbacher, F., & Dong, M. (2012). Nanomechanics of Amyloid Materials Studied by Atomic Force Microscopy. *Atomic Force Microscopy Investigations into Biology - From Cell to Protein*, 153-173.
- Zhang, X., Hu Q., Sommerfeld, M., Puruhito, E., & Chen, Y. (2010) Harvesting algal biomass for biofuels using ultrafiltration membranes. *Bioresour. Technol.*, 101 297304.
- Zhao, T., & Jiang, L. (2018). Contact angle measurement of natural materials. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 161, 324-330

- Zhou, Y.J., Buijs N.A., Siewers, V., & Nielsen, J. (2014). Fatty acid-derived biofuels and chemicals production in *saccharomyces cerevisiae*, *Front. Bioeng. Biotechnol*, 2, 1–6.
- Zhu, L., Nugroho, Y. K., Shakeel, S. R., Li, Z., Martinkauppi, B., & Hiltunen, E. (2017). Using microalgae to produce liquid transportation biodiesel: What is next?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 391-400.

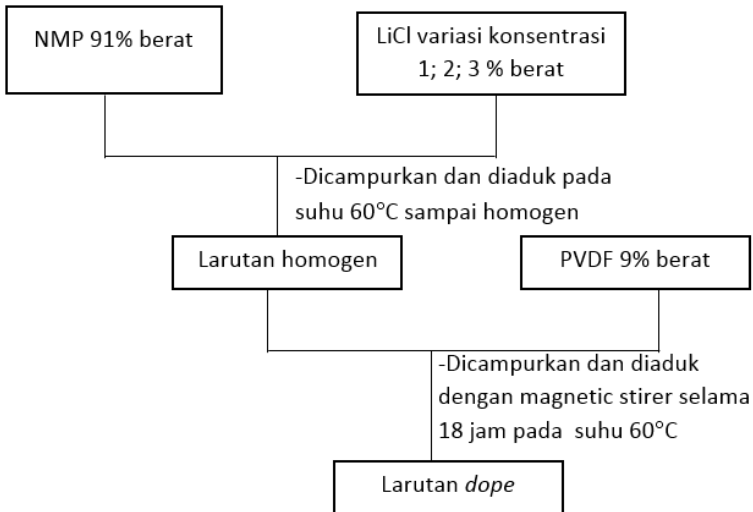
LAMPIRAN A SKEMA KERJA

A.1 Budidaya Kultur Mikroalga *Nannochloropsis* sp.



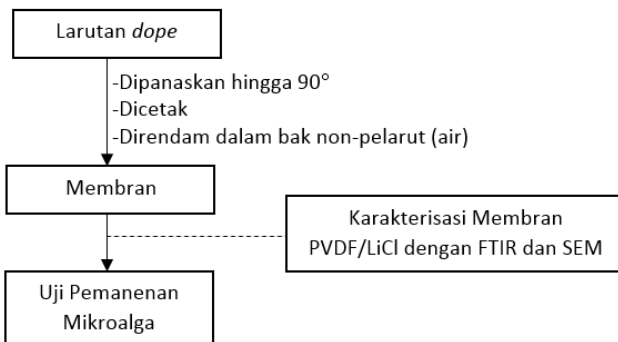
Gambar A.1 Skema kerja Budidaya Kultur Mikroalga *Nannochloropsis* sp.

A.2 Pembuatan larutan polimer PVDF/LiCl



Gambar A.2 Skema kerja pembuatan larutan polimer PVDF/LiCl

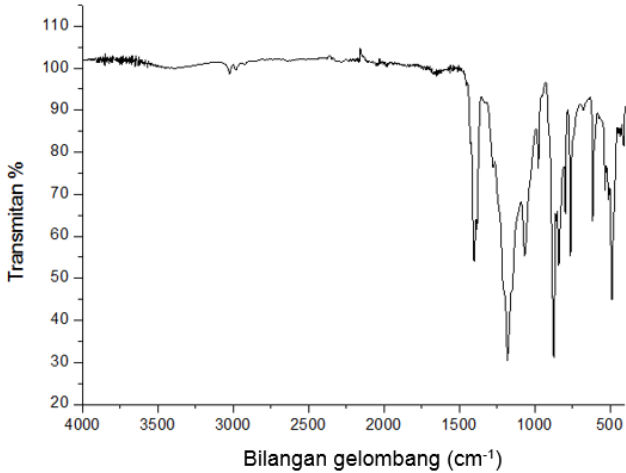
A.3 Preparasi TIPS membran PVDF/LiCl



Gambar A.3 Skema kerja preparasi membran PVDF/LiCl

LAMPIRAN B.
DATA DAN GRAFIK HASIL ANALISIS FTIR

B.1 Spektra IR Membran PVDF Murni

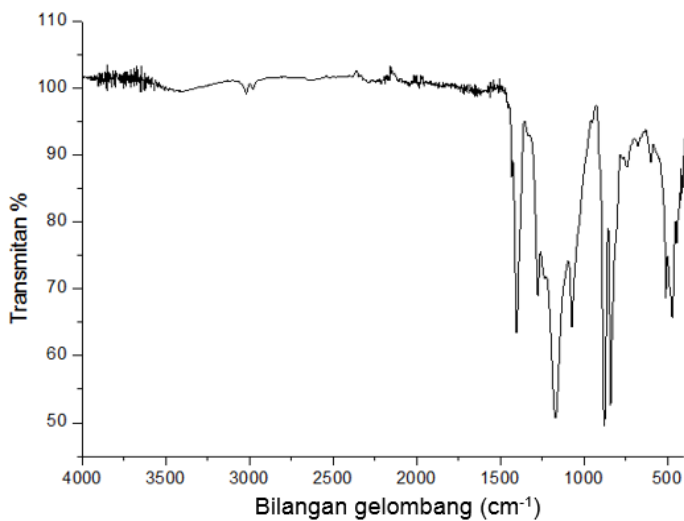


Gambar B.1 Spektra IR membran PVDF murni

Tabel B.1 Spektra IR membran PVDF murni

| Puncak | Transmitan | Puncak | Transmitan |
|--------|------------|---------|------------|
| 406.74 | 81.339 | 1066.39 | 55.456 |
| 485.94 | 44.961 | 1179.97 | 30.465 |
| 509.62 | 68.578 | 1400.79 | 54.079 |
| 531.73 | 70.945 | 1654.30 | 97.925 |
| 613.30 | 63.534 | 3024.93 | 98.685 |
| 761.67 | 55.186 | | |
| 795.68 | 66.296 | | |
| 839.38 | 53.006 | | |
| 872.45 | 30.995 | | |
| 974.66 | 76.140 | | |

B.2 Spektra IR Membran PVDF/LiCl 1%

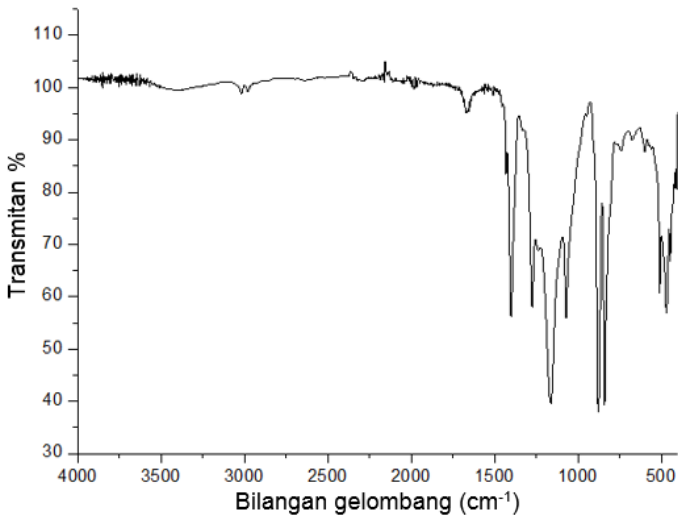


Gambar B.2 Spektra IR membran PVDF/LiCl 1%

Tabel B.2 Spektra IR membran PVDF/LiCl 1%

| Puncak | Transmitan | Puncak | Transmitan |
|---------|------------|---------|------------|
| 415.02 | 84.133 | 1401.20 | 63.411 |
| 443.98 | 76.881 | 1430.80 | 86.664 |
| 470.45 | 65.612 | | |
| 508.93 | 68.633 | | |
| 598.76 | 88.986 | | |
| 839.00 | 52.542 | | |
| 876.39 | 49.500 | | |
| 1071.34 | 64.264 | | |
| 1169.55 | 50.683 | | |
| 1274.24 | 68.943 | | |

B.3 Spektra IR Membran PVDF/LiCl 2%

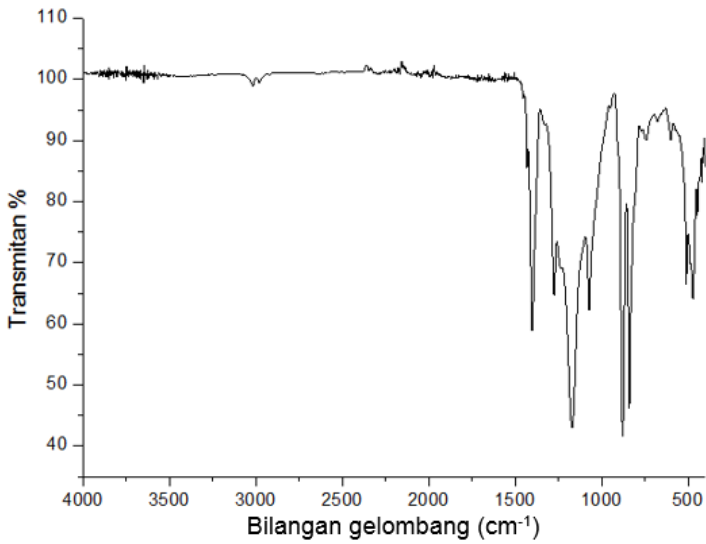


Gambar B.3 Spektra IR membrane PVDF/LiCl 2%

Tabel B.3 Spektra IR Membran PVDF/LiCl 2%

| Puncak | Transmitan | Puncak | Transmitan |
|---------|------------|---------|------------|
| 408.00 | 80.522 | 1274.45 | 57.885 |
| 445.62 | 66.792 | 1400.52 | 56.176 |
| 467.90 | 56.848 | 1430.81 | 83.373 |
| 508.84 | 60.533 | 1670.59 | 95.026 |
| 598.63 | 87.652 | 3018.58 | 98.703 |
| 839.23 | 39.226 | | |
| 877.61 | 37.960 | | |
| 1070.89 | 55.798 | | |
| 1162.26 | 39.598 | | |

B.4 Spektra IR Membran PVDF/LiCl 3%



Gambar B.4 Spektra IR Membran PVDF/LiCl 3%

Tabel B.4 Spektra IR Membran PVDF/LiCl 3%

| Puncak | Transmitan | Puncak | Transmitan |
|---------|------------|---------|------------|
| 418.45 | 83.067 | 1274.41 | 64.654 |
| 444.88 | 77.782 | 1400.92 | 58.848 |
| 470.73 | 64.085 | 1430.78 | 85.465 |
| 508.95 | 66.374 | | |
| 599.71 | 90.056 | | |
| 741.09 | 90.013 | | |
| 839.23 | 46.075 | | |
| 876.96 | 41.515 | | |
| 1071.69 | 62.127 | | |
| 1170.14 | 43.049 | | |

LAMPIRAN C.
PERHITUNGAN UJI PEMANENAN MIKROALGA

1. Laju permeasi air

Parameter Tetap :

$$A = 0,0050 \text{ m}^2$$

$$t = 30 \text{ menit}$$

Laju permeasi air dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{V}{A t} \quad (\text{E.1})$$

- Permeasi air pada Membran PVDF murni

$$P = \frac{1290 \times 10^{-3} \text{ L}}{0,0050 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ h}} \\ = 516 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

- Permeasi air pada membran PVDF/LiCl 1%

$$P = \frac{1365 \times 10^{-3} \text{ L}}{0,0050 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ h}} \\ = 546 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

- Permeasi air pada membran PVDF/LiCl 2%

$$P = \frac{1650 \times 10^{-3} \text{ L}}{0,0050 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ h}} \\ = 660 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

- Permeasi air pada membran PVDF/LiCl 3%

$$P = \frac{1534 \times 10^{-3} \text{ L}}{0,0050 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ h}} \\ = 614 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

2. Laju fluks pemanenan mikroalga

Parameter Tetap :

TMP= 1 bar

A = 0,0050 m²

t = 40 menit

Laju fluks dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$J = \frac{V}{A t p} \quad (\text{E.2})$$

- Fluks pemanenan mikroalga pada membran PVDF murni

$$J_1 = \frac{379 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 113,7 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_2 = \frac{473 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 141,9 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_3 = \frac{442 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 132,6 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$\text{Rata-rata fluks pemanenan mikroalga } J = \frac{(113,7 + 141,9 + 132,6)}{3}$$

$$= 129,4 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

- Fluks pemanenan mikroalga pada membran PVDF/LiCl 1%

$$J_1 = \frac{380 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 114 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_2 = \frac{405 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 121,5 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_3 = \frac{410 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 123 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

Rata-rata fluks pemanenan mikroalga $J = \frac{(114 + 121,5 + 123)}{3}$

$$= 119,5 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

- Fluks pemanenan mikroalga pada membran PVDF/LiCl 2%

$$J_1 = \frac{457 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 137,1 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_2 = \frac{497 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 149,1 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_3 = \frac{546 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 163,8 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

Rata-rata fluks pemanenan mikroalga $J = \frac{(137,1 + 149,1 + 163,8)}{3}$

$$= 150 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

- Fluks pemanenan mikroalga pada membran PVDF/LiCl 3%

$$J_1 = \frac{424 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 127,2 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_2 = \frac{455 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 136,5 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

$$J_3 = \frac{525 \times 10^{-3} L}{0,0050 m^2 \cdot \frac{2}{3} h \cdot 1 bar}$$

$$= 157,5 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

Rata-rata fluks pemanenan mikroalga $J = \frac{(127,2 + 136,5 + 157,5)}{3}$

$$= 140,4 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}$$

3. %Rejeksi Mikroalga

% rejeksi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R\% = \frac{(C_f - C_p) \times 100}{C_f} \quad (E.3)$$

- %rejeksi mikroalga pada membran PVDF murni

$$R_1\% = \frac{(596,42 ppm - 0 ppm) \times 100}{596,42 ppm}$$

$$= 100 \%$$

$$R_2\% = \frac{(557,25 ppm - 72,25 ppm) \times 100}{557,25 ppm}$$

$$= 87,03 \%$$

$$R_3\% = \frac{(557,25 ppm - 43,92 ppm) \times 100}{557,25 ppm}$$

$$= 92,12 \%$$

Rata-rata %Rejeksi mikroalga $R\% = \frac{(100 + 87,03 + 92,12)}{3}$

$$= 93,05\%$$

- **%rejeksi mikroalga pada membran PVDF/LiCl 1%**

$$R_1\% = \frac{(594,75 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{594,75 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

$$R_2\% = \frac{(557,25 \text{ ppm} - 33,92 \text{ ppm}) \times 100}{557,25 \text{ ppm}}$$

$$= 93,91 \%$$

$$R_3\% = \frac{(557,25 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{557,25 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

Rata-rata % Rejeksi mikroalga adalah $R\% = \frac{(100 + 93,91 + 100)}{3}$

$$= 97,97 \%$$

- **%rejeksi mikroalga pada membran PVDF/LiCl 2%**

$$R_1\% = \frac{(563,92 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{563,92 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

$$R_2\% = \frac{(557,25 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{557,25 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

$$R_3\% = \frac{(557,25 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{557,25 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

Rata-rata % Rejeksi mikroalga adalah $R\% = \frac{(100 + 100 + 100)}{3}$

$$= 100\%$$

- **%rejeksi mikroalga pada membran PVDF/LiCl 3%**

$$R_1\% = \frac{(619,75 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{619,75 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

$$R_2\% = \frac{(557,25 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{557,25 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

$$R_3\% = \frac{(557,25 \text{ ppm} - 0 \text{ ppm}) \times 100}{557,25 \text{ ppm}}$$

$$= 100 \%$$

$$\text{Rata-rata \%Rejeksi mikroalga adalah } R\% = \frac{(100 + 100 + 100)}{3}$$

$$= 100\%$$

Tabel C.1 Absorbansi mikroalga pada feed dan filtrat pada pengukuran %Rejeksi

| Mikroalga | PVDF murni | PVDF /LiCl-1 | PVDF /LiCl-2 | PVDF /LiCl-3 |
|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Abs feed 1 | 0,693 | 0,691 | 0,654 | 0,721 |
| Abs filtrat 1 | - | - | - | - |
| Abs feed 2 | 0,646 | 0,646 | 0,646 | 0,646 |
| Abs filtrat 2 | 0,064 | 0,018 | - | - |
| Abs feed 3 | 0,646 | 0,646 | 0,646 | 0,646 |
| Abs filtrat 3 | 0,03 | - | - | - |

Absorbansi hasil analisa UV-Vis kemudian dikonversi kedalam konsentrasi (mg/L) dengan cara memplotkan nilai abs kedalam persamaan kurva kalibrasi yang sebelumnya dibuat pada Lampiran D.1 yang kemudian didapat nilai konsentrasinya untuk menghitung %Rejeksi.

LAMPIRAN D.
PERHITUNGAN KONSENTRASI MIKROALGA
SETELAH PEMANENAN

1. Kurva Kalibrasi

- Perhitungan dengan metode dry weight



Gambar D.1 Biomassa kering mikroalga

Tabel D.1 Hasil perhitungan metode dryweight

| | Biomassa 1 | Biomassa 2 |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Volume (L) | 0,01 | 0,01 |
| Massa kertas saring (g) | 1,2832 | 1,2331 |
| Massa akhir (g) | 1,3632 | 1,3169 |
| Massa mikroalga (g) | 0,08 | 0,0838 |
| Biomassa Mikroalga (g/L) | 8 | 8,38 |
| Biomassa Mikroalga (mg/L) | 8000 | 8380 |
| Rata-rata biomassa (mg/L) | 8190 | |

- **Perhitungan pengenceran**

Parameter Tetap :

$$M_1 = 8190 \text{ mg/L}$$

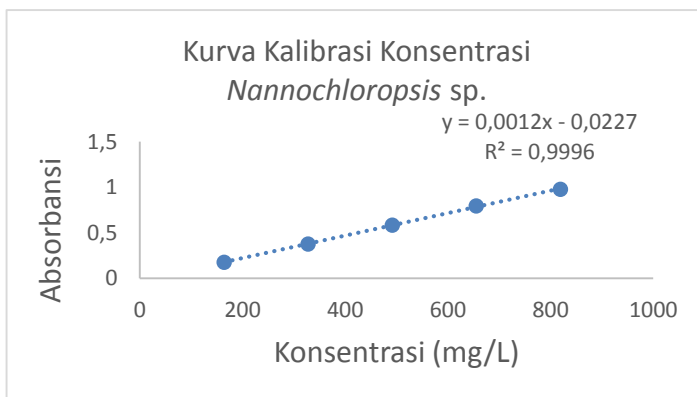
$$V_2 = 0,05 \text{ L}$$

Pengenceran dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (\text{E.4})$$

Tabel D.2 Hasil perhitungan pengenceran mikroalga

| Titik | M1 (mg/L) | M2 (mg/L) | V1 (L) | V2 (L) | Abs |
|-------|--------------|--------------|-----------|-----------|-------|
| 1 | 8190 | 163,8 | 0,001 | 0,05 | 0,177 |
| 2 | 8190 | 327,6 | 0,002 | 0,05 | 0,378 |
| 3 | 8190 | 491,4 | 0,003 | 0,05 | 0,582 |
| 4 | 8190 | 655,2 | 0,004 | 0,05 | 0,793 |
| 5 | 8190 | 819 | 0,005 | 0,05 | 0,976 |



Gambar D.2 Grafik kurva kalibrasi Absorbansi vs Konsentrasi (mg/L)

2. Perhitungan Konsentrasi Retentat

- Konsentrasi retentat pada proses pemanenan setiap 5 menit

Tabel D.3 Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF murni

| Hasil Pemekatan Mikroalga oleh Membran PVDF murni | | | |
|--|---------------------------|------------|---------------------------|
| t (min) | Faktor Pengenceran | Abs | Konsentrasi (mg/L) |
| 0 | 0 | 0,693 | 596,417 |
| 5 | 0 | 0,784 | 672,250 |
| 10 | 0 | 0,864 | 738,917 |
| 15 | 2,5x | 0,401 | 882,708 |
| 20 | 2,5x | 0,455 | 995,208 |
| 25 | 2,5x | 0,539 | 1170,208 |
| 30 | 2,2x | 0,622 | 1343,125 |
| 35 | 6,7x | 0,266 | 1603,889 |
| 40 | 10x | 0,235 | 2147,500 |

Tabel D.4 Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF/LiCl 1%

| Hasil Pemekatan Mikroalga oleh Membran PVDF/NMP/LiCl-1 | | | |
|---|---------------------------|------------|---------------------------|
| t (min) | Faktor Pengenceran | Abs | Konsentrasi (mg/L) |
| 0 | 0 | 0,691 | 594,750 |
| 5 | 0 | 0,767 | 658,083 |
| 10 | 2,5x | 0,342 | 303,917 |
| 15 | 2,5x | 0,393 | 866,042 |
| 20 | 2,5x | 0,445 | 974,375 |
| 25 | 2,5x | 0,513 | 1116,042 |
| 30 | 2,5x | 0,621 | 1341,042 |
| 35 | 5x | 0,361 | 2131,667 |
| 40 | 10x | 0,247 | 2247,500 |

Tabel D.5 Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF/LiCl 2%

| Hasil Pemekatan Mikroalga oleh Membran PVDF/NMP/LiCl-2 | | | |
|--|--------------------|-------|--------------------|
| t (min) | Faktor Pengenceran | Abs | Konsentrasi (mg/L) |
| 0 | 0 | 0,654 | 563,917 |
| 5 | 0 | 0,818 | 700,583 |
| 10 | 2,5x | 0,369 | 326,417 |
| 15 | 2,5x | 0,457 | 999,375 |
| 20 | 2,5x | 0,525 | 1141,042 |
| 25 | 2,5x | 0,634 | 1368,125 |
| 30 | 5x | 0,383 | 845,208 |
| 35 | 5x | 0,589 | 3398,333 |
| 40 | 10x | 0,589 | 5097,500 |

Tabel D.6 Hasil konsentrasi retentat mikroalga pada membran PVDF/LiCl 3%

| Hasil Pemekatan Mikroalga oleh Membran PVDF/NMP/LiCl-3 | | | |
|--|--------------------|-------|--------------------|
| t (min) | Faktor Pengenceran | Abs | Konsentrasi (mg/L) |
| 0 | 0 | 0,721 | 619,750 |
| 5 | 0 | 0,787 | 674,750 |
| 10 | 0 | 0,885 | 756,417 |
| 15 | 2,5x | 0,411 | 903,542 |
| 20 | 2,5x | 0,507 | 1103,542 |
| 25 | 2,5x | 0,598 | 1293,125 |
| 30 | 5x | 0,369 | 816,042 |
| 35 | 5x | 0,524 | 3037,222 |
| 40 | 10x | 0,514 | 4472,500 |

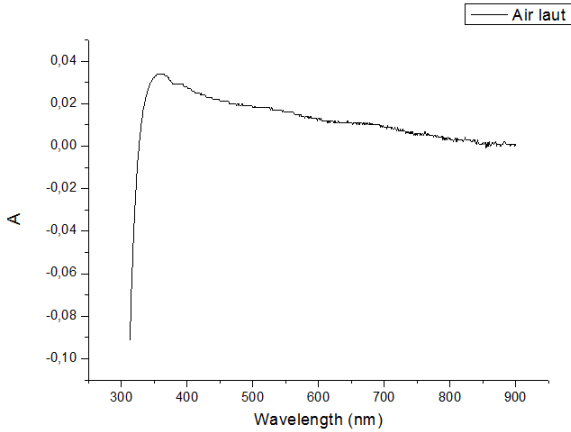
- Konsentrasi akhir retentat pada percobaan *up-scale*

Absorbansi = 0,825

Faktor pengenceran 40x

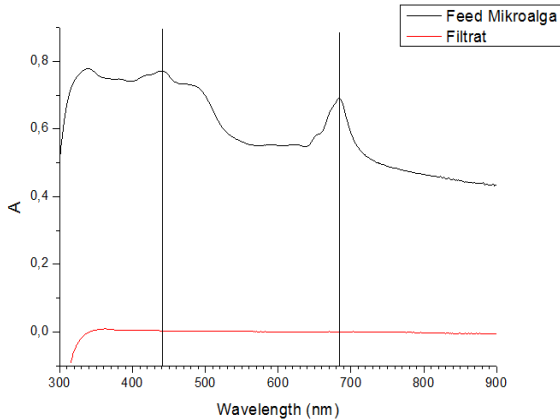
Konsentrasi = 28290 mg/L

LAMPIRAN E. DATA DAN GRAFIK HASIL ANALISIS UV –Vis

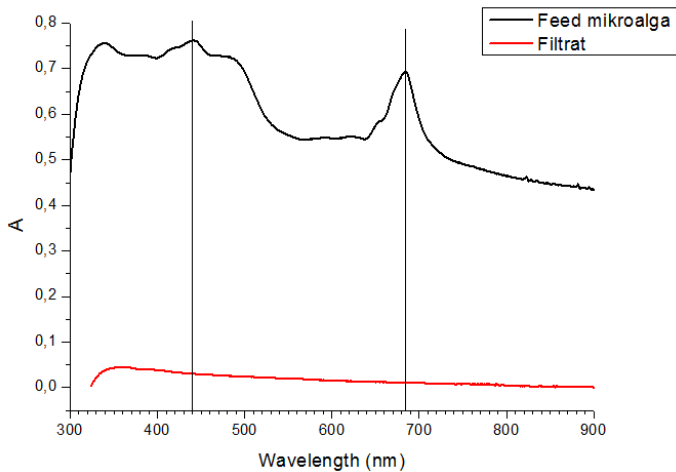


Gambar E.1 Spektra UV-Vis Air laut

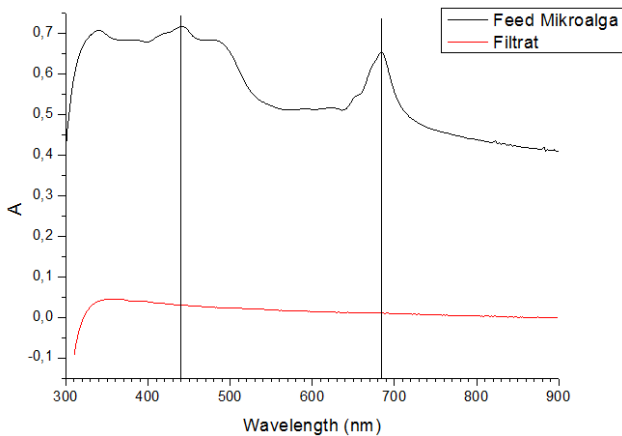
1. Proses pemanenan pertama



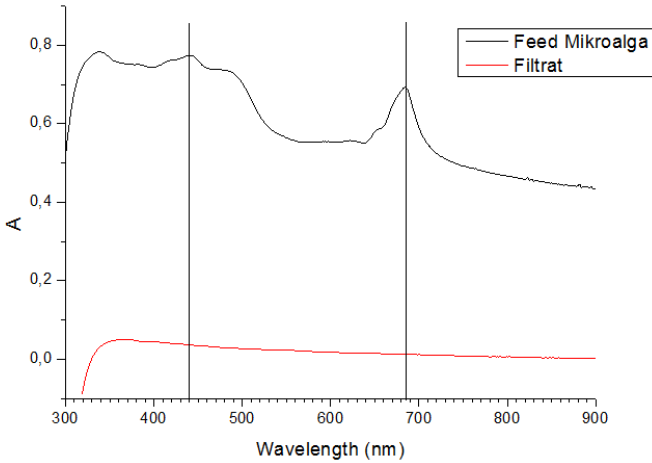
Gambar E.2 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF murni



Gambar E.3 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF/LiCl 1%

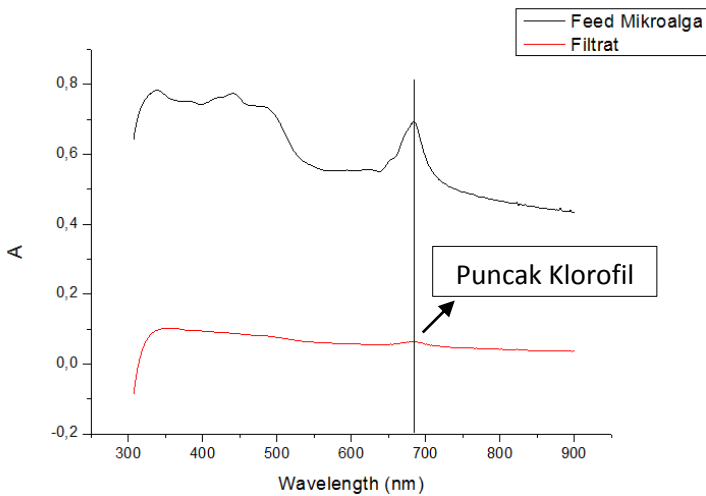


Gambar E.4 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan membran PVDF/LiCl 2%

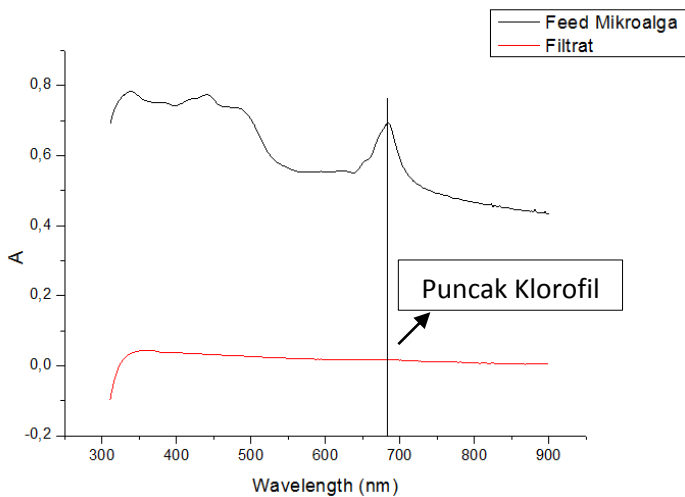


Gambar E.5 Spektra UV-Vis *Feed* dan *Filtrat* hasil penyaringan membran PVDF/LiCl 3%

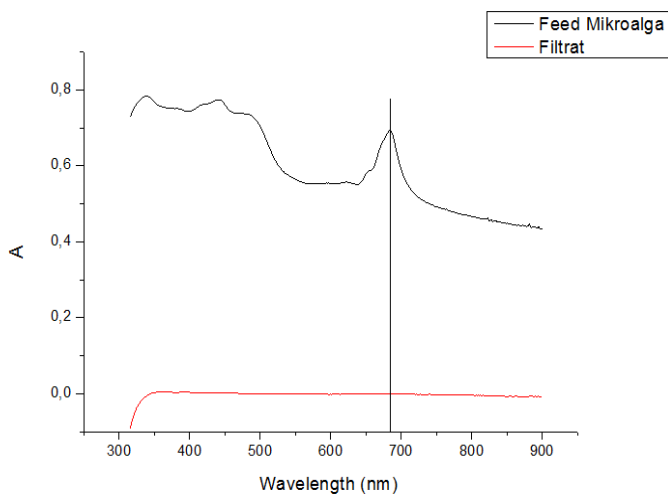
2. Proses pemanenan kedua



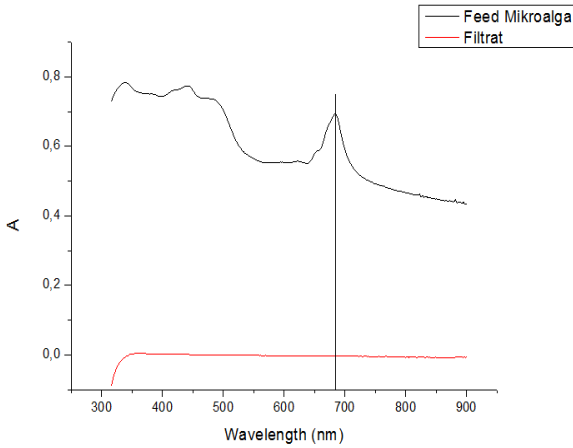
Gambar E.6 Spektra UV-Vis *Feed* dan *Filtrat* hasil penyaringan duplo membran PVDF murni



Gambar E.7 Spektra UV-Vis *Feed* dan *Filtrat* hasil penyaringan duplo membran PVDF/LiCl 1%

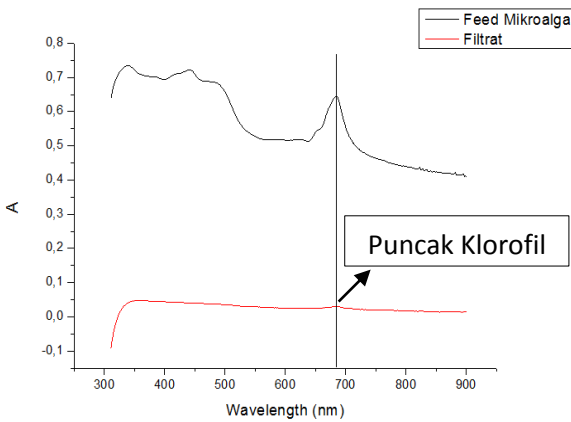


Gambar E.8 Spektra UV-Vis *Feed* dan *Filtrat* hasil penyaringan duplo membran PVDF/LiCl 2%

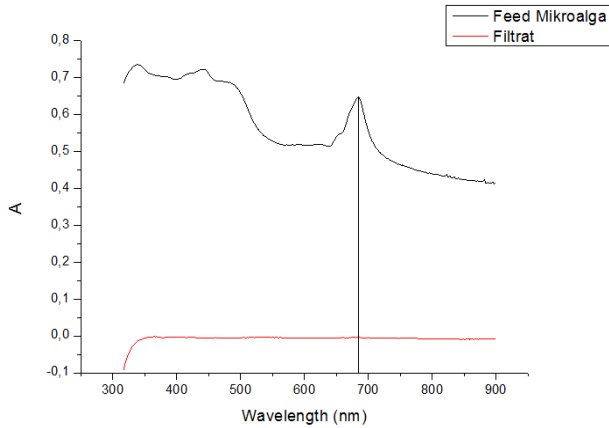


Gambar E.9 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan duplo membran PVDF/LiCl 3%

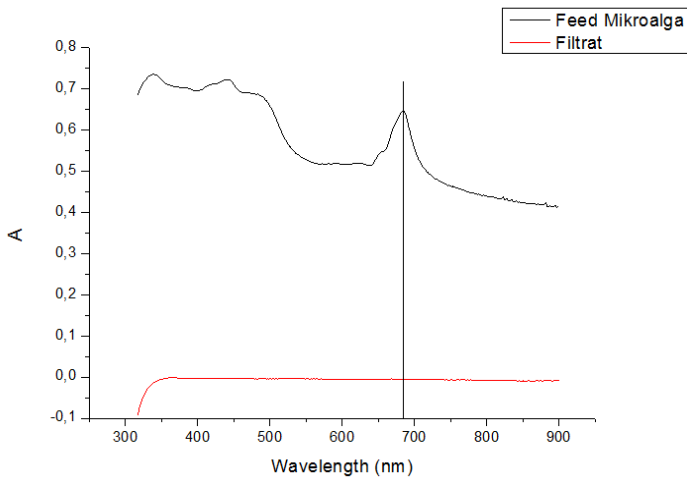
3. Proses pemanenan ketiga



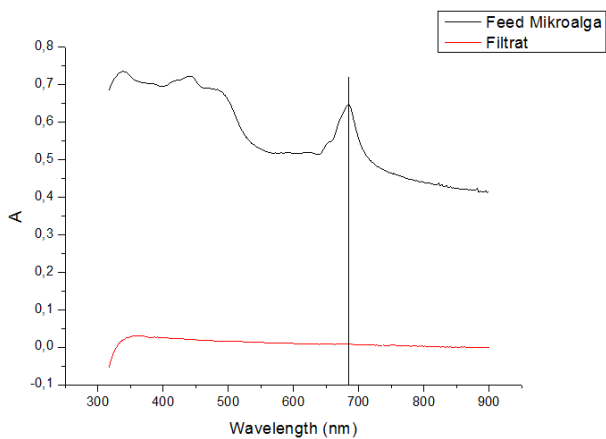
Gambar E.10 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF murni



Gambar E.11 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF/LiCl 1%



Gambar E.12 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF/LiCl 2%



Gambar E.13 Spektra UV-Vis *Feed* dan Filtrat hasil penyaringan triplo membran PVDF/LiCl 3%

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Widi Citra Lestari yang dilahirkan di Tangerang pada tanggal 24 Oktober 1998 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di SD Binong Permai, SMP Nusantara 1 Tangerang, dan SMAN 8 Tangerang. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Kimia Fakultas Sains Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNMPTN pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 0121164000016. Penulis mengambil bidang minat Kimia Material Energi di

bawah bimbingan ibu Nurul Widiastuti Ph.D. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah ikut dalam tim riset internasional ITS, pelatihan dan kepanitian. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua tim spektronics Divisi Teknis. Penulis juga pernah melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Galenium Pharmasia Laboratories, Bogor. Dalam melakukan tugas akhir, penulis melakukan penelitian di Laboratorium Kimia Material dan Energi, ITS, untuk modifikasi dan uji kinerja membran pada proses pemanenan mikroalga *Nannochloropsis* sp.

Penulis dapat dihubungi melalui :
Email : widicitralestari@gmail.com