

**SKRIPSI**

**ANALISIS KARAKTERISTIK MEMBRAN  
PENGOLAHAN AIR DARI BAHAN  
*POLYETHERSULFONE* DENGAN PENAMBAHAN  
PERAK NITRAT**



**Oleh:**

**IQBAL NOVA PRASATYA**

**03051182025021**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**SKRIPSI**

**ANALISIS KARAKTERISTIK MEMBRAN  
PENGOLAHAN AIR DARI BAHAN  
*POLYETHERSULFONE* DENGAN PENAMBAHAN  
PERAK NITRAT**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH:**

**IQBAL NOVA PRASATYA**

**03051182025021**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KARAKTERISTIK MEMBRAN PENGOLAHAN  
AIR DARI BAHAN *POLYETHERSULFONE* DENGAN  
PENAMBAHAN PERAK NITRAT**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**IQBAL NOVA PRASATYA**

**03051182025021**

Indralaya, 20 Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh

**Pembimbing Skripsi**

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.**

**NIP. 197112251997021001**



**Agang Mataram, S.T., M.T., Ph.D.**

**NIP. 197901052003121002**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.  
Diterima Tanggal  
Paraf

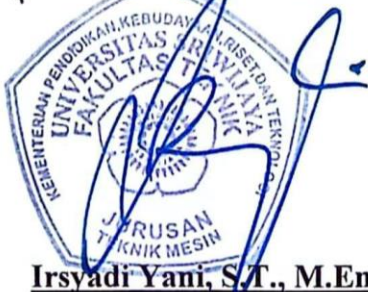
: 073/TM/AK/2024  
: 22-03-2024  
:

SKRIPSI

NAMA : IQBAL NOVA PRASATYA  
NIM : 03051182025021  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS KARAKTERISTIK MEMBRAN  
PENGOLAHAN AIR DARI BAHAN  
*POLYETHERSULFONE* DENGAN  
PENAMBAHAN PERAK NITRAT  
DIBUAT TANGGAL : 29 APRIL 2023  
SELESAI TANGGAL : 26 JANUARI 2024

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.**  
NIP. 197112251997021001

Indralaya, 19 Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh

**Pembimbing Skripsi**

**Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197901052003121002





## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Karakteristik Membran Pengolahan Air Dari Bahan *Polyethersulfone* Dengan Penambahan Perak Nitrat” telah dipertahankan di hadapan Tim penguji karya tulis ilmiah Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 29 Februari 2024.

Indralaya, 7 Maret 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi:

### Ketua Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

  
(.....)

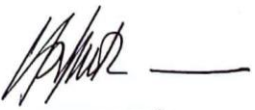
### Sekretaris Penguji:

2. Qomarul Hadi, S.T., M.T.  
NIP. 196902131995031001

  
(.....)

### Penguji:

3. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.  
NIP. 196004071990031003

  
(.....)

Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.

NIP. 197112251997021001

Dosen Pembimbing

 14/24  
13  
Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197901052003121002



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul “Analisis Karakteristik Membran Pengolahan Air Dari Bahan *Polyethersulfone* Dengan Penambahan Perak Nitrat”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis tidak berkeja sendirian, akan tetapi dapat bantuan serta dukungan dari orang-orang secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini kepada:

1. Mama dan Papa yang telah memberikan doa, kasih sayang, dorongan dan semangat baik secara moril maupun materil demi keberhasilan penulis.
2. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak sekali memberikan arahan, saran serta nasihat dalam menyelesaikan Skripsi ini.
3. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Gunawan, S.T., M.T. selaku Pembina Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh tenaga pendidik dan kependidikan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu dan pelajaran yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Sahabat penulis di lingkungan rumah, sekolah, dan perkuliahan terkhusus rekan-rekan Teknik Mesin 2020 yang selalu menemani penulis dan memberikan semangat untuk menyelesaikan masa perkuliahan.

8. Seluruh pihak yang telah mendukung penulis dalam pembuatan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak sekali terdapat kekurangan dan keterbatasan wawasan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini akan sangat membantu. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Indralaya, 23 Februari 2024



Iqbal Nova Prasatya  
NIM. 03051182025021

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqbal Nova Prasatya

NIM : 03051182025021

Judul : Analisis Karakteristik Membran Pengolahan Air Dari Bahan  
*Polyethersulfone* Dengan Penambahan Perak Nitrat

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 19 Maret 2024



Iqbal Nova Prasatya

NIM. 03051182025021



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqbal Nova Prasatya

NIM : 03051182025021

Judul : Analisis Karakteristik Membran Pengolahan Air Dari Bahan *Polyethersulfone* Dengan Penambahan Perak Nitrat

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, 19 Maret 2024



Iqbal Nova Prasatya  
NIM. 03051182025021





## RINGKASAN

ANALISIS KARAKTERISTIK MEMBRAN PENGOLAHAN AIR DARI BAHAN *POLYETHERSULFONE* DENGAN PENAMBAHAN PERAK NITRAT

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 4 Maret 2024

Iqbal Nova Prasatya, dibimbing oleh Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.

xxxiv + 54 halaman, 9 tabel, 18 gambar

### RINGKASAN

Ketersediaan akan pasokan air bersih yang kian menjadi sumber permasalahan bagi masyarakat dunia mendorong semua pihak untuk berkolaborasi dalam mencari solusi. Air merupakan kebutuhan esensial yang memiliki peranan krusial dalam semua aspek kehidupan manusia, menjadikan ketersediaan air bersih sebagai hak asasi masyarakat yang harus dipenuhi. Perkembangan permintaan air bersih seiring waktu menantang dunia teknologi untuk terus melakukan inovasi dalam teknologi dan material yang digunakan pada proses penyaringan air agar memiliki biaya yang lebih ekonomis namun memiliki tingkat efisiensi dan efektivitas yang lebih baik dari sebelumnya. Membran adalah teknologi pemisahan dengan efisiensi yang tinggi serta harga yang cukup murah untuk kebutuhan pemurnian air. Membran berbasis polimer merupakan membran yang sering digunakan di kalangan industri karena harganya yang lebih terjangkau dan memberikan hasil kinerja yang optimal. Membran dapat diartikan sebagai media berpori berbentuk lapisan tipis diantara dua fasa yang bersifat sebagai penghalang (*barrier*) untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan, serta membatasi transport dari berbagai spesi berdasarkan ukuran dan bentuk, serta kandungan kimianya. Pada penelitian ini, pembuatan membran menjadi tantangan karena menggunakan bahan polimer yang tidak mahal akan tetapi dapat memodifikasi karakteristik membran sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan. Bahan pengujian yang digunakan yaitu membran dengan polimer berbahan *Polyethersulfone* (PES), zat penguat Perak Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ), serta tambahan zat pelarut *N,N-Dimethylformamide* (DMF). Membran disiapkan pada 3 spesimen fraksi perbandingan oleh berat (wt%) dengan

campuran polimer yang sama di masing-masing sampel. Pada penelitian ini, proses awal yang dilakukan yaitu melarutkan PES serta DMF, lalu pencampuran AgNO<sub>3</sub> sebagai perbandingan di masing-masing sampel, antara lain 1,5wt%, 2wt%, dan 2,5wt% pada setiap konsentrasi PES. Pencampuran larutan (50gr) menggunakan alat pengaduk magnet, pada temperatur normal kurang lebih 35°C dengan waktu 7 - 8 jam sampai homogen, membran PES dituangkan pada gelas kedap udara yang bertujuan untuk proses pengendapan serta peninjauan larutan yang belum tercampur. Campuran yang sudah melewati tahap pengendapan akan dituangkan secara merata pada cetakan yang dibuat dari plat tembaga yang dimodifikasi menggunakan plester dengan pola berbentuk persegi panjang, kemudian dihubungkan dengan listrik DC bertegangan sebesar 15000V selama 30 detik. Selanjutnya, lapisan membran yang menempel pada cetakan direndam dalam bak koagulasi berisi air hingga lepas dari cetakan dan akan dilakukan pengeringan sendiri pada suhu ruang selama 2 - 3 hari. Setiap sampel membran yang telah selesai dibentuk akan dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan alat ALIYIQI AMF-100 *Digital Push Pull Force Gauge* untuk menganalisa sifat mekanis dari membran, kemudian dilakukan pengujian kinerja pengolahan air menggunakan *Clean Water Permeability (CWP)* bertujuan untuk mengetahui fluks yang berhasil tersaring oleh membran dan mengidentifikasi ketahanan membran ketika pengoperasian, dan dilakukan analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* yang bertujuan untuk mengetahui struktur mikro permukaan membran yang terbentuk. Pada pengujian tarik menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya konsentrasi campuran, kekuatan tarik membran atau kemampuan membran untuk menahan beban cenderung menurun, dimana membran PES@AgNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 1,5wt% memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi yaitu 5,74206 MPa, kemudian nilai kekuatan tarik rata-rata terendah terdapat pada membran PES@AgNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 2,5wt% yaitu 3,07480 MPa, sedangkan konsentrasi 2wt% memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata yaitu 3,81310 MPa. Penurunan nilai kekuatan tarik disebabkan oleh penyebaran pori yang tidak merata dan terdapat aglomerasi yang terbentuk sehingga saat dilakukan pengujian tarik membran menjadi lebih rapuh dan mudah patah. Pada pengujian CWP, terjadi penurunan signifikan hasil fluks pada variasi konsentrasi membran, dimana saat

konsentrasi campuran membran PES@AgNO<sub>3</sub> 1,5wt% didapatkan nilai fluks tertinggi mencapai 3,88797 L.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.bar<sup>-1</sup>, berbanding terbalik dengan semakin bertambahnya konsentrasi campuran membran yakni 2,5wt% didapatkan nilai fluks terendah yaitu 1,01345 L.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.bar<sup>-1</sup>, sedangkan konsentrasi 2wt% memiliki nilai fluks yaitu 1,69523 L.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.bar<sup>-1</sup>. Penurunan fluks pada variasi konsentrasi membran disebabkan oleh peningkatan jumlah dan ukuran partikel perak (Ag) yang terbentuk pada campuran membran yang mengakibatkan terjadinya penggumpalan (aglomerasi) di permukaan membran, sehingga terjadi penurunan porositas dan ukuran pori yang terbentuk, serta memicu pemblokiran pori yang berpengaruh terhadap nilai fluks yang dihasilkan. Pada pengamatan SEM terdapat perbedaan signifikan morfologi membran yang tampak dari ketiga variasi konsentrasi campuran, dimana membran memiliki struktur seperti jari dan spons dengan rongga serta terdapat aglomerasi yang berbeda-beda pada permukaan di masing-masing konsentrasi.

**Kata kunci :** membran, *polyethersulfone*, perak nitrat, struktur mikro, kekuatan tarik, nilai fluks



## SUMMARY

### ANALYSIS OF WATER TREATMENT MEMBRANE CHARACTERISTICS FROM POLYETHERSULFONE MATERIAL WITH SILVER NITRATE ADDITION

Scientific writing in the form of a thesis, March 4 2024

Iqbal Nova Prasatya, supervised by Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.

xxxiv + 54 pages, 9 tables, 18 figures

### SUMMARY

The availability of clean water supply which is increasingly becoming a source of problems for the world community encourages all parties to collaborate in finding solutions. Water is an essential need that has a crucial role in all aspects of human life, making the availability of clean water a basic human right that must be fulfilled. The development of demand for clean water over time challenges the world of technology to continue to innovate in the technology and materials used in the water filtration process to have a more economical cost but have a better level of efficiency and effectiveness than before. Membrane is a separation technology with high efficiency and low price for water purification needs. Polymer-based membranes are membranes that are often used in industry because they are more affordable and provide optimal performance results. Membrane can be interpreted as a porous medium in the form of a thin layer between two phases that acts as a barrier to separate particles with molecular size (barrier) in a solution system, and limit the transport of various species based on size and shape, as well as chemical content. In this research, membrane manufacturing is a challenge because it uses polymeric materials that are inexpensive but can modify the characteristics of the membrane so as to get the desired results. The test materials used were membranes with polymers made from Polyethersulfone (PES), Silver Nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) reinforcing agent, and additional solvent N,N-Dimethylformamide (DMF). Membranes were prepared in 3 specimens of the ratio fraction by weight (wt%)

with the same polymer blend in each sample. In this study, the initial process carried out was dissolving PES and DMF, then mixing  $\text{AgNO}_3$  as a ratio in each sample, including 1,5wt%, 2wt%, and 2,5wt% at each PES concentration. Mixing the solution (50gr) using a magnetic stirrer, at a normal temperature of approximately  $35^\circ\text{C}$  with a time of 7 - 8 hours until homogeneous, the PES membrane is poured into an airtight glass which aims for the deposition process and review of the solution that has not been mixed. The mixture that has passed the precipitation stage will be poured evenly on a mold made from a modified copper plate using plaster with a rectangular pattern, then connected to DC electricity with a voltage of 15000V for 30 seconds. Next, the membrane layer attached to the mold is immersed in a coagulation bath filled with water until it is separated from the mold and will be self-dried at room temperature for 2 - 3 days. Each membrane sample that has been formed will be tensile tested using the ALIYIQI AMF-100 Digital Push Pull Force Gauge tool to analyze the mechanical properties of the membrane, then testing the performance of water treatment using Clean Water Permeability (CWP) aims to determine the flux that is successfully filtered by the membrane and identify the durability of the membrane when operating, and analyzed using a Scanning Electron Microscope (SEM) which aims to determine the microstructure of the membrane surface formed. Tensile testing shows that as the concentration of the mixture increases, the tensile strength of the membrane or the ability of the membrane to withstand loads tends to decrease, where the PES@ $\text{AgNO}_3$  membrane with a concentration of 1,5wt% has the highest average tensile strength value of 5,74206 MPa, then the lowest average tensile strength value is found in the PES@ $\text{AgNO}_3$  membrane with a concentration of 2,5wt% which is 3,07480 MPa, while the concentration of 2wt% has an average tensile strength value of 3,81310 MPa. The decrease in tensile strength value is caused by the uneven distribution of pores and there are agglomerations formed so that when tensile testing is carried out the membrane becomes more brittle and easily broken. In CWP testing, there is a significant decrease in flux results in membrane concentration variations, where when the concentration of PES@ $\text{AgNO}_3$  membrane mixture is 1,5wt%, the highest flux value reaches  $3,88797 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$ , inversely proportional to the increasing concentration of membrane mixture, namely 2,5wt%, the lowest flux value is

1,01345 L.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.bar<sup>-1</sup>, while the concentration of 2wt% has a flux value of 1,69523 L.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.bar<sup>-1</sup>. The decrease in flux in the membrane concentration variation is caused by an increase in the number and size of silver (Ag) particles formed in the membrane mixture which results in agglomeration on the membrane surface, resulting in a decrease in porosity and pore size formed, and triggering pore blocking which affects the flux value produced. In SEM observations, there are significant differences in membrane morphology that can be seen from the three variations of mixture concentration, where the membrane has a finger-like and spongy structure with voids and there are different agglomerations on the surface in each concentration.

**Keywords :** membrane, polyethersulfone, silver nitrate, microstructure, tensile strength, flux value





## DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN .....	xvii
SUMMARY .....	xxi
DAFTAR ISI.....	xxv
DAFTAR GAMBAR .....	xxvii
DAFTAR TABEL.....	xxix
DAFTAR SIMBOL.....	xxxii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxxiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	4
1.3    Batasan Masalah .....	4
1.4    Tujuan Penelitian .....	5
1.5    Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1    Definisi Membran .....	7
2.2    Bahan Membran.....	8
2.2.1 <i>Polyethersulfone</i> (PES).....	9
2.2.2 <i>N,N-Dimethylformamide</i> (DMF) .....	10
2.2.3    Perak Nitrat (AgNO <sub>3</sub> ) .....	11
2.3    Karakteristik Membran .....	12
2.3.1    Ukuran dan Jumlah Pori .....	13
2.3.2    Permeabilitas .....	13
2.3.3    Permeabilitas.....	13
2.4    Dasar-dasar Pengujian Membran.....	14

2.4.1	Modifikasi Permukaan .....	14
2.4.1.1	Metode <i>Electric Field</i> .....	14
2.4.2	Analisis Karakteristik .....	15
2.4.2.1	Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	15
2.4.2.2	Pengujian Tarik .....	16
2.4.2.3	<i>Clean Water Permeability (CWP)</i> .....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		19
3.1	Rancangan Penelitian .....	19
3.2	Alat dan Bahan .....	20
3.3	Persiapan Membran.....	20
3.3.1	Persiapan Proses Pencampuran .....	21
3.3.2	Metode Cetakan ( <i>Flat sheet</i> ) .....	22
3.4	Metode Pengujian Membran .....	23
3.4.1	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	23
3.4.2	Pengujian Tarik .....	24
3.4.3	<i>Clean Water Permeability (CWP)</i> .....	25
3.5	Analisis Pengolahan Data.....	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		27
4.1	Hasil Pengujian .....	27
4.1.1	Pengujian Tarik .....	27
4.1.2	Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	30
4.1.3	Kinerja <i>Clean Water Permeability (CWP)</i> .....	33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		37
5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA .....		39
LAMPIRAN .....		45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pemisahan Membran (Mulder, 1996).....	7
Gambar 2.2 <i>Polyethersulfone</i> (PES) .....	10
Gambar 2.3 <i>N,N-Dimethylformamide</i> (DMF).....	11
Gambar 2.4 Perak Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).....	12
Gambar 2.5 Hasil Pengamatan SEM pada Membran (Zamheri dkk., 2022) .....	16
Gambar 2.6 ASTM D 638 <i>Type IV</i> (Sharma dkk., 2019).....	16
Gambar 2.7 Gambaran singkat Uji Tarik.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2 Proses Pembuatan Membran .....	22
Gambar 3.3 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	23
Gambar 3.4 Alat Pengujian Tarik ALIYIQI AMF-100 .....	25
Gambar 3.5 <i>Clean Water Permeability</i> (CWP).....	26
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Tarik Rata-rata Membran setiap komposisi .....	28
Gambar 4.2 Hasil SEM Membran PES 30wt% @ $\text{AgNO}_3$ 1,5wt% .....	30
Gambar 4.3 Hasil SEM Membran PES 30wt% @ $\text{AgNO}_3$ 2wt% .....	30
Gambar 4.4 Hasil SEM Membran PES 30wt% @ $\text{AgNO}_3$ 2,5wt% .....	31
Gambar 4.5 Hasil SEM Membran PES@ $\text{AgNO}_3$ 1,5wt% tanpa penambahan <i>Electric Field</i> .....	32
Gambar 4.6 Grafik Nilai Fluks Membran PES@ $\text{AgNO}_3$ .....	34



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Membran PES (Ji dkk., 2016) .....	13
Tabel 3.1 Komposisi Membran .....	21
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Scanning Electron Microscope</i> with EDX System .....	24
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Digital Push Pull Force Gauge</i> .....	24
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Clean Water Permeability</i> (sumber: Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.) .....	25
Tabel 4.1 Keseluruhan Data Pengujian Tarik .....	28
Tabel 4.2 Perhitungan Nilai Fluks Membran PES 30wt% @ AgNO <sub>3</sub> 1,5wt% .....	33
Tabel 4.3 Perhitungan Nilai Fluks Membran PES 30wt% @ AgNO <sub>3</sub> 2wt% .....	34
Tabel 4.4 Perhitungan Nilai Fluks Membran PES 30wt% @ AgNO <sub>3</sub> 2,5wt% .....	34



## DAFTAR SIMBOL

$\sigma$	=	tegangan tarik (N/mm <sup>2</sup> )
$F$	=	beban yang diberikan (N)
$A$	=	luas penampang membran (mm <sup>2</sup> )
$J_v$	=	fluks volume $\left(\frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}}\right)$
$V$	=	volume permeat (L)
$A$	=	luas penampang membran (m <sup>2</sup> )
$t$	=	waktu (h)
$p$	=	tekanan (bar)





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Kegiatan .....	45
Lampiran 2. Perhitungan Komposisi Larutan Membran.....	48
Lampiran 3. Form Formulir Konsultasi Tugas Akhir .....	49
Lampiran 4. Hasil Akhir Similaritas (Turnitin) .....	51
Lampiran 5. Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme .....	52
Lampiran 6. Surat Keterangan Pengecekan Similaritas.....	53
Lampiran 7. Form Pengecekan Format Tugas Akhir.....	54



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sebagai salah satu elemen yang mendukung keberlangsungan hidup manusia, air memiliki peran yang krusial dalam semua aspek kehidupan. Air merupakan kebutuhan esensial yang digunakan dalam aktivitas sehari-hari, sehingga penting untuk memastikan ketersediaan dan kelangsungan pasokan air bersih sebagai salah satu hak mendasar yang harus dipenuhi bagi seluruh masyarakat (Ferdinand dan Savitri, 2023). Permintaan akan air bersih terus meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, urbanisasi, ekspansi industri, dan meningkatnya aktivitas manusia demi mencukupi berbagai keperluan rumah tangga sesuai dengan tuntutan kehidupan yang terus berkembang (Kalsum dkk., 2019). Peningkatan terhadap kebutuhan air bersih akan berdampak pada ketersediaannya yang berkurang. Di sisi lain, dampak pencemaran dan kerusakan lingkungan dari pembuangan limbah cair domestik dan pabrik juga berkontribusi terhadap menurunnya kualitas sumber daya air, yang pada gilirannya mengakibatkan kelangkaan air bersih.

Menurut Jacques Diouf, Direktur Jenderal Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO), saat ini penggunaan air di seluruh dunia telah meningkat dua kali lipat dari satu abad yang lalu, namun ketersediaan air cenderung menurun. Akibatnya, lebih dari 40% penduduk dunia menghadapi kekurangan air dan situasinya diperkirakan semakin buruk menjelang tahun 2025 ketika 1,8 miliar orang diperkirakan akan mendiami daerah yang mengalami kekurangan air secara absolut. Kekurangan air ini telah berdampak negatif pada berbagai sektor, termasuk kesehatan. Dengan berkurangnya akses terhadap air minum yang higienis menyebabkan 3.800 anak meninggal setiap hari akibat bermacam jenis penyakit yang disebabkan oleh air yang tidak layak untuk dikonsumsi (Sunarsih dkk., 2018).

Melihat begitu pentingnya masalah kebutuhan air bersih bagi kehidupan serta dampak negatif yang akan timbul akibat kelangkaannya, maka sebagian orang mencoba dan mencari alternatif yang dapat dilakukan guna memperoleh ketersediaan air bersih yang berkecukupan. Teknologi membran merupakan salah satu aplikasi pengolahan air yang saat ini sering menjadi perbincangan hangat dunia dikarenakan kemampuannya sebagai media pemisah yang sangat selektif. Di Indonesia, penggunaan membran untuk penjernihan air seiring berjalannya waktu sudah sering dijadikan sebagai alternatif karena dinilai lebih efisien dan mampu beradaptasi sesuai dengan kebutuhan dan perkembangan zaman (Fitradi, 2015; Wenten, 2016).

Membran dapat dibuat dari berbagai jenis material, salah satunya dari bahan baku polimer (Mustabsyirah dkk., 2022). Secara umum, membran polimer adalah lapisan penyaring diantara dua fasa yang bertindak sebagai media penyaring yang selektif. Teknologi membran menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan metode penjernihan air lainnya, seperti konsumsi energi yang rendah, kemudahan dalam pembuatan, ramah lingkungan (He dkk., 2017; Peters, 2010), pengoperasian yang mudah (Wenten, 2002), serta kualitas air yang dihasilkan sangat baik (Mirwan dkk., 2017).

Meskipun membran memiliki beberapa keuntungan, penggunaannya dalam industri terbatas karena sering ditemukan *fouling* pada membran, yang disebabkan oleh penyerapan dan pengendapan polutan pada permukaan atau pori-pori membran. Faktor utamanya ialah sifat permukaan membran seperti hidrofilisitas, muatan, dan kekasaran (Wang dkk., 2019; Zhao dkk., 2015). Selain itu, faktor bahan anorganik dan organik (*biofouling*) yang menempel dalam air dapat menyebabkan terjadinya *fouling* serta penurunan fluks pada membran (Biswas dan Bandyopadhyaya, 2017). (Mohammadnezhad dkk., 2019) dalam penelitiannya, mengemukakan bahwa dengan cara memodifikasi sifat hidrofilisitas dan pengurangan kekasaran permukaan membran menjadi solusi peningkatan kinerja *antifouling* membran.

Membran yang memenuhi karakteristik baik dapat dihasilkan dari berbagai kombinasi polimer, yang tersedia dalam berbagai jenis dan harga, mulai dari yang terjangkau hingga yang mahal. Pada penelitian ini, pembuatan

membran merupakan sebuah tantangan karena menggunakan bahan polimer yang ekonomis tetapi memiliki kemampuan untuk mengubah karakteristik membran guna mencapai hasil yang diharapkan. Bahan-bahan pembuatan membran antara lain: *Polyethersulfone* (PES), *N,N-Dimethylformamide* (DMF), dan Perak Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).

PES merupakan polimer yang menjadi salah satu pilihan utama dalam produksi membran ultrafiltrasi karena memiliki ketahanan kimia dan mekanik yang sangat baik, stabilitas termal, ramah lingkungan, dan toleransi terhadap pelarut (Zhao dkk., 2013). Meskipun demikian, penggunaan membran PES sering dibatasi karena memiliki sifat hidrofobik yang sangat rentan akan *fouling*, sehingga diperlukan material lain yang digunakan untuk mengubah sifat PES menjadi lebih hidrofilik serta sebagai pengikat sifat *antifouling* membran (Abriyanto dkk., 2022).

Penggunaan perak nitrat sebagai penguat dalam pembuatan membran filtrasi berbasis polimer telah banyak digunakan karena mekanisme dari perak nitrat mampu menonaktifkan bakteri dengan cara ion perak melekat ke lapisan luar membran sel bakteri dan memicu pembesaran sel sehingga mengakibatkan kematian bakteri. Penambahan perak nitrat pada campuran larutan membran untuk filtrasi air mampu mengikat bakteri coliform (*biofouling*), yang merupakan penyebab umum pengotoran membran (Nugroho dkk., 2015).

DMF merupakan pelarut polimer dan zat aditif yang memiliki karakteristik meliputi ketahanan terhadap api, dan keberadaan nilai volatilitas dan toksisitas yang tergolong rendah. Penggunaan DMF sebagai pelarut dalam campuran polimer dapat dilakukan secara langsung. Pencampuran larutan DMF pada PES mampu meningkatkan kekuatan material tersebut (EPA, 2000).

Metode penelitian ini berfokus pada modifikasi membran mulai dari permukaan membran, karakteristik membran seperti sifat mekanik, dan kinerja terhadap proses penyaringan air. Pengembangan membran dilakukan dengan menggunakan metode *electric field* dengan arus DC 15000V untuk memodifikasi permukaan membran. Metode *electric field* pada sistem pembuatan membran memiliki keuntungan karena dianggap dapat mengurangi tingkat kekasaran permukaan serta membentuk ukuran pori membran yang

seragam, hal ini bertujuan untuk mengurangi tingkat polarisasi konsentrasi dan mencegah pengendapan polutan pada permukaan membran sehingga dapat mengurangi *fouling* dan meningkatkan fluks pada membran (Li dkk., 2018). Setelah itu, dilakukan analisis struktur mikro permukaan membran melalui pengamatan dengan menggunakan *scanning electron microscope*, sementara sifat mekanis membran dilakukan pengujian tarik, dan kinerja proses penyaringan air pada membran dilakukan pengujian *clean water permeability*.

Atas dasar tersebut penulis untuk mengambil tugas akhir/skripsi:

“ANALISIS KARAKTERISTIK MEMBRAN PENGOLAHAN AIR DARI BAHAN *POLYETHERSULFONE* DENGAN PENAMBAHAN PERAK NITRAT”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang difokuskan dalam penelitian ini adalah penggunaan polimer *polyethersulfone* dalam pembuatan membran dengan variasi penambahan perak nitrat, serta penyempurnaan permukaan membran melalui penerapan metode *electric field*. Karakteristik membran yang dapat dikenali dari sifatnya adalah indikator untuk menilai kinerja dan efisiensi membran yang terbentuk melalui pengujian dengan berbagai parameter, seperti tegangan tarik, struktur mikro, dan permeabilitas.

## 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah dimaksudkan untuk mencegah perluasan yang tidak terkendali dan untuk mengarahkan fokus pada tujuan yang lebih jelas. Beberapa batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Polimer yang digunakan adalah *polyethersulfone* (PES) dengan variasi

komposisi bahan untuk setiap spesimen adalah 30%.

2. Penambahan zat aditif perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) rasio 1,5%, 2%, dan 2,5%.
3. Pelarut yang digunakan yaitu *n,n-dimethylformamide* (DMF).
4. Spesimen dibuat berbentuk lembaran datar (*flat sheet*).
5. Pembuatan membran dilakukan dengan proses pengadukan (kecepatan pengadukan diabaikan) selama 7 - 8 jam dengan suhu kurang lebih  $35^\circ\text{C}$ .
6. Pengujian yang digunakan, yakni pengamatan *scanning electron microscope*, pengujian tarik, dan *clean water permeability*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Pengembangan membran melibatkan pencampuran *polyethersulfone* (PES) dan perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).
2. Menganalisis struktur mikro dan *fouling* yang terbentuk setelah modifikasi permukaan membran menggunakan metode *electric field* dengan dilakukan pengamatan melalui *scanning electron microscope* (SEM).
3. Mengidentifikasi fluks pada membran melalui pengujian *clean water permeability* (CWP).
4. Menganalisis tegangan tarik pada membran.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan, antara lain:

1. Menambah pengetahuan mengenai pembuatan membran *polyethersulfone* (PES) dan perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).
2. Penelitian ini merujuk pada studi sebelumnya dengan harapan memberikan kontribusi pada perkembangan penelitian lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abriyanto, H., Susanto, H., Maharani, T., Filardli, A.M.I., Desiriani, R., Aryanti, N., 2022. Synergistic Effect of Chitosan and Metal Oxide Additives on Improving the Organic and Biofouling Resistance of Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes. *ACS Omega* 7, 46066–46078. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03685>
- Amri, I.A., Hendrasmara, M.F., Qosimah, D., Aeka, A., Rickyawan, N., Purwatiningsih, W., Dameanti, F.N.A.E.P., 2020. Toksisitas Larutan Perak Nitrat (AgNO<sub>3</sub>) pada Mencit Balb-c Berdasarkan Kadar SGPT dan SGOT. *Jurnal Medik Veteriner* 3, 251–257. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol3.iss2.2020.251-257>
- Angersbach, A., Heinz, V., Knorr, D., 2000. Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
- Barth, C., Gonçalves, M.C., Pires, A.T.N., Roeder, J., Wolf, B.A., 2000. Asymmetric polysulfone and polyethersulfone membranes: effects of thermodynamic conditions during formation on their performance, *Journal of Membrane Science*.
- Biswas, P., Bandyopadhyaya, R., 2017. Biofouling prevention using silver nanoparticle impregnated polyethersulfone (PES) membrane: E. coli cell-killing in a continuous cross-flow membrane module. *Journal of Colloid and Interface Science* 491, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.060>
- Budiman, H., 2016. Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. *J-Ensatec* 3, 9–13. <https://doi.org/10.31949/j-ensatec.v3i01.309>
- Chen, Y., Dang, J., Zhang, Y., Zhang, H., Liu, J., 2013. Preparation and antibacterial property of PES/AGNO<sub>3</sub> three-bore hollow fiber ultrafiltration membranes. *Water Science and Technology* 67, 1519–1524. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.023>
- Elma, M., Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan Unlam Jl HHasan Basry, P., Tangi, K., 2016. Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran. *Lambung Mangkurat University Press*.
- EPA, 2000. N,N-Dimethylformamide 68-12-2. N,N-Dimethylformamide 68-12-2. United states environmental protection, (1), Pp.1–4 1, 1–4.
- Farah, R.D.E., 2022. Pengaruh Konsentrasi Perak Nitrat (0, 4; 0, 6 Dan 0, 8 M) Terhadap Fungsionalitas Struktur Dan Densitas Komposit Perak Silika.
- Fathanah, U., Machdar, I., Riza, M., Rahman, N.A., Rahmah Lubis, M.,



- Qibtiyah, M., Jihannisa, R., Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala Jln Tgk Hasan Krueng Kalee, J., Darussalam, K., Syiah Kuala, K., 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyethersulfone (PES)-Kitosan Secara Blending Polimer. Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe 3.
- Ferdinand, M.A., Savitri, A., 2023. Upaya Pemenuhan Air Bersih Masyarakat Pulau Belakang Padang Melalui Sistem Sea Water Reserve Osmosis. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil* 5, 470. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i2.9094>
- Fitradi, R.B., 2015. Preparasi dan Modifikasi Membran untuk Pengolahan Air. *Chemical Product* 1–15.
- Garcia-Ivars, J., Iborra-Clar, M.I., Alcaina-Miranda, M.I., Mendoza-Roca, J.A., Pastor-Alcañiz, L., 2014. Development of fouling-resistant polyethersulfone ultrafiltration membranes via surface UV photografting with polyethylene glycol/aluminum oxide nanoparticles. *Separation and Purification Technology* 135, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.07.056>
- He, Y., Xu, L., Feng, X., Zhao, Y., Chen, L., 2017. Dopamine-induced nonionic polymer coatings for significantly enhancing separation and antifouling properties of polymer membranes: Codeposition versus sequential deposition. *Journal of Membrane Science* 539, 421–431. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.06.028>
- Jhaveri, J.H., Murthy, Z.V.P., 2016. A comprehensive review on anti-fouling nanocomposite membranes for pressure driven membrane separation processes. *Desalination* 379, 137–154. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.11.009>
- Ji, T., Komárek, M., Chaloupek, J., Lederer, T., 2016. Flux Enhancement in Membrane Distillation Using Nanofiber Membranes 2016.
- Kalsum, L., Hasan, A., Hasan, H., 2019. Pptg Penerapan Instalasi Pengolahan Bersih Menggunakan Sistem Filtrasi Bertingkat. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 2, 40.
- Lee, H.T., Tsou, C.H., Jou, C.H., Huang, F.C., Wang, M.L., Suen, M.C., 2014. The effects of silver nitrate on the structure and properties of polyurethanes containing pyridyl units. *Polymer Bulletin* 71, 2749–2767. <https://doi.org/10.1007/s00289-014-1222-2>
- Lee, K.P., Arnot, T.C., Mattia, D., 2011. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination-Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science* 370, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.12.036>
- Li, C., Zhang, M., Song, C., Tao, P., Sun, M., Shao, M., Wang, T., 2018. Enhanced treatment ability of membrane technology by integrating an electric field for dye wastewater treatment: A review. *Journal of AOAC*

- International 101, 1341–1352. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0050>
- Madaeni, S.S., Zinadini, S., Vatanpour, V., 2011. A new approach to improve antifouling property of PVDF membrane using in situ polymerization of PAA functionalized TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Membrane Science* 380, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.07.006>
- Mataram, A., Anisya, N., Nadiyah, N.A., Afriansyah, 2020. Fabrication membrane of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) blended polyethersulfone (pes) and polyvinilidene fluoride (pvdf): Characterization, mechanical properties and water treatment. *Key Engineering Materials* 867 KEM, 159–165. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.867.159>
- Mirwan, A., Indriyani, V., Novianty, Y., Yani, J.A., 36 Banjarbaru, K., Selatan, K., 2017. Pembuatan Membran Ultrafiltrasi dari Polimer Selulosa Asetat dengan Metode Inversi Fasa. *Konversi* 6, 12–17. <https://doi.org/10.20527/k.v6i1.4778>
- Mohammadnezhad, F., Feyzi, M., Zinadini, S., 2019. A novel Ce-MOF/PES mixed matrix membrane; synthesis, characterization and antifouling evaluation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 71, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.09.032>
- Mulder, M., 1996. *Basic principles of Membrane Technology*, second. ed. Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Mustabsyirah, M., Shinta, A., Lubis, M.R., Sofyana, S., Mukramah, M., Mukhriza, M., Rinaldi, W., Fathanah, U., 2022. Peningkatan Kinerja Membran Polietersulfon (PES) dengan Modifikasi Menggunakan Aditif Hidrofilik. *Jurnal Serambi Engineering* 7. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3828>
- Nasution, M.S., Mataram, A., Yani, I., Septano, G.D., 2022. Characteristics of a PVDF–Tin Dioxide Membrane Assisted by Electric Field Treatment. *Membranes* 12. <https://doi.org/10.3390/membranes12080772>
- Nugroho, A., Sutomo, A.H., Irvati, S., Sarto, S., Wijaya, Y.R., 2015. Studi Metode Penambahan Perak Nitrat Pada Saringan Keramik Terhadap Escherichia Coli Pada Air Minum. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 10, 230. <https://doi.org/10.15294/kemas.v10i2.3386>
- Peters, T., 2010. *Membrane technology for water treatment*. Chemical Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1002/ceat.201000139>
- Prastowo, B.A., 2008. Pembuatan Membran Dari Selulosa Asetat Dan Polietilen Glikol Berat Molekul 20.000 Untuk Pemisahan Gas CO<sub>2</sub> Dan CH<sub>4</sub>. *Revista de Trabajo Social* 11, 23–26.
- Rems, L., Kasimova, M.A., Testa, I., Delemotte, L., 2020. Pulsed Electric Fields Can Create Pores in the Voltage Sensors of Voltage-Gated Ion Channels. *Biophysical Journal* 119, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2020.05.030>

- Said, K.A., Jamain, R., Sutan, N.S., Alifah, N.A., 2018. Enhanced permeation performance with incorporation of silver nitrate onto polymeric membrane 12, 3811–3824.
- Saulis, G., 2010. Electroporation of cell membranes: The fundamental effects of pulsed electric fields in food processing. *Food Engineering Reviews* 2, 52–73. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9023-3>
- Sharma, M., Sharma, V., Kala, P., 2019. Optimization of process variables to improve the mechanical properties of FDM structures. *Journal of Physics: Conference Series* 1240. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012061>
- Sunarsih, E., Faisya, A.F., Windusari, Y., Trisnaini, I., Arista, D., Septiawati, D., Ardila, Y., Purba, I.G., Garmini, R., 2018. Analisis Paparan Kadmium, Besi, Dan Mangan Pada Air Terhadap Gangguan Kulit Pada Masyarakat Desa Ibul Besar Kecamatan Indralaya Selatan Kabupaten Ogan Ilir. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 17, 68. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.2.68-73>
- Vatanpour, V., Dehqan, A., Harifi-Mood, A.R., 2020. Ethaline deep eutectic solvent as a hydrophilic additive in modification of polyethersulfone membrane for antifouling and separation improvement. *Journal of Membrane Science* 614, 118528. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118528>
- Wang, X., Feng, M., Liu, Y., Deng, H., Lu, J., 2019. Fabrication of graphene oxide blended polyethersulfone membranes via phase inversion assisted by electric field for improved separation and antifouling performance. *Journal of Membrane Science* 577, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.01.055>
- Wenten, I.G., 2016. *Teknologi Membran: Prospek dan Tantangannya di Indonesia*.
- Wenten, I.G., 2002. Recent development in membrane science and its industrial applications. *Journal of Science and Technology* 24, 1009–1024.
- Xu, Z.L., Qusay, F.A., 2004. Polyethersulfone (PES) hollow fiber ultrafiltration membranes prepared by PES/non-solvent/NMP solution. *Journal of Membrane Science* 233, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.01.005>
- Zamheri, A., Rijal, S., Burlian, Z., Mohruni, A.S., Sari, D.P., Mataram, A., 2022. Mechanical Properties Membrane Polyethersulfone (PES) With Reinforcement Silver Nitrate. *SR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* 19, 32–38.
- Zhao, C., Xue, J., Ran, F., Sun, S., 2013. Modification of polyethersulfone membranes - A review of methods. *Progress in Materials Science*. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.07.002>
- Zhao, S., Yan, W., Shi, M., Wang, Z., Wang, J., Wang, S., 2015. Improving

permeability and antifouling performance of polyethersulfone ultrafiltration membrane by incorporation of ZnO-DMF dispersion containing nano-ZnO and polyvinylpyrrolidone. *Journal of Membrane Science* 478, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.12.050>

Zulfi, F., Dahlan, K., Sugita, P., 2014. Karakteristik Fluks Membran Dalam Proses Filtrasi Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Biofisika* 10, 19–29.