

# **SKRIPSI**

## **PEMBUATAN MEMBRAN POLYETHERSULFONE (PES) DENGAN PENAMBAHAN TITANIUM DIOXIDE (TiO<sub>2</sub>) TERHADAP PENGUJIAN KARAKTERISTIK, SIFAT MEKANIS DAN KINERJA PENGOLAHAN AIR**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**ARJUN KING AKBAR**

**03051181621115**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2020**

# **SKRIPSI**

## **PEMBUATAN MEMBRAN POLYETHERSULFONE (PES) DENGAN PENAMBAHAN TITANIUM DIOXIDE (TiO<sub>2</sub>) TERHADAP PENGUJIAN KARAKTERISTIK, SIFAT MEKANIS DAN KINERJA PENGOLAHAN AIR**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**Oleh :**

**ARJUN KING AKBAR**

**03051181621115**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2020**

# HALAMAN PENGESAHAN

## PEMBUATAN MEMBRAN POLYETHERSULFONE (PES) DENGAN PENAMBAHAN TITANIUM DIOXIDE (TiO<sub>2</sub>) TERHADAP PENGUJIAN KARAKTERISTIK, SIFAT MEKANIS DAN KINERJA PENGOLAHAN AIR

### PROPOSAL SKRIPSI

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

Oleh:

**ARJUN KING AKBAR**  
03051181621115


Indralaya, Januari 2021

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 19711225 199702 1 001

Diperiksa dan disetujui oleh :  
Pembimbing Skripsi



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19790105 200312 1 002

# HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Pembuatan Membran Polyethersulfone (Pes) Dengan Penambahan Titanium Dioxide (Tio<sub>2</sub>) Terhadap Pengujian Karakteristik, Sifat Mekanis Dan Kinerja Pengolahan Air” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 November 2020.

Indralaya, Januari 2021

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi


Ketua:

1. **Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T**  
NIP. 196307191990032001

  
(.....)

Anggota:

2. **Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D**  
NIP. 198106302006041001

  
(.....)


3. **Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D**  
NIP. 197909272003121004

  
(.....)

Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D**  
NIP 19711225 199702 1 001

Pembimbing

  
**Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP 19790105 200312 1 002

# HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arjun King Akbar

NIM : 03051181621115

Judul : Pembentukan Membran *Polyethersulfone* (PES) Dengan Penambahan *Titanium Dioxide* ( $TiO_2$ ) Dengan Terhadap Pengujian Karakteristik, Sifat Mekanis Dan Kinerja Pengolahan Air.

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya 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 aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Indralaya, Januari 2021



Arjun King Akbar  
NIM. 03051181621115

# RINGKASAN

PEMBENTUKAN MEMBRAN *POLYETHERSULFONE* (PES) DENGAN PENAMBAHAN *TITANIUM DIOXIDE* ( $\text{TiO}_2$ ) TERHADAP PENGUJIAN KARAKTERISTIK, SIFAT MEKANIS DAN KINERJA PENGOLAHAN AIR.  
Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, 19 November 2020

Arjun King Akbar ; Dibimbing oleh Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.

THE FABRICATION OF *POLYETHERSULFONE* (PES MEMBRANE WITH *TITANIUM DIOXIDE* ( $\text{TiO}_2$ ) AS ADDITION TOWARD CHARACTERIZATION, MECHANICAL PROPERTIES AND WATER TREATMENT.

XXIII + 28 halaman, 4 tabel, 10 gambar,

## RINGKASAN

Air bersih merupakan salah satu sumber daya yang paling berharga karena fungsinya dalam membangun kehidupan. Pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan industri menyebabkan permintaan akan air bersih meningkat, akan tetapi kerusakan serta pencemaran lingkungan menjadi semakin parah yang akan menyebabkan berkurangnya ketersediaan sumber air bersih. Penyediaan air bersih adalah salah satu masalah yang harus ditangani secara menyeluruh dan detail, salah satu cara untuk mengatasi kurangnya air bersih yaitu dengan melakukan penyaringan menggunakan teknologi membran. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait penyaringan air menggunakan teknologi membran dengan polimer *Polyethersulfone* (PES) dengan pencampuran *Titanium Dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) agar dapat memperbaiki kualitas air bersih yang telah menjadi kendala tersendiri khususnya di Indonesia. Metodologi penelitian ini dimulai dengan mencari, mempelajari serta memahami studi literatur berupa jurnal-jurnal atau karya tulis ilmiah yang telah ada agar mendapatkan suatu pembelajaran baru dari penelitian sebelumnya. Pada setiap spesimen dilakukan pengujian terhadap kekuatan tarik membran menggunakan menggunakan alat uji Tarik (*ZWICK ROEL Material Testing Machine*) dan menggunakan standar ASTM D 638. 05/2008 *Tensile Test On Plastics*, pengamatan struktur mikro membran menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan pengujian permeabilitas membran menggunakan alat *Permeability Test*. Membran dipersiapkan dalam 3 bentuk fraksi pembanding dengan komposisi (% dari berat total), campuran material polimer PES berbeda-beda yakni 30%, 32.5% dan 35% dengan penambahan 1% zat aditif  $\text{TiO}_2$  dan dimodifikasi menggunakan metode *flat-sheet*. Proses melarutkan PES@ $\text{TiO}_2$  dan pelarut *N,N-Dimethylformamide* menggunakan alat *magnetic stirrer*, ketiga bahan diaduk pada temperatur dibawah  $40^\circ\text{C}$  selama 6 jam hingga larutan PES dan  $\text{TiO}_2$

menjadi homogen, membran PES@TiO<sub>2</sub> dimasukkan kedalam botol khusus kedap udara untuk disimpan dan didiamkan beberapa waktu guna mengetahui apabila masih ada serat polimer atau serat pelarut yang belum homogen. Selanjutnya larutan yang sudah homogen dituangkan secara merata pada cetakan yang telah dibuat dari kaca. Setelah itu, direndam kedalam bak koagulasi berisi air hingga lepas dari cetakan. Membran yang telah dipersiapkan selanjutnya dilakukan pengujian dan diambil data serta hasil dari penelitian ini. Dari hasil pengujian tarik, membran campuran PES@TiO<sub>2</sub> menunjukkan nilai 2.62 Mpa, 3.01 Mpa dan 3.49 Mpa untuk masing-masing konsentrasi. Untuk pengamatan struktur mikro menggunakan Scanning Electron Microscopy, diameter pori menunjukkan ukuran pori yang bervariasi yaitu pada konsentrasi 30% pori membran mulai dari 2.099 µm sampai 4.085µm, pada konsentrasi 32.5% pori pada membran yang terbentuk adalah 784.1 nm sampai ukuran 2.720 µm, sedangkan pada konsentrasi 35% pori yang terbentuk pada membran adalah 524.5 nm sampai 1.691 µm. Permeabilitas membran pada tekanan 1 bar yaitu, 44.22332781 L.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>, 33.16749585 L.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup> dan 22.1116639 L.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup> untuk masing-masing konsentrasi.

Kata Kunci :Membran, Polyethersulfone, Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, Permeabilitas.

Kepustakaan : 18 (2004 - 2019)

# SUMMARY

THE FABRICATION OF *POLYETHERSULFONE* (PES MEMBRANE WITH *TITANIUM DIOXIDE* ( $\text{TiO}_2$ ) AS ADDITION TOWARD CHARACTERIZATION, MECHANICAL PROPERTIES AND WATER TREATMENT.

Scientific writing in the form of Thesis, November 19, 2020

Arjun King Akbar ; Supervised of Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.

PEMBENTUKAN MEMBRAN *POLYETHERSULFONE* (PES) DENGAN PENAMBAHAN *TITANIUM DIOXIDE* ( $\text{TiO}_2$ ) TERHADAP PENGUJIAN KARAKTERISTIK, SIFAT MEKANIS DAN KINERJA PENGOLAHAN AIR.

XXIII+ 28 pages, 4 tables, 10 images,

## SUMMARY

Clean water is one of the most valuable resources because of its function in building life. The increase in population and industrial growth causes the demand for clean water to increase, but the damage and environmental pollution are getting worse, which will reduce the availability of clean water sources. Provision of clean water is a problem that must be handled thoroughly and in detail, one way to overcome the lack of clean water is by filtering using membrane technology. Based on the background previously described, the authors are interested in conducting research related to water filtering using membrane technology with Polyethersulfone (PES) polymer with mixing of Titanium Dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) in order to improve the quality of clean water which has become a separate obstacle, especially in Indonesia. This research methodology begins with finding, studying, and understanding literature studies in the form of journals or existing scientific papers in order to get a new lesson from previous research. For each specimen, the tensile strength of the membrane was tested using a Tensile testing tool (ZWICK ROEL Material Testing Machine) and using the ASTM D 638 standard. 05/2008 Tensile Test On Plastics, microstructure observations of the membrane using the Scanning Electron Microscopy (SEM) and membrane permeability testing using Permeability Testing Tool. The membrane was prepared in 3 forms of comparative fractions with different compositions (% of total weight) of mixture of PES polymer material, namely 30%, 32.5% and 35% with the addition of 1%  $\text{TiO}_2$  additive and modified using the flat-sheet method. The process of dissolving PES @  $\text{TiO}_2$  and solvent N, N-Dimethylformamide using a magnetic stirrer, the three ingredients are stirred at temperatures below 40 ° C for 6 hours until the PES and  $\text{TiO}_2$  mixture become homogeneous, the PES @  $\text{TiO}_2$  membrane is put into a special airtight bottle for storage and set aside for some time to find out if there are still polymer fibers or solvent fibers that are not



yet homogeneous. Furthermore, the mixture that is homogeneous is poured evenly on the mold that has been made of glass. After that, it is soaked in a coagulation bath filled with water until it leaves the mold. The membrane that has been prepared is then tested and the data and results of this study are taken. From the results of tensile testing, the PES @ TiO<sub>2</sub> mixed membrane showed values of 2.62 Mpa, 3.01 Mpa and 3.49 Mpa for each concentration. For microstructure observations using Scanning Electron Microscopy, the pore diameter shows a varied pore size, namely at a concentration of 30% the start from 2.099 μm to 4.085 μm, at a concentration of 32.5% pores on the formed membrane start from 784.1 nm to 2,720 μm in size, while at a concentration of 35% the pores on the formed membrane start from 524.5 nm to 1,691 μm. The permeability of the membrane at a pressure of 1 bar is 44.22332781 L.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>, 33.16749585 L.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup> and 22.1116639 L.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>bar for each concentration.

Keyword : Membrane, Polyethersulfone, Tensile Strength, Micro Structure, Permeability

Literatures : 18 (2004 - 2019)

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang berjudul “Pembuatan membran *polyethersulfone* (PES) dengan penambahan *titanium dioxide* (TiO<sub>2</sub>) terhadap pengujian karakteristik, sifat mekanis dan kinerja pengolahan air”. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya dan seluruh keluarga yang selalu memberi semangat dan dukungan agar saya mampu menjalani perkuliahan dengan baik.
2. Agung Mataram, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing.
3. Irsyadi Yani, S.T., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Gunawan, , S.T., M.Eng., Ph.D selaku Pembina Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin khususnya Griya Squad yang selalu menemani dan menyemangati.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan kemampuan yang ada. Meskipun demikian, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembelajaran khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Indralaya, Januari 2021

Arjun King Akbar

# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	xix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xxi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Metode Penelitian .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Definisi Membran .....	5
2.2. Bahan Pembuatan Polimer .....	5
2.2.1. Polyethersulfone (PES) .....	5
2.2.2. N,N-Dimethylformamide (DMF) .....	6
2.2.3. Titanium Dioxide (TiO <sub>2</sub> ) .....	6
2.3. Pengujian Membran .....	7
2.3.1. Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	7
2.3.2. Pengujian Tarik .....	7
2.3.3. Pengujian Permeabilitas Membran.....	8
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	11
3.2. Persiapan Pembuatan Membran .....	12
3.3. Alat dan bahan .....	12
3.3.1. Alat .....	12
3.3.2. Bahan.....	12
3.4. Persiapan Pengadukan Membran .....	13
3.5. Metode Pencetakan Membran .....	13
3.6. Metode Pengujian Membran .....	14

3.6.1. Pengujian Tarik.....	14
3.6.2. Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM).....	15
3.6.3 Pengujian Permeabilitas Membran .....	16
3.7. Analisis Data .....	17
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Pengujian .....	19
4.1.1. Pengujian Tarik.....	19
4.1.2. Pengujian Morfologi Membran .....	21
4.1.3. Kinerja Pengolahan Air .....	23
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	27
5.2. Saran .....	28
<b>DAFTAR RUJUKAN</b> .....	i
<b>LAMPIRAN</b> .....	i

# DAFTAR GAMBAR

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	11
3.2 Magnetic Stirrer .....	14
3.3 <i>ZWICK ROEL Material Testing Machine</i> .....	15
3.4 Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	16
3.5 Pengujian Permeabilitas Membran .....	17
4.1 Kekuatan Tarik Membran PES@TiO <sub>2</sub> .....	21
4.2 Hasil SEM Membran PES@TiO <sub>2</sub> 30%.....	22
4.3 Hasil SEM Membran PES@TiO <sub>2</sub> 32.5%.....	22
4.4 Hasil SEM Membran PES@TiO <sub>2</sub> 35%.....	23
4.5 Grafik Nilai Fluks Membran PES@TiO <sub>2</sub> .....	24

## DAFTAR TABEL

4.1 Kekuatan Tarik Membran PES@TiO <sub>2</sub> 30wt% .....	19
4.2 Kekuatan Tarik Membran PES@TiO <sub>2</sub> 32.5wt% .....	20
4.3 Kekuatan Tarik Membran PES@TiO <sub>2</sub> 35wt% .....	20
4.4 Hasil Perhitungan Fluks Air pada Membran <i>Poliethersulfone</i> .....	24

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini salah satu dari beberapa sumber daya alam yang tersedia dan berharga adalah air bersih karena sangat berguna dalam kehidupan. Semakin hari permintaan air bersih pun ikut meningkat, tetapi kerusakan serta pencemaran lingkungan menjadi semakin parah yang semakin sedikitnya ketersediaan air bersih. Penyediaan air bersih adalah salah satu masalah yang harus ditangani secara menyeluruh dan detail, salah satu cara untuk mengatasi kurangnya air bersih yaitu dengan melakukan penyaringan menggunakan teknologi membran.

Pada beberapa tahun terakhir penggunaan teknologi membran telah banyak digunakan, karena biaya pembuatan dan konsumsi energi yang rendah, kemampuan beradaptasi. Berbeda dengan alat penjernih air lainnya, membran mempunyai beberapa keuntungan yaitu desain yang sederhana, energi yang digunakan rendah, tidak memerlukan peralatan yang banyak, serta mudah untuk dioperasikan (Shannon et al., 2008).

Banyak sekali jenis polimer yang dapat digunakan dalam pembuatan membran ultrafiltrasi, diantaranya selulosa asetat, poliakrilonitril, polietersulfon, polisulfon, atau paduan antar polimer dan masih banyak lagi bahan lainnya. Pada penelitian kali ini bahan-bahan polimer yang akan digunakan adalah *Polyethersulfone* (PES), N,N-Dimethylformamide (DMF), dan campuran zat aditif *Titanium dioxide* (TiO<sub>2</sub>).

*Polyethersulfone* (PES) merupakan polimer yang banyak digunakan dalam pembuatan membran ultrafiltrasi, karena jenis polimer ini tahan terhadap temperatur tinggi, mudah dalam proses pembuatan, serta kekuatan mekanik yang baik (Xu and Qusay, 2004).

N,N-Dimethylformamide (DMF), larutan ini ditambahkan kedalam campuran polimer yang akan digunakan sebagai pelarut sebagai penambah nilai kekuatan. DMF merupakan pelarut yang kuat untuk poliethersulfon karena

rendahnya volatilitas, dan tahan api (EPA, 2000). DMF ini dapat membuat pori-pori membran sangat padat dan kecil (Madaeni et al., 2011).

Pada membran sering ditemukan *fouling* (pengotor), maka dari itu ditambahkan zat aditif *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ). (Rahimpour et al., 2010) menyatakan *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan zat aditif yang tahan pengotor atau *fouling*.

Metode penelitian di fokuskan terhadap modifikasi membran secara modifikasi karakteristik, sifat mekanik dan juga kinerja pengolahan air. Untuk pembentukan membran menggunakan metode *flat sheet*. Pengujian morfologi membran dilakukan dengan pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), sifat mekanik membran dilakukan pengujian sobek. Serta kinerja pengolahan air dilakukan pengujian permeabilitas membran.

Maka dari itu pada kesempatan kali ini penulis mencoba mengambil tugas akhir/skripsi dengan judul : Pembentukan membran *polyethersulfone* (PES) dengan penambahan *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) terhadap pengujian karakteristik, sifat mekanis, dan kinerja pengolahan air.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian kali ini yaitu menghasilkan membran *polyethersulfone* (PES) dengan ditambahkan zat aditif berupa *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ), pembentukan menggunakan metode *flat-sheet*, menganalisa kinerja pengolahan air melalui pengujian permeabilitas membran, menganalisa struktur mikro permukaan membran melalui *Scanning Electron Microscopy* (SEM), serta menganalisa sifat mekanis membran dengan pengujian tarik.

## 1.3 Batasan Masalah

### a. Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah membran *polyethersulfone* (PES) dengan penambahan *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ )



#### b. Proses Pengujian

1. Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu dibawah 40°C
2. Kecepatan pengadukan diabaikan.
3. Pengujian yang dilakukan untuk benda uji :
  - a. Pengujian tarik.
  - b. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM).
  - c. Pengujian permeabilitas membran.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pokok yang akan dicapai pada penelitian ini ialah untuk menganalisa pengaruh komposisi polimer *polyethersulfone* (PES) terhadap sifat fisik dan sifat mekanik suatu membran.

### 1.5 Metode Penelitian

Penulis menggunakan beberapa sumber yang digunakan dalam proses pembuatan skripsi ini, yaitu :

1. Literatur  
Mempelajari data dari berbagai media elektronik, jurnal, dan berbagai referensi.
2. Studi Lapangan  
Untuk memperoleh data-data dilapangan mulai dari membuat membran sampai dengan proses pengujian

## DAFTAR RUJUKAN

- Agustina, S., Pudji.R, S., Widiyanto, T., Trisni.A., 2008. Penggunaan Teknologi Membran Pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit. *Work. Ind. Kim. dan Kemasan*, Jakarta.
- Callister, W.D., Wiley, J., 2007. *Materials science and engineering: an introduction*, Seventh Ed. ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Chang, J., Chen, Hsin-tsung, Ju, S., Chen, Hui-lung, Hwang, C., 2010. Role of Hydroxyl Groups in the  $\text{NH}_x$  ( $x = 1 - 3$ ) Adsorption on the  $\text{TiO}_2$  Anatase (101) Surface Determined by a First-Principles Study 26, 4813–4821. <https://doi.org/10.1021/la903586u>
- Crick, C.R., Gibbins, J.A., Parkin, I.P., 2013. Superhydrophobic polymer-coated copper-mesh; membranes for highly efficient oil–water separation. *J. Mater. Chem. A* 1, 5943–5948. <https://doi.org/10.1039/c3ta10636e>
- EPA, 2000. N,N-Dimethylformamide 68-12-2. N,N-Dimethylformamide 68-12-2. *United states Environ. Prot.* (1), pp.1–4. Available 1–4.
- Lee, J., Tan, W.S., An, J., Kai, C., Tang, C.Y., Fane, A.G., 2016. The Potential to Enhance Membrane Module Design with 3D Printing Technology. *J. Memb. Sci.* 499, 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.11.008>
- 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  $\text{TiO}_2$  nanoparticles. *J. Memb. Sci.* 380, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.07.006>
- Marcel Mulder, 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Enschede, The Netherlands.
- Margiyani, T., Monica, M., Kusumawati, N., 2014. Dalam Pemisahan Pewarna Indigo the Effect of Casting Solution Composition ( Pvd / Nmp / Peg ) and Non Solvent (  $\text{H}_2\text{O}$  /  $\text{Ch}_3\text{Oh}$  ) on Pvd Membranes Performance in the Indigo Dye Separation 3, 170–177.
- Nasrollahi, N., Vatanpour, V., Aber, S., Mahmoodi, N.M., 2018. Preparation and characterization of a novel polyethersulfone (PES) ultrafiltration membrane

- modified with a CuO/ZnO nanocomposite to improve permeability and antifouling properties, *Separation and Purification Technology*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.034>
- Pan, Z., Cao, S., Li, J., Du, Z., 2019. Anti-fouling TiO<sub>2</sub> Nanowires Membrane for Oil/Water Separation: Synergetic Effects of Wettability and Pore Size. *J. Memb. Sci.* 572, 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.11.056>
- Rahimpour, A., Siavash, S., Ghorbani, S., Shockravi, A., 2010. Applied Surface Science The influence of sulfonated polyethersulfone ( SPES ) on surface nano-morphology and performance of polyethersulfone ( PES ) membrane 256, 1825–1831. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.10.014>
- Rajasha, K., Ismail, A.F., 2015. Fouling control on microfiltration/ultrafiltration membranes: Effects of morphology, hydrophilicity, and charge. *J. Appl. Polym. Sci.* 132. <https://doi.org/10.1002/app.42042>
- Redjeki, S., 2011. Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M) Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departement Pendidikan Nasional. Proses Desalinasi Dengan Membr. Direktorat, 215.
- Seyed Shahabadi, S.M., Rabiee, H., Seyedi, S.M., Mokhtare, A., Brant, J.A., 2017. Superhydrophobic dual layer functionalized titanium dioxide/polyvinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene (TiO<sub>2</sub>/PH) nanofibrous membrane for high flux membrane distillation. *J. Memb. Sci.* 537, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.05.039>
- Shannon, M.A., Bohn, P.W., Elimelech, M., Georgiadis, J.G., Marin, B.J., Mayes, A.M., 2008. Science and technology for water purification in the coming decades 452, 301–310. <https://doi.org/10.1038/nature06599>
- Xu, Z.L., Qusay, F.A., 2004. Polyethersulfone (PES) hollow fiber ultrafiltration membranes prepared by PES/non-solvent/NMP solution. *J. Memb. Sci.* 233, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.01.005>
- Zhao, C., Xue, J., Ran, F., Sun, S., 2013. Progress in Materials Science Modification of polyethersulfone membranes – A review of methods. *Prog. Mater. Sci.* 58, 76–150. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.07.002>