

DISERTASI

PEMBUATAN, KARAKTERISTIK MEMBRAN *POLYVINILIDENE FLUORIDE* DENGAN PENGUAT TIMAH SEBAGAI MEDIA PENYARINGAN AIR



Oleh : Muhammad Syahrul Nasution
Pembimbing : Agung Mataram ST., MT., Ph.D
Prof. Datuk Ts. Dr. Ahmad Fauzi Ismail

PROGRAM STUDI DOKTOR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022

HALAMAN PENGESAHAN

PEMBUATAN, KARAKTERISTIK MEMBRAN *POLYVINILYDENE FLUORIDE* DENGAN PENGUAT TIMAH SEBAGAI MEDIA PENYARINGAN AIR

DISERTASI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Doktor Dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin

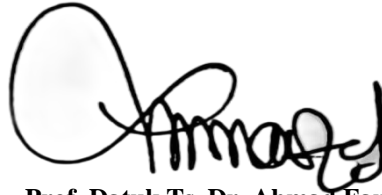
Oleh
MUHAMMAD SYAHRUL NASUTION
0301-36-22025-011

Promotor



Agung Mataram ST., MT., Ph.D
NIP. 197901052003121002

Palembang, 02 Januari 2023
Ko Promotor



Prof. Datuk Ts. Dr. Ahmad Fauzi Ismail

Koordinator Prodi



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

Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T
NIP. 196706151995121002

HALAMAN PERSETUJUAN

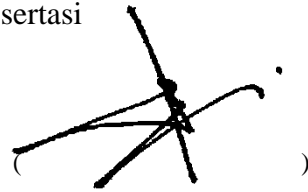
Karya tulis ilmiah berupa laporan disertasi ini dengan judul “Pembuatan, Karakteristik Membran *Polyvinilydene Fluoride* Dengan Penguat Timah Sebagai Media Penyaringan Air” telah di pertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Pada Tanggal: 02 Januari 2023.

Palembang : 02 Januari 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Disertasi

Ketua

Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T
NIP. 196706151995121002



Anggota

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



Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, PhD
NIP. 197108171998021003



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



Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T
NIP. 196706151995121002

Ketua Program Studi



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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Menyatakan bahwa Laporan Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim Pembimbing/Promotor dan KoPromotor* dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/Plagiat dalam Laporan Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* 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.



Palembang, 02 Januari 2023



Muhammad Syahrul Nasution

NIM. 03013622025011

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah melimpahkan rahmat, karunia, idayah dan inayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Disertasi ini, dengan judul ***“Pembuatan, Karakteristik Membran Polyvinylidene Fluoride dan Penguat Timah Sebagai Media Penyaringan Air dengan modifikasi penambahan medan listrik DC 15000 Volt”***.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya terhadap semua pihak atas bimbingan, arahan, petunjuk, koreksi yang telah diberikan sehingga proposal tesis ini dapat terselesaikan, terutama kepada:

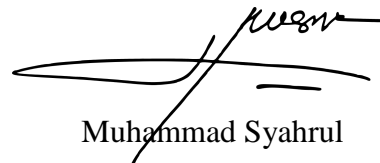
1. Orang tua kandung penulis, yaitu Almarhum Ayahanda Sjarafuddin Nasution, Almarhumah Ibunda Sana'ah Sitorus, dan mertua penulis, yaitu Almarhum Hasnan Harahap, Ibunda Nurhayati Nasution yang saat ini sedang dalam kondisi sakit yang menjadi inspirasi dan penyemangat penulis dalam menyelesaikan penulisan Disertasi ini.
2. Rektor Universitas Sriwijaya.
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ketua Program Studi Doktor Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman.
5. Bapak Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D. selaku Promotor dan Bapak Prof. Datuk Dr. Ahmad Fauzi Ismail selaku Ko-Promotor yang telah memberikan petunjuk, arahan dan bimbingannya.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T., Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, Ph.D., dan Bapak Amir Arifin, ST, M.Eng, PhD., selaku tim penguji/pembahas penulisan Disertasi ini.
7. Dewan Direksi & Ka. Subditkom 1 PT. Sucofindo (Persero) dan rekan-rekan serta seluruh pegawai atas bantuan dan dukungannya.

8. Dukungan dan do'a serta usaha yang tidak kenal lelah dari isteri saya Kartina Santi Harahap, SH dan ketiga anak saya yang luar biasa, serta dukungan dari keluarga besar di Medan, Sumatera Utara.
9. Teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungannya.
10. Dan semua pihak yang telah membantu selama proses penulisan Disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Disertasi ini tentunya masih terdapat kekurangan, dan penulis berharap adanya kritik, saran, petunjuk, arahan, dan bimbingan dari semua pihak sehingga akhirnya Disertasi ini menjadi lebih sempurna dan bermanfaat untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut terutama yang berhubungan dengan membrane Polyvinylidene Flouride.

Palembang, 04 Januari 2023

Penulis,



Muhammad Syahrul

RINGKASAN

PEMBUATAN, KARAKTERISTIK MEMBRAN *POLYVINILYDENE FLUORIDE* DENGAN PENGUAT TIMAH SEBAGAI MEDIA PENYARINGAN AIR

Muhammad Syahrul Nasution ; Dipromotori oleh Agung Mataram ST., MT., Ph.D dan Prof. Datuk Ts. Dr. Ahmad Fauzi Ismail

Characteristics of a PVDF–Tin Dioxide Membrane Assisted by Electric Field Treatment

xx + 54 Halaman, 23 Gambar 11 Tabel

Air bersih ialah salah satu sumber daya yang sangat berharga karena fungsinya dalam membangun kehidupan. Pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan industri menyebabkan permintaan akan air bersih meningkat. Pertumbuhan penduduk di Indonesia pada tahun 2020 meningkat sebesar 0.71% dibandingkan dari tahun 2019. Pertumbuhan penduduk yang meningkat berbanding lurus dengan permintaan terhadap air bersih namun tidak sejalan dengan ketersediaan air bersih yang disebabkan oleh pencemaran lingkungan. Pencemaran air yang sudah meluas di Indonesia pada tahun 2020 menjadi ancaman bagi ketersediaan air bersih di Indonesia. Saat ini, menurut NAWASIS (*National Water Supply and Sanitation Information Services*) capaian akses air minum layak Indonesia sudah mencapai 88% dengan estimasi akses aman sebesar 7%.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai penjernihan air menggunakan teknologi membran berbasis polimer *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) dengan penambahan Timah Dioksida (SnO_2) dan dimodifikasi dengan memanfaatkan medan listrik DC 15000V pada saat pencetakan membran yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas air bersih yang telah menjadi permasalahan yang sangat krusial terutama di Indonesia. Penelitian ini dimulai dengan mencari literatur

berupa jurnal-jurnal internasional untuk mendapatkan referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sehingga meningkatkan kualitas dari Disertasi ini, kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan membran dengan mencampurkan bahan polimer dan zat aditif yang telah ditentukan di batasan masalah sebelumnya.

Membran disiapkan dalam 3 fraksi pencampuran polimer PVDF dan SnO₂ yaitu 15wt%, 17.5wt% serta 20wt%. Pada setiap spesimen membran yang telah dibuat, dilakukan pengujian untuk melihat kinerja dari membran itu sendiri mulai dari uji tarik (*ZWICK ROEL Material Testing Machine*) dan menggunakan standar ASTM D 638. 05/2008 *Tensile Test On Plastics*, pengamatan struktur mikro permukaan membran menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM), serta pengujian permeabilitas air atau *Normalized Water Permeability* (NPWP).

Nilai kekuatan tarik terbesar diperoleh pada konsentrasi pada konsentrasi 20 wt% dengan nilai 0,746 MPa, sedangkan pada konsentrasi konsentrasi 15 wt% dengan nilai 0,487 MPa. Sedangkan untuk elongasi maksimum pada membran diperoleh pada konsentrasi 20 wt% dengan elongasi 3,74%, dan elongasi minimum diperoleh pada konsentrasi 15 wt% dengan elongasi 2,02%. Terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 36% dan nilai elongasi sebesar 54%, dengan peningkatan wt% PVDF dengan Timah Dioksida 1%. Untuk pengamatan SEM, membran PVDF dan timah dioksida diamati dari penampang bawah, dan penampang potongan, Permukaan yang halus, tidak ada nya gumpalan yang terlihat pada saat SEM mengidentifikasi bahwa tidak terjadinya aglomerasi pada membran yang merujuk pada homogenya campuran pada saat pembentukan membran dan pencetakan membran dengan baik dengan metode *electric field* DC 15 kV. Untuk pengujian NWP, pemisahan yang sedikit lebih baik dan NWP yang relatif lebih rendah ditemukan untuk 20wt% dengan 1 wt% Timah Dioksida. Ini mungkin disebabkan oleh pembentukan ukuran serat membran yang lebih kecil dalam polimer dengan wt%.

Kata Kunci : Polyvinylidene Fluoride, Timah Dioksida; Medan Listrik; Membran; Pengujian..

SUMMARY

Characteristics of a PVDF–Tin Dioxide Membrane Assisted by Electric Field Treatment

Muhammad Syahrul Nasution ; Dipromotori oleh Agung Mataram ST., MT., Ph.D dan Prof. Datuk Ts. Dr. Ahmad Fauzi Ismail

PEMBUATAN, KARAKTERISTIK MEMBRAN *POLYVINILYDENE FLUORIDE* DENGAN PENGUAT TIMAH SEBAGAI MEDIA PENYARINGAN AIR

xx + 54 Pages, 23Figure 11 Tables

Clean water is a very valuable resource because of its function in building life. Population growth and industrial growth have caused demand for clean water to increase Population growth in Indonesia in 2020 increased by 0.71% compared to 2019. Increased population growth is directly proportional to the demand for clean water but not in line with the availability of clean water caused by pollution environment. Widespread water pollution in Indonesia in 2020 is a threat to the availability of clean water in Indonesia. Currently, according to NAWASIS (National Water Supply and Sanitation Information Services) access to adequate drinking water in Indonesia has reached 88% with an estimated safe access of 7%.

Based on the background previously described, the authors are interested in conducting research on water purification using Polyvinylidene Fluoride (PVDF) polymer-based membrane technology with the addition of Tin Dioxide (SnO₂) and modified by utilizing a 15000V DC electric field when printing membranes which aims to improve Clean water quality has become a very crucial problem, especially in Indonesia. This research begins by searching literature in the form of international journals to get references from previous research so as to improve the quality of this dissertation, then proceed with the process of making membranes by mixing polymer materials and additives that have been determined in the previous problem boundaries.

The membrane was prepared in 3 fractions mixing PVDF polymer and SnO₂, namely 15wt%, 17.5wt% and 20wt%. On each membrane specimen that has been made, tests are carried out to see the performance of the membrane itself starting from the tensile test (ZWICK ROEL Material Testing Machine) and using the ASTM D 638 standard. 05/2008 Tensile Test On Plastics, observing the microstructure of the membrane surface using a tool Scanning Electron Microscopy (SEM), as well as water permeability testing or Normalized Water Permeability (NPWP).

The greatest tensile strength value was obtained at a concentration of 20 wt% with a value of 0.746 MPa, while at a concentration of 15 wt% with a value of 0.487 MPa. Meanwhile, the maximum elongation of the membrane was obtained at a concentration of 20 wt% with an elongation of 3.74%, and the minimum elongation was obtained at a concentration of 15 wt% with an elongation of 2.02%. There was an increase in tensile strength of 36% and elongation value of 54%, with an increase in wt% PVDF with 1% Tin Dioxide. For SEM observations, the PVDF and tin dioxide membranes were observed from the bottom section, and the cross section, smooth surface, no visible lumps during SEM identified that no agglomeration occurred in the membrane which refers to the homogeneous mixture during membrane formation and membrane printing well with the 15 kV DC electric field method. For NWP testing, slightly better separation and relatively lower NWP was found for 20wt% with 1 wt% Tin Dioxide. This may be due to the formation of smaller membrane fiber sizes in polymers with wt%.

Keywords: Polyvinylidene Fluoride; Tin Dioxide; Electric Field; Membranes; Testing.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
KATA PENGANTAR	v
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	15
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Studi Literatur.....	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Batasan Masalah.....	9
1.4 Tujuan Penelitian.....	9
1.5 Manfaat Penelitian.....	10
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Studi Literatur.....	11
2.2 Teknologi Membran	13
2.2.1 Aplikasi dalam Bidang Medis	13
2.2.2 Bioseparasi dan Biorefinery	14
2.2.3 Aplikasi dalam Industri Makanan dan Minuman	14
2.3 Sejarah Pengembangan Pembuatan Membran	15
2.4 Klasifikasi Membran	17
2.4.1 Membran Berdasarkan Gaya Pendorong (Driving Force)	17
2.4.2 Membran Berdasarkan Struktur dan Prinsip Pemisahan.....	18
2.4.3 Membran Berdasarkan Material Dasar Pembuatannya	19
2.5 Karakteristik Membran.....	20
2.5.1 Permeabilitas	20
2.5.2 Permselectivitas.....	21
2.5.3 Ukuran dan Jumlah Pori	21
2.6 Karakterisasi Membran	21

2.6.1	Sifat Mekanik Membran (Uji Tarik).....	22
2.6.2	Uji Morfologi Membran (SEM)	23
2.6.3	Normalized Water Permeability (NWP).....	24
BAB 3 METODE PENELITIAN DAN JADWAL PENELITIAN.....		26
3.1	Studi Literatur	26
3.2	Persiapan Membran	28
3.2.1	Alat dan Bahan.....	28
3.2.2	Persiapan Adukan	33
3.2.3	Metode Cetakan (Flat Sheet)	34
3.3	Metode Pengujian	35
3.3.1	Pengujian Tarik.....	36
3.3.2	Pengujian Mikroskopis	37
3.3.3	Kinerja Pengolahan Air	38
3.4	Jadwal Penelitian	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Hasil Pengujian	42
4.1.1	Pengujian Tarik.....	42
4.1.2	Pengujian Mikroskopis	47
4.1.3	Pengujian Kinerja Pengolahan Air	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Jalan Penelitian.....	4
Gambar 1.2 State of the Art Penelitian	6
Gambar 2.1 Proses Pemisahan pada Membran (De Meis, 2017).....	11
Gambar 2.2 Prinsip Kerja <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	
(Mulder, 1996)	23
Gambar 3.1 Metode Penelitian.....	27
Gambar 3.2 <i>Polyvinylidene Difluoride</i> (PVDF).....	29
Gambar 3.3 <i>N,N-Dimethyl Formamide</i> (DMF).....	30
Gambar 3.4 <i>Tin (IV) Dioxide</i> (SnO ₂)	31
Gambar 3.5 Diagram Pembuatan Spesimen.....	34
Gambar 3.6 Dimensi ukuran membran menggunakan ASTM D638.....	35
Gambar 3.7 Mekanisme Pengujian Tarik Membran	36
Gambar 3.8 <i>ZWICK ROEL Material Testing Machine</i>	37
Gambar 3.9 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	38
Gambar 3.10 <i>Normalized Water Permeability</i> (CWP)	39
Gambar 3.11 Skema Pengujian NWP	39
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Tarik Rata-Rata Spesimen Tiap Konsentrasi	44
Gambar 4.2 Grafik Regangan Rata-Rata Spesimen Tiap Konsentrasi	44
Gambar 4.3 Tegangan Tarik – Regangan membran PVDF dan SnO ₂ 15wt%	45
Gambar 4.4 Tegangan Tarik – Regangan membran PVDF dan SnO ₂ 17.5wt% ..	45
Gambar 4.5 Tegangan Tarik – Regangan membran PVDF dan SnO ₂ 20wt%	46
Gambar 4.6 Permukaan Membran dengan menggunakan SEM PVDF@SnO ₂	
dengan konsentrasi 15wt% (a) Penampang Atas (b) Penampang.....	
Bawah (c) Penampang Potongan	47
Gambar 4.7 Permukaan Membran dengan menggunakan SEM PVDF@SnO ₂	
dengan konsentrasi 17.5wt% (a) Penampang Atas (b) Penampang.....	
Bawah (c) Penampang Potongan	48

Gambar 4.8 Permukaan Membran dengan menggunakan SEM PVDF@SnO ₂	
dengan konsentrasi 20wt% (a) Penampang Atas (b) Penampang	
Bawah (c) Penampang Potongan.....	48
Gambar 4.9 Pengaruh Medan Listrik terhadap persebaran partikel PVDF dan	
Timah Dioksida	50
Gambar 4.10 Nilai Rata-Rata NWP dari membran PVDF@SnO ₂	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Komposisi Membran	34
Tabel 3-2 Uraian Pekerjaan.....	40
Tabel 4-1 Nilai Tenggangan Tarik Membran PVDF dan SnO ₂ 15wt%	42
Tabel 4-2 Nilai Tenggangan Tarik Membran PVDF dan SnO ₂ 17.5wt%	43
Tabel 4-3 Nilai Tenggangan Tarik Membran PVDF dan SnO ₂ 20wt%	43
Tabel 4-4 Data Pengujian Kinerja Pengolahan Air Membran PVDF dan SnO ₂	
15wt%	50
Tabel 4-5 Data Pengujian Kinerja Pengolahan Air Membran PVDF dan SnO ₂	
17.5wt%	51
Tabel 4-6 Data Pengujian Kinerja Pengolahan Air Membran PVDF dan SnO ₂	
20wt%	51
Tabel 4-7 Data Pengujian Kinerja Pengolahan Air Membran PVDF dan SnO ₂	
15wt%	52
Tabel 4-8 Data Pengujian Kinerja Pengolahan Air Membran PVDF dan SnO ₂	
17.5wt%	52
Tabel 4-9 Data Pengujian Kinerja Pengolahan Air Membran PVDF dan SnO ₂	
20wt%	53

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Studi Literatur

Air bersih ialah salah satu sumber daya yang sangat berharga karena fungsinya dalam membangun kehidupan (Zamzami et al., 2018). Pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan industri menyebabkan permintaan akan air bersih meningkat. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, hal ini berpengaruh pada tingkat jumlah limbah cair yang terbuang baik yang berasal dari aktifitas rumah tangga sehari-hari maupun proses home industry dan lain-lain. Meningkatnya pembuangan limbah cair ini tidak diimbangi dengan kualitas dan kuantitas pengolahan air limbah yang dihasilkannya, hal ini dibuktikan dengan kasus-kasus pencemaran air yang terjadi di Indonesia (Isyanto et al., 2015). Menipisnya ketersediaan air bersih yang diakibatkan oleh pencemaran air merupakan masalah yang harus ditangani secara detail dan menyeluruh karena masalah tersebut akan terus bertambah seiring dengan pertumbuhan penduduk.

Pengetahuan tentang asal air limbah merupakan pondasi dasar dari perancangan unit pengolahan limbah dan pemilihan teknologi yang efektif untuk mengolah limbah. Kandungan yang terdapat pada air limbah akan mengalir secara fluktuatif tergantung dari asal air limbah itu sendiri (Tchobanoglous et al., 2004). Air limbah yang langsung dibuang ke lingkungan memiliki dampak yang sangat membahayakan dan mengganggu kehidupan makhluk hidup disekitar tempat pembuangan air limbah tersebut, seperti timbul gas yang berbau busuk ataupun sumber air yang berubah warna (Aditia, 2020).

Dilihat dari sudut pandang permasalahan tersebut, Perlu adanya teknologi pemanfaatan air limbah menjadi air bersih layak pakai yang efisien agar dapat meningkatkan jumlah air bersih untuk berbagai macam kebutuhan. Teknologi membran merupakan salah satu teknologi yang sudah lama digunakan sebagai alternatif pemanfaatan air bersih, teknologi membran ini sendiri sudah ada sejak

abad ke-19 yang dipelopori oleh bangsa Jerman sebagai pengolahan air (A. Ali et al., 2018).

Pengolahan air limbah adalah langkah terpenting dalam pengurangan polutan air dan peningkatan kualitas lingkungan air karena menawarkan air bersih dengan kuantitas dan kualitas terjamin di banyak daerah kering, daerah pesisir ataupun lokasi terpencil, sehingga memungkinkan pembangunan berkelanjutan dan mendukung pertumbuhan populasi dalam masyarakat modern ini (Zhao et al., 2020).

Pada saat ini kegunaan membran untuk penyaringan air sangat berpengaruh, dikarenakan Teknologi membran telah menjadi teknologi pemisahan industri yang sangat efisien dalam beberapa dekade terakhir karena kemampuan beradaptasi, biaya rendah, dan konsumsi energi yang rendah. Membran secara definitif memiliki arti sebagai lapisan-lapisan yang berada diantara 2 fasa dan berfungsi sebagai pemisah yang selektif (Wenten, 2015; Zahid et al., 2018). Jika dibandingkan dengan alat penjernih air yang lain keuntungan membran yaitu rendahnya energi yang digunakan, desain modul membran yang sangat sederhana, mudah dioperasikan, tidak membutuhkan peralatan dalam jumlah banyak hingga biaya perawatan yang murah (Iglesias et al., 2016). Banyak peneliti melakukan pengembangan setiap tahunnya terhadap membran dimulai dengan material yang murah sampai dengan material yang cukup mahal.

Terlepas dari keuntungan yang dimiliki membran, penerapan membran pada industri masih dibatasi oleh pengotoran (*fouling*) membran yang tak dapat dihindarkan (Escobar and Van Der Bruggen, 2015; Nawi et al., 2020). Oleh karena itu modifikasi dilakukan pada membran polimer untuk meningkatkan hidrofilitas membran tersebut seperti pencampuran polimer dengan senyawa ketiga (Arahman, 2014), pencangkakan kimia (Luo et al., 2015), dan modifikasi permukaan membran (Zhou et al., 2008).

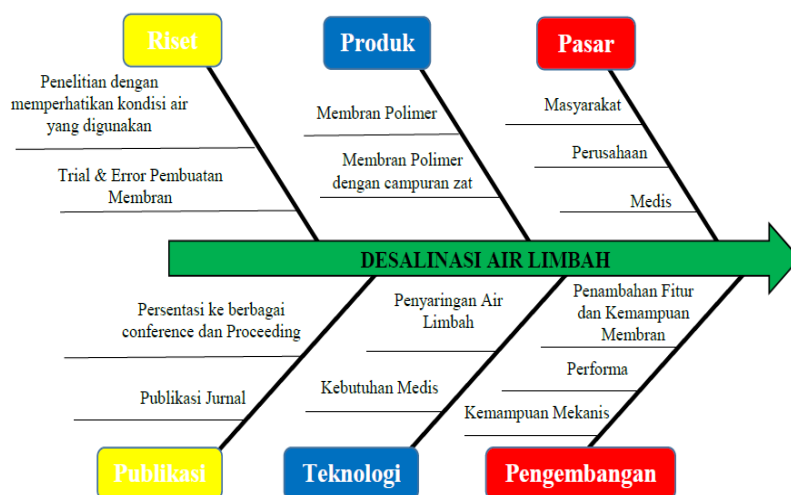
Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian terfokus kepada peningkatan kinerja membran dengan menggunakan metode pencampuran membran polimer dengan polimer hidrofilik maupun nanopartikel inorganik. Seperti penelitian sebelumnya (Ibrahim et al., 2020), Polimer *Polyvinylidene*

fluoride (PVDF) dicampurkan dengan Timah Dioksida (SnO_2) dengan menggunakan metode *ion exchange* untuk menghilangkan logam berat dari suatu larutan. Hasilnya menunjukkan bahwa membran campuran PVDF dengan penambahan SnO_2 dapat menghilangkan logam berat dalam air serta meningkatkan kekuatan mekanik dan thermal dari membran tersebut.

Membran dengan sifat mekanis dan kinerja pengolahan air yang baik sampai sekarang terus dipelajari oleh peneliti berbagai campuran material serta kombinasi konfigurasi yang optimal dalam hal tingkat kekuatan membran dan ukuran pori dari membran. Tujuan utama dari pembentukan membran antara lain durasi masa pakai membran yang lama serta kemampuan membran melakukan proses penyaringan zat pengotor dalam air. Maka dari itu, diperlukan kombinasi campuran material yang baik yang membuat air tidak mudah terkontaminasi logam berat. dikarenakan logam berat yang berada pada air baku dapat memberikan efek yang buruk bagi kesehatan. Logam berat tidak bisa didegradasi di lingkungan. Selain itu, logam berat memiliki sifat toksik atau racun jika terdapat dalam konsentrasi tertentu. Di tubuh makhluk hidup, termasuk manusia, logam berat bersifat bioakumulasi. Jumlahnya akan tertampung dan terus bertambah (A. F. Usman, Budimawan, 2015). Kemampuan pembengkakan yang tinggi (Swelling) juga ditunjukkan pada polimer non-perfluorinated seperti poli (aril eter keton)s (PAEKs), poli (eter sulfon) (PES) dan polibenzimidazole (PBI), yang meskipun memiliki manfaat yang luar biasa namun sering dikaitkan dengan terjadinya pembengkakan dalam larutan basah akibat ionisasi hidrofilik (Kesava and Dinakaran, 2021; Nugraheni et al., 2020). Oleh Sebab itu, perlu adanya parameter-parameter penyaringan air untuk mencapai model terperinci dan fenomena filterisasi air pada membran yang optimal sehingga didapat kualitas air bersih yang sesuai dengan standar mutu air baku dengan ketahanan membran dalam menyaring zat pengotor air yang lebih baik.

Dalam penelitian sebelumnya, membran dengan campuran logam berat dapat beresiko tercampurnya zat logam berat pada air yang telah difiltrasi. Zat logam berat yang tercampur dengan air yang telah difiltrasi berpotensi akan menjadi racun dalam tubuh dan berbahaya bagi kesehatan. Oleh sebab itu, penggunaan senyawa campuran Timah Dioksida sebagai pengganti senyawa

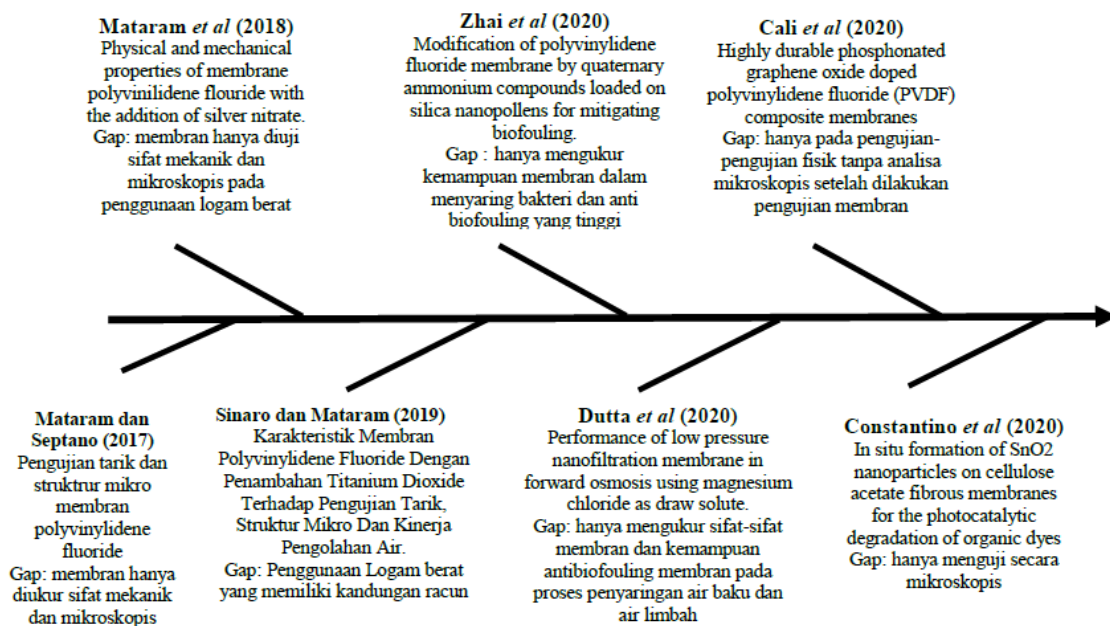
campuran logam berat dapat mengurangi potensi masuknya racun dalam tubuh. Dari penelitian ini juga senyawa campuran lain selain logam berat dapat dijadikan senyawa campuran yang berfungsi untuk mengikat dan membunuh bakteri yang lebih aman untuk tubuh manusia. Dari sisi teknik membran *Polyvinylidene Fluoride* dengan campuran Timah Dioksida dapat diuji secara mekanik dengan beberapa pengujian seperti pengujian tarik, struktur mikro, serta *Clean Water Permeability* dengan modifikasi menggunakan medan listrik DC 15 kV sehingga membran dapat dianalisa berdasarkan masing-masing komposisi campuran yang digunakan sehingga didapat kualitas air yang sesuai dengan kondisi yang ada. Hal ini selaras dengan tujuan tridahrma perguruan tinggi dan moto Universitas Sriwijaya untuk mengembangkan hasil keilmuan dalam bentuk penelitian yang diterapkan dalam bentuk pengabdian masyarakat. Yang mana, hasil dari penelitian membran penyaring air akan digunakan untuk membantu industri skala kecil serta rumah tangga di wilayah sungai sekanak dan sekitarnya. Penelitian dilakukan di area tersebut untuk mengurangi, serta melakukan tindakan *Reuse, Reduce, Recycle* (3R) pada air tak layak pakai. Sehingga selain dapat mengurangi pemborosan penggunaan air, ini juga akan membantu memperbaiki kualitas air yang ada di wilayah sungai sekanak dari pengelolaan limbah air tak layak pakai. Peta Jalan Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Peta Jalan Penelitian

Pada Penelitian Lainnya yang dilakukan oleh Zhai *et al* (Zhai Y., Zhang X., Wu Z., Wang Z., 2020) telah melakukan pembedakan membran biofouling dengan menggunakan senyawa amonia yang dimuat pada nano serbuk silika. Zhai *et al* telah berhasil mengembangkan metode pembentukan membran polimer *Polyvinylidene Fluoride* dengan campuran senyawa amonia dengan nano serbuk silika dengan tingkat efisiensi anti bakterial membran sebesar 98,2% untuk *E. Coli* dan 99,9% untuk *S. Aureus*. Selain itu membran pada pengujian filtrasi dinamis juga menunjukkan bahwa membran secara efektif dapat mengurangi penurunan fluks permeat membran. Membran ini juga memiliki jumlah protein yang lebih sedikit pada permukaan membran ketika dianalisa menggunakan *Confocal laser scanning microscope*, hal ini membuktikan bahwa membran memiliki kemampuan anti biofouling yang sangat baik dan memiliki potensi yang baik untuk digunakan dalam proses filtrasi untuk pengolahan air dan air limbah. Namun keterbatasan penelitian hanya mengukur kemampuan membran dalam menyaring bakteri dan anti biofouling yang tinggi. Demikian juga penelitian dari Dutta *et al* (Dutta., Dave., Nath., 2020) telah melakukan penelitian pada membran polimer *Polyvinylidene Fluoride* dengan campuran *mesoporous graphitic carbon nitride* dengan metode fase transformasi pencelupan presipitasi. Variasi jumlah penambahan *mesoporous graphitic carbon nitride* terhadap polimer *Polyvinylidene Fluoride* telah digunakan dalam penelitiannya. Namun keterbatasannya hanya mengukur sifat-sifat membran dan kemampuan antibiofouling membran pada proses penyaringan berbasis membran untuk pengolahan air baku dan air limbah. Peneliti lain Cali *et al* (Cali et al., 2020) juga telah mengkaji pembentukan mengkaji pembentukan membran terhadap polimer *Polyvinylidene Fluoride* dengan campuran *graphene oxide* yang sukses difabrikasi dengan beberapa peningkatan konduktivitas dan performa pada proses sintesis serta terdapat peningkatan dari sifat-sifat membran terutama pada durabilitas membran melalui serangkaian pengujian elektrokimia dan pengujian mekanik. Namun keterbatasannya hanya pada pengujian-pengujian fisik tanpa analisa mikroskopis setelah dilakukan pengujian membran. dari Devia *et al* (Devia et al., 2015) menggunakan Magnesium Klorida sebagai campuran senyawa pada pembentukan membran *polyester* dan *nonwoven* mampu menangkal zat nitrogen

dan fosforus lebih dari 95% dengan menggunakan Magnesium Klorida. Penelitian yang dilakukan oleh Ibrahim *et al* (Ibrahim et al., 2020). Membran PVDF dengan Timah Dioksida sebagai campuran menghilangkan logam berat dari sampel air limbah sintesis. Hasil penelitian didapat bahwa membran PVDF dengan Timah Dioksida mampu meningkatkan efisiensi penyisihan logam berat. Seperti; Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} dan Ni^{2+} . Selain itu juga Timah Dioksida yang merupakan material hidrofilik mampu menaikkan nilai fluks air. Hal ini membuktikan bahwa pengembangan material PVDF dan Timah Dioksida memiliki potensi yang besar dan bisa digunakan untuk menghilangkan logam berat. Penelitian lain yang dilakukan oleh Constantino *et al*. (Constantino et al., 2020a) yang mana material Timah Dioksida dengan proses *in situ*, zat beracun dan koloid yang berada di pada larutan yang mempengaruhi permukaan dari membran polimer dapat dihindari, penggunaan Timah Dioksida secara ekonomi dan lingkungan



Gambar 1.2 State of the Art Penelitian

Beberapa penelitian telah banyak melakukan berbagai macam pembentukan membran dengan berbagai macam komposisi dari polimer *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) dengan beberapa Pengembangan. Mataram dan septano (Mataram and Septano, 2017) telah melakukan pembentukan membran dengan menggunakan polimer PVDF dengan pengujian mekanik dan mikroskopis. Dari penelitiannya, membran memiliki kekuatan tarik sebesar 312.2881 KPa pada konsentrasi larutan sebesar 20%. Pada uji mikroskopis semakin besar konsenstrasi, makan semakin kecil kecendrungan terjadinya void pada membran dan sebaliknya. Namun keterbatasan penelitian ini hanya mengukur sifat mekanik dan mikroskopis dari membran. Penelitian lain dari Mataram *et al* (Mataram et al., 2018) menggunakan polimer PVDF dengan penambahan perak nitrat sebagai senyawa campuran. Mataram *et al* telah berhasil mengembangkan Pengembangan membran PVDF dengan campuran perak nitrat dengan peningkatan kekuatan tarik hingga 507,721 KPa pada konsenstrasi larutan sebesar 20% dengan ukuran pori yang hampir sama. Namun keterbatasan penelitian ini hanya mengukur sifat mekanik dan mikroskopis dengan peningkatan kekuatan dan ukuran pori yang lebih homogen. Penggunaan perak nitrat sebagai campuran membran dinilai berbahaya untuk kesehatan karena kandungan perak yang memiliki berat jenis lebih dari 5 g/cm^3 termasuk kedalam jenis logam berat. (Endrinaldi, 2010). Sinaro *et al* (Sinaro and Mataram, 2019) juga telah mengkaji pembentukan membran dengan menggunakan polimer PVDF dengan menggunakan senyawa Titanium Dioksida. Sinaro telah mengembangkan membran PVDF dengan campuran senyawa logam dengan berat jenis $4,5 \text{ g/cm}^3$ sebagai alternatif penggunaan senyawa logam berat yang berbahaya bagi mahluk hidup. Hipotesis yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah fenomena aglomerasi membran berkurang dengan ukuran pori yang rapat yang dapat meningkatkan kekuatan tarik membran. Selain dari campuran senyawa Titanium Dioksida, penggunaan medan listrik DC 15 kV pada proses pembentukan membran juga mempegaruhi morfologi dari membran.

Timah Dioksida (SnO_2) merupakan salah satu sebagai salah satu bahan semikonduktor oksida yang memiliki potensi yang cukup baik sebagai fotokatalis, SnO_2 bahan yang unik dengan keunggulan fungsi optik yang luar biasa, transfer

elektron yang cepat, aktivitas katalitik, murah dan ramah lingkungan (Hermida et al., 2017). Fungsi SnO₂ adalah untuk mengatur struktur membran, memperkuat hidrofilisitas, meningkatkan pembersihan kontaminan di bawah sinar ultraviolet, dan meningkatkan sifat mekanik membran (Chen et al., 2021a).

1.2 Rumusan Masalah

Sejauh ini penelitian hanya mengarah ke sifat mekanis dan ukuran pori membran melalui serangkaian pengujian mekanis meliputi uji tarik dan uji struktur mikro agar didapat membran dengan kekuatan dan kemampuan dalam menangkap bakteri dan zat pengotor pada saat melakukan proses filterisasi. Disisi lain, penelitian sebelumnya kurang mengkaji menyeluruh pengaruh faktor kemampuan membran dalam melakukan proses penyaringan serta metode-metode terbaru untuk menghasilkan membran dengan ukuran pori yang kecil.

Penggunaan material logam telah menjadi alternatif campuran zat pada proses pembentukan membran. *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) sebagai material dasar pembuatan membran merupakan jenis material polimer yang memiliki keunggulan seperti sifat fisik dan mekanik yang tinggi, stabilitas termal, ketahanan kimia dan bersifat hidrofobik (sudut kontak $> 90^\circ$) (Suryandari, 2020).

Polyvinylidene fluoride telah banyak digunakan dalam bidang pengolahan air dengan modifikasi, teknik dan campuran material yang beragam. Pada penelitian ini membran dengan polimer *Polyvinylidene fluoride* dimodifikasi dengan penambahan Timah Dioksida. Timah Dioksida merupakan senyawa yang sangat efektif untuk aplikasi pemanfaatan air. Timah Dioksida mempunyai sifat tahan pada temperatur tinggi dikisaran $500^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$, tidak beracun, murah, sumbernya melimpah dan memiliki ketahanan kimia yang tinggi di media asam dan basa. Dengan beberapa sifat tersebut, Timah Dioksida dapat diperhitungkan sebagai aplikasi pembuatan membran yang menarik untuk digunakan (Neves et al., 2020).

Oleh sebab itu, pembentukan membran *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) dan Timah Dioksida dengan modifikasi menggunakan metode medan listrik DC 15 kV akan memberikan varian baru dalam pembuatan membran yang lebih ramah

lingkungan dan juga diharapkan dapat menjadi alternatif pengolahan air limbah menjadi air bersih untuk pemakaian sehari-hari non konsumsi.

Membran PVDF dengan penambahan SnO₂ ini akan dianalisa dengan pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bagaimana struktur mikro membran terbentuk, sifat mekanik membran menggunakan pengujian tarik untuk dianalisa kekuatan membran tersebut terhadap beban yang diberikan, serta pengujian serta pengujian *Clean Water Permeability* (CWP) sebagai tolak ukur untuk menganalisa kinerja pengolahan air.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan sehingga lebih terarah dan terfokus, untuk itu disusunlah suatu batasan masalah dalam pembuatannya yaitu :

1. Polimer yang digunakan adalah *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)
2. Senyawa campuran yang digunakan adalah Timah Dioksida (SnO₂)
3. Pelarut yang digunakan yaitu *N, N - Dimethylformamide* (DMF)
4. Variasi campuran *Polyvinylidene fluoride* pada masing-masing spesimen yaitu 15%, 17,5%, 20%
5. Variasi campuran Timah Okisda dengan konsentrasi 1% pada setiap campuran
6. Proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama lebih kurang 8 jam dengan suhu dibawah 40° C
7. Pengujian yang digunakan adalah pengujian tarik, *Clean Water Permeability* (CWP), *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan membran campuran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) dan Timah Dioksida (SnO₂) dengan penambahan medan listrik DC 15000V.
2. Menganalisa kekuatan tarik membran.
3. Menganalisa permukaan membran dengan modifikasi metode *Electric Field*.

4. Menganalisa ketahanan membran terhadap *fouling* serta mengidentifikasi *Normalized Water Permeability* akibat modifikasi menggunakan medan listrik DC 15000V.
- 5.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian kali ini yaitu diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengolah dan mengatasi pencemaran air limbah yang masih belum optimal, sebagai realisasi penerapan 3R (Reduce, Reuse, Recycle), serta diharapkan dapat menjadi alternatif penggunaan air limbah menjadi air bersih untuk pemakaian sehari-hari.

Pendirian Badan Usaha dalam usaha peningkatan penggunaan produk dan teknologi dalam usaha peningkatan penggunaan produk dan teknologi dalam negeri, sebagai bentuk rekayasa teknologi yang berkelanjutan, sebagai peningkatan publikasi ilmiah dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian berikutnya, khususnya dalam penerapan teknologi membran.

DAFTAR PUSTAKA

- A. F. Usman, Budimawan, dan P.B.A., 2015. KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb-Cd DAN KUALITAS AIR DI PERAIRAN BIRINGKASSI, BUNGORO, PANGKEP. *Agrokompleks* 4, 103–107.
- Aditia, A., 2020. Pengolahan Air Limbah Menggunakan Bioreaktor Membran (BRM). *J. Ilm. MAKSITEK* Vol. 5 No. 4 ISSN. 2655-4399 5, 5–24.
- Al-Hamdi, A.M., Rinner, U., Sillanpää, M., 2017. Tin dioxide as a photocatalyst for water treatment: A review. *Process Saf. Environ. Prot.* 107, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.01.022>
- Ali, A., Tufa, R.A., Macedonio, F., Curcio, E., Drioli, E., 2018. Membrane technology in renewable-energy-driven desalination. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.047>
- Ali, I., Bamaga, O.A., Gzara, L., Bassyouni, M., Abdel-Aziz, M.H., Soliman, M.F., Drioli, E., Albeirutty, M., 2018. Assessment of blend PVDF membranes, and the effect of polymer concentration and blend composition. *Membranes (Basel)*. 8. <https://doi.org/10.3390/membranes8010013>
- Amri, C., Mudasir, M., Siswanta, D., Roto, R., 2015. for hemodialysis membrane. *Int. J. Biol. Macromol.* <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.021>
- Arahman, N., 2014. Modification of the morphology of the poly (ether sulfone) membrane prepared by dry phase inversion technique. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 9, 10453–10462.
- Ariono, D., Aryanti, P.T.P., Subagjo, S., Wenten, I.G., 2017. The effect of polymer concentration on flux stability of polysulfone membrane. *AIP Conf. Proc.* 1788, 1–10. <https://doi.org/10.1063/1.4968301>
- Balani, K., Verma, V., Agarwal, A., Narayan, R., 2015. app1 Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Polymers (pages 329–344) 329–344.
- Bouras, K., Rehspringer, J.L., Schmerber, G., Rinnert, H., Colis, S., Ferblantier,

- G., Balestrieri, M., Ihiawakrim, D., Dinia, A., Slaoui, A., 2014. Optical and structural properties of Nd doped SnO₂ powder fabricated by the sol-gel method. *J. Mater. Chem. C* 2, 8235–8243. <https://doi.org/10.1039/c4tc01202j>
- Cali, A., Yağızatlı, Y., Sahin, A., Ar, İ., 2020. Highly durable phosphonated graphene oxide doped polyvinylidene fluoride (PVDF) composite membranes. *Int. J. Hydrogen Energy* 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.092>
- Chen, Z., Chen, G.E., Xie, H.Y., Xu, Z.L., Li, Y.J., Wan, J.J., Liu, L.J., Mao, H.F., 2021a. Photocatalytic antifouling properties of novel PVDF membranes improved by incorporation of SnO₂-GO nanocomposite for water treatment. *Sep. Purif. Technol.* 259. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118184>
- Chen, Z., Chen, G.E., Xie, H.Y., Xu, Z.L., Li, Y.J., Wan, J.J., Liu, L.J., Mao, H.F., 2021b. Photocatalytic antifouling properties of novel PVDF membranes improved by incorporation of SnO₂-GO nanocomposite for water treatment. *Sep. Purif. Technol.* 259, 118184. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118184>
- Costantino, F., Armirotti, A., Carzino, R., Gavioli, L., Athanassiou, A., Fragouli, D., 2020a. In situ formation of SnO₂ nanoparticles on cellulose acetate fibrous membranes for the photocatalytic degradation of organic dyes. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* 398, 112599. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112599>
- Costantino, F., Armirotti, A., Carzino, R., Gavioli, L., Athanassiou, A., Fragouli, D., 2020b. In situ formation of SnO₂ nanoparticles on cellulose acetate fibrous membranes for the photocatalytic degradation of organic dyes. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* 398, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112599>
- Cyganowski, J., Lutz, H., 2015. Post-processing, Ultrafiltration for Bioprocessing: Development and Implementation of Robust Processes. H Lutz. <https://doi.org/10.1016/B978-1-907568-46-6.00008-2>
- De Meis, D., 2017. Overview on porous inorganic membranes for gas separation

RT/2017/5/ENEA.

- Devia, Y.P., Imai, T., Higuchi, T., Kanno, A., Yamamoto, K., Sekine, M., Le, T. Van, 2015. Potential of Magnesium Chloride for Nutrient Rejection in Forward Osmosis. *J. Water Resour. Prot.* 07, 730–740. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2015.79060>
- Duong, T.T., Choi, H.J., He, Q.J., Le, A.T., Yoon, S.G., 2013. Enhancing the efficiency of dye sensitized solar cells with an SnO₂ blocking layer grown by nanocluster deposition. *J. Alloys Compd.* 561, 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.01.188>
- Dutta, S., Dave, P., Nath, K., 2020. Performance of low pressure nanofiltration membrane in forward osmosis using magnesium chloride as draw solute. *J. Water Process Eng.* 33, 101092. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101092>
- E3-95, 2016. Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. *ASTM Int.* 82, 1–15. <https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
- Elhady, S., Bassyouni, M., Mansour, R.A., Elzahar, M.H., Abdel-Hamid, S., Elhenawy, Y., Saleh, M.Y., 2020. Oily wastewater treatment using polyamide thin film composite membrane technology. *Membranes (Basel)* 10, 1–17. <https://doi.org/10.3390/membranes10050084>
- Endrinaldi, 2010. Logam-logam Berat Pencemar Lingkungan dan Efek Terhadap Manusia. *Stud. Lit.* 4 No. 1, 42–46.
- EPA, 2000. N,N-Dimethylformamide 68-12-2. N,N-Dimethylformamide 68-12-2. *United states Environ. Prot.* (1), pp.1–4. 1–4.
- Escobar, I.C., Van Der Bruggen, B., 2015. Microfiltration and ultrafiltration membrane science and technology. *J. Appl. Polym. Sci.* 132. <https://doi.org/10.1002/app.42002>
- Fathanah, U., Machdar, I., Riza, M., Rahman, N.A., Lubis, M.R., Qibtiyah, M., Jihannisa, R., 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyethersulfone (PES) -Kitosan Secara Blending Polimer. *Proceeding Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe* 3, 62–66.

- Fithri Yatul Humairo, 2015. Preparation and Characterization of PVDF / PEG400-TiO₂ Hollow Fiber Membrane.
- Hermida, L., Purwati, L.K., Agustian, J., 2017. Inkorporasi Oksida Timah (SnO₂) ke dalam Silika Berpori dari Kaolin Alam Lampung dan Kajian Aplikasinya sebagai Fotokatalis untuk Fotodegradasi Rhodamin B
Incorporation of Tin Oxide (SnO₂) into Porous Silica from Lampung Natural Kaolinite and Its App. Article IV, 17–24.
- Ibrahim, Y., Naddeo, V., Banat, F., Hasan, S.W., 2020. Preparation of novel polyvinylidene fluoride (PVDF)-Tin(IV) oxide (SnO₂) ion exchange mixed matrix membranes for the removal of heavy metals from aqueous solutions. Sep. Purif. Technol. 250, 117250. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117250>
- Iglesias, O., Rivero, M.J., Urtiaga, A.M., Ortiz, I., 2016. Membrane-based photocatalytic systems for process intensification. Chem. Eng. J. 305, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.047>
- Isyanto, H., Ibrahim, W., Rizky, A., 2015. Desain Alat Pengolah Air Limbah Rumah Tinggal menggunakan Sistem Elektrokoagulasi. Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer) 4, 43–46.
- 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>
- Kesava, M., Dinakaran, K., 2021. SnO₂ nanoparticles dispersed carboxylated Poly(arylene ether sulfones) nanocomposites for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) applications. Int. J. Hydrogen Energy 46, 1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.178>
- Koh, E., Lee, Y.T., 2020. Separation and Purification Technology Development of an embossed nano fiber hemodialysis membrane for improving capacity and efficiency via 3D printing and electrospinning technology. Sep. Purif. Technol. 241, 116657. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116657>

- Kusumawati, N., Tania, S., 2012. Pembuatan Dan Uji Kemampuan Membran Kitosan Sebagai Membran Ultrafiltrasi Untuk Pemisahan Zat Warna Rhodamin B. *Molekul* 7, 43. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2012.7.1.105>
- 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>
- Lee, K.P., Arnot, T.C., Mattia, D., 2011. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination-Development to date and future potential. *J. Memb. Sci.* 370, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.12.036>
- Li, F., Huang, J., Xia, Q., Lou, M., Yang, B., Tian, Q., Liu, Y., 2018. Direct contact membrane distillation for the treatment of industrial dyeing wastewater and characteristic pollutants. *Sep. Purif. Technol.* 195, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.058>
- Liu, F., Hashim, N.A., Liu, Y., Abed, M.R.M., Li, K., 2011. Progress in the production and modification of PVDF membranes. *J. Memb. Sci.* 375, 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.014>
- Luo, N., Xu, R., Yang, M., Yuan, X., Zhong, H., Fan, Y., 2015. Preparation and characterization of PVDF-glass fiber composite membrane reinforced by interfacial UV-grafting copolymerization. *J. Environ. Sci. (China)* 38, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.04.027>
- Mataram, A., Anisya, N., Nadiyah, A., n.d. Fabrication Membrane of Titanium Dioxide (TiO_2) Blended Polyethersulfone (PES) and Polyvinilidene Fluoride (PVDF): Characterization , Mechanical Properties and Water Treatment 3–8.
- Mataram, A., Nukman, Nasution, J.D., Riadi, M.I., Pataras, M., Aditya, B.B., Septano, G.D., Anisya, N., Nadiyah, N.A., 2021. Comparison of Physical and Mechanical Properties of Antifouling PVDF Membranes by Titanium Dioxide and PES Membrane by Titanium Dioxide. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 1041, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1041/1/012061>

- Mataram, A., Rizal, S., Pujiono, E., 2018. Physical and mechanical properties of membrane polyvinilidene flouride with the addition of silver nitrate. MATEC Web Conf. 156, 08014. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815608014>
- Mataram, A., Septano, G., 2017. PENGUJIAN TARIK DAN STRUKTRUR MIKRO MEMBRAN POLYVINYLLIDENE FLUORIDE. Penguji. TARIK DAN STRUKTRUR MIKRO Membr. 1–6.
- Mulder, M., 1996. Basic principles of Membrane Technology, second. ed. Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Nawi, N.I.M., Chean, H.M., Shamsuddin, N., Bilad, M.R., Narkkun, T., Faungnawakij, K., Khan, A.L., 2020. Development of hydrophilic PVDF membrane using vapour induced phase separation method for produced water treatment. Membranes (Basel). 10, 1–17. <https://doi.org/10.3390/membranes10060121>
- Nechifor, G., Voicu, S.I., Nechifor, A.C., Garea, S., 2009. Nanostructured hybrid membrane polysulfone-carbon nanotubes for hemodialysis. Desalination 241, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.089>
- Neves, D.C.O.S., da Silva, A.L., de Oliveira Romano, R.C., Gouvêa, D., 2020. Fe₂O₃-doped SnO₂ membranes with enhanced mechanical resistance for ultrafiltration application. J. Eur. Ceram. Soc. 40, 5959–5966. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.06.077>
- Nthunya, L.N., Gutierrez, L., Lapeire, L., Verbeken, K., Zaouri, N., Nxumalo, E.N., Mamba, B.B., Verliefe, A.R., Mhlanga, S.D., 2019. Fouling-resistant PVDF nanofibre membranes for the desalination of brackish water in membrane distillation. Sep. Purif. Technol. 228, 115793. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115793>
- Nugraheni, A.D., Purnawati, D., Rohmatillah, A., Mahardika, D.N., Kusumaatmaja, A., 2020. Swelling of pva/chitosan/tio₂ nanofibers membrane in different ph. Mater. Sci. Forum 990 MSF, 220–224. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.990.220>

- Ong, C.S., Lau, W.J., Goh, P.S., Ng, B.C., Ismail, A.F., 2015. Preparation and characterization of PVDF–PVP–TiO₂ composite hollow fiber membranes for oily wastewater treatment using submerged membrane system. *Desalin. Water Treat.* 53, 1213–1223. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.855679>
- Pan, Z., Cao, S., Li, J., Du, Z., Cheng, F., 2019. Anti-fouling TiO₂ nanowires membrane for oil/water separation: Synergetic effects of wettability and pore size. *J. Memb. Sci.* 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.11.056>
- Rahmaida, A., 2016. Teknologi Membran dalam Industri Makanan. *Food Bioprod. Process.* II, 11–22.
- Rog, V., Cr, J., Arl, D., Michel, M., Fehete, I., Dinia, A., Lenoble, D., n.d. with ZnO / SnO₂ Heterostructures for Photocatalytic Water Treatment : Effect of SnO₂ Coverage Rate on the Photocatalytic Degradation of Organics.
- Sayago, I., Hontañón, E., Aleixandre, M., 2020. Preparation of tin oxide nanostructures by chemical vapor deposition, *Tin Oxide Materials*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815924-8.00009-8>
- Setyawan, H., 2012. Asetat Yang Didadah Titanium Dioksida.
- Silva, M.A., Felgueiras, H.P., de Amorim, M.T.P., 2020. Carbon based membranes with modified properties: thermal, morphological, mechanical and antimicrobial. *Cellulose* 27, 1497–1516. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02861-8>
- Sinaro, Z.R., Mataram, A., 2019. Karakteristik membran. Karakteristik Membr. Polyvinylidene Fluoride Dengan Penambahan Titan. Dioxide Terhadap Penguji. Tarik, Strukt. Mikro Dan Kinerja Pengolah. Air.
- Singh, R., Hankins, N.P., 2016. Introduction to Membrane Processes for Water Treatment, *Emerging Membrane Technology for Sustainable Water Treatment*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63312-5.00002-4>
- Su, Q., Zhang, J., Zhang, L.Z., 2020. Fouling resistance improvement with a new superhydrophobic electrospun PVDF membrane for seawater desalination.

Desalination 476, 114246. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114246>

- Suryandari, E.T., 2020. Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *al-Kimiya* 6, 58–66. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i2.6491>
- Tchobanoglous, G., Burton, L.F., Stensel, D., 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Book)*. Chem. Eng.
- Tijing, L.D., Dizon, J.R.C., Ibrahim, I., Nisay, A.R.N., Shon, H.K., Advincula, R.C., 2020. 3D printing for membrane separation, desalination and water treatment. *Appl. Mater. Today* 18, 100486. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.100486>
- Tiwana, P., Docampo, P., Johnston, M.B., Herz, L.M., Snaith, H.J., 2012. The origin of an efficiency improving “light soaking” effect in SnO₂ based solid-state dye-sensitized solar cells. *Energy Environ. Sci.* 5, 9566–9573. <https://doi.org/10.1039/c2ee22320a>
- Touati, K., Tadeo, F., 2017. Pressure Retarded Osmosis as Renewable Energy Source, *Pressure Retarded Osmosis: Renewable Energy Generation and Recovery*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812103-0.00001-5>
- Uchiyama, H., Nagao, R., Kozuka, H., 2013. Photoelectrochemical properties of ZnO-SnO₂ films prepared by sol-gel method. *J. Alloys Compd.* 554, 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.11.196>
- 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. *J. Memb. Sci.* 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.01.055>
- Wenten, I.G., 2015. *Membran Untuk Pengolahan Air. “Industri Membr. dan Perkembangannya.”* Tek. Kim. Inst. Teknol. Bandung 2–17.
- Wenten, P.I.G., 2016. *Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung Profesor I Gede Wenten*

TEKNOLOGI MEMBRAN : PROSPEK DAN TANTANGANNYA.

- Wu, L. guang, Zhang, X. yang, Wang, T., Du, C. hui, Yang, C. hong, 2019. Enhanced performance of polyvinylidene fluoride ultrafiltration membranes by incorporating TiO₂/graphene oxide. *Chem. Eng. Res. Des.* 141, 492–501. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.11.025>
- Zahid, M., Rashid, A., Akram, S., Rehan, Z.A., Razzaq, W., 2018. A Comprehensive Review on Polymeric Nano-Composite Membranes for Water Treatment. *J. Membr. Sci. Technol.* 08. <https://doi.org/10.4172/2155-9589.1000179>
- Zamzami, Z., Azmeri, A., Syamsidik, S., 2018. Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih Pdam Tirta Tawar Kabupaten Aceh Tengah. *J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perenc.* 1, 132–141. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i1.10330>
- Zha, S., Zhang, G., Dawson, N., Yu, J., Liu, N., Lee, R., 2016. Study of PVDF/Si-R hybrid hollow fiber membranes for removal of dissolved organics from produced water by membrane adsorption. *Sep. Purif. Technol.* 163, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.03.003>
- Zhai, Y., Zhang, X., Wu, Z., Wang, Z., 2020. Modification of polyvinylidene fluoride membrane by quaternary ammonium compounds loaded on silica nanopollens for mitigating biofouling. *J. Memb. Sci.* 597, 117679. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117679>
- Zhang, J., Wang, Z., Zhang, X., Zheng, X., Wu, Z., 2015. Enhanced antifouling behaviours of polyvinylidene fluoride membrane modified through blending with nano-TiO₂ /polyethylene glycol mixture. *Appl. Surf. Sci.* 345, 418–427. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.193>
- Zhang, L., Shu, Z., Yang, N., Wang, B., Dou, H., Zhang, N., 2018. Improvement in antifouling and separation performance of PVDF hybrid membrane by incorporation of room-temperature ionic liquids grafted halloysite nanotubes for oil–water separation. *J. Appl. Polym. Sci.* 135, 1–9. <https://doi.org/10.1002/app.46278>

Zhang, Y., Wei, S., Hu, Y., Sun, S., 2018. *SC. J. Clean. Prod.*
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.211>

Zhao, L., Dai, T., Qiao, Z., Sun, P., Hao, J., Yang, Y., 2020. Application of artificial intelligence to wastewater treatment: A bibliometric analysis and systematic review of technology, economy, management, and wastewater reuse. *Process Saf. Environ. Prot.* 133, 169–182.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.014>

Zhou, L., Yuan, W., Yuan, J., Hong, X., 2008. Preparation of double-responsive SiO₂-g-PDMAEMA nanoparticles via ATRP. *Mater. Lett.* 62, 1372–1375.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.08.057>