

**LAPORAN KEMAJUAN  
PROGRAM MAGISTER MENUJU DOKTOR SARJANA UNGGUL**



**2<sup>nd</sup> year of 4 years research**

**NOVEL HYBRID MEMBRANE PSF-NANO ZnO/TiO<sub>2</sub>/GO FOR TREATMENTS OF TEXTILE  
WASTEWATER IN THE MEMBRANE REACTOR: PERFORMANCE EVALUATION, MODELING,  
OPTIMIZATIONS AND EFFICIENCY COMPARISONS**

**INVESTIGATORS:**

Prof. Dr. Tutuk Djoko Kusworo, ST. M.Eng	(Promotor)	NIDN: 0021067301
Prof. Nita Aryanti, ST, MT, PhD	(Co-Promotor)	NIDN: 0017017502
Ratih Estu Nugraheni	(Student)	NIM: 21030119420036

**Dibiayai dengan Sumber Dana:  
Selain APBN Universitas Diponegoro  
Tahun Anggaran 2021  
Nomor SPK: 14-03/UN7.P4.3/PP/2020**

**DIPONEGORO UNIVERSITY  
SEPTEMBER 2021**

## Letter of Endorsement

### Halaman Pengesahan Proposal Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Undip

- |   |                              |   |  |
|---|------------------------------|---|--|
| 1 | Judul                        | : | Novel Hybrid Membrane PSF-Nano ZnO/TiO <sub>2</sub> /GO for treatments of textile wastewater in the membrane reactor: Performance Evaluation, Modeling, Optimizations and efficiency comparisons |
| 2 | Bidang / Jenis Riset         | : | Material Maju / Dasar (TRL 1-3)  |
| 3 | Peneliti/Pelaksana           | : |  |
|   | a. Nama Lengkap              | : | Prof. Dr. Tutuk Djoko Kusworo, ST, M.Eng   |
|   | b. NIP/NIDN                  | : | 197306211997021001 / 0021067301  |
|   | c. Jabatan Fungsional        | : | Lektor   |
|   | d. Jurusan/Fakultas          | : | Teknik Kimia / FAKULTAS Teknik   |
|   | e. Nomor HP                  | : | 081390947094   |
|   | f. Alamat Surel (email)      | : | tdkusworo@che.undip.ac.id  |
|   | Anggota (1)                  | : |  |
|   | a. Nama Lengkap              | : | NITA ARYANTI, ST., MT., Ph.D.  |
|   | b. NIP/NIDN                  | : | 197501172000032001 / 0017017502  |
|   | c. Jurusan/Fakultas          | : | Teknik Kimia / FAKULTAS TEKNIK   |
| 4 | Institusi Mitra (jika ada)   | : |  |
|   | a. Nama Mitra                | : | -  |
|   | b. Alamat                    | : | -  |
|   | c. Penanggung Jawab          | : | -  |
| 5 | Lama Penelitian Keseluruhan  | : | 3 Tahun  |
| 6 | Penelitian Tahun Ke          | : | 1  |
| 7 | Biaya Penelitian Keseluruhan | : | Rp 180.000.000,00  |
|   | Biaya tahun berjalan         | : |  |
|   | a. Diusulkan ke UNDIP        | : | Rp 180.000.000,00  |
|   | b. Dana Institusi Lain       | : | -  |
|   | / in kind                    | : | Dalam bentuk Alat analisa dan karakterisasi  |

  
Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik  
Prof. Dr. M. Agung Wibowo, MM, MSc, PhD  
NIP/NIP. 1967020819940

Semarang, 03 Januari 2020

Ketua Peneliti,

  
Prof. Dr. Tutuk Djoko Kusworo, ST, M.Eng  
NIP. 197306211997021001

## Table of Content

	Pages
Letter of Endorsement.....	ii
Table of Content.....	iii
Abstract .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapter 1 Introduction .....	1
1.1. Backgrounds .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2. Research Objectives .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3. The Outputs .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapter 2 Literature review.....	4
2.1. Biodiesel.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2. Biomass Feedstock .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3. Membrane Based-Separation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4. Optimization using response surface method (RSM).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapter 3 Research Methods.....	9
3.1. Previous and will be conducted research.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2. Innovation of This Research.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3. Research Phasing Plan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4. The Scope and Research Plan of the second year of research.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5. The Practice Time.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6. Equipment.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapter 4 Results and discussions .....	15
4.1 The effect of PES Concentration on PES Membrane performance .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 The effect of Nano ZnO loading on modified Nano ZnO-PES Membrane performance .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 The effect of UV irradiation time on Membrane performance .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Membrane characterization using Fourier transform infra-red (FTIR) ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5 Membrane morphology characterization using a scanning electron microscope (SEM) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6 Water contact angle measurement of membranes surface .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.7 Membrane formula optimization using RSM.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.8 Response Surface of Bio-oil Production from Empty Palm Fruit Bunch .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapter 5 Conclusions .....	25
REFERENCES.....	26



## **Bab 1**

### **Pendahuluan**

#### **1.1. Latar Belakang**

Batik merupakan salah satu kebudayaan Indonesia yang mengalami peningkatan produksi sebesar 39,7% dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (Badan Pusat Statistik, 2019). Namun demikian, peningkatan yang cukup signifikan ini belum diimbangi dengan penanganan limbah yang baik. Menurut Hassan, Li, & Noor (2009) air limbah tekstil mengandung pewarna yang sangat pekat dan bahan kimia lain yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Selain berbahaya bagi lingkungan, limbah tekstil juga dapat bersifat racun bagi organisme akuatik karena mengandung logam, atau klorida, dan produk uraian pewarna lainnya [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pengolahan limbah batik yang baik guna mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan yang ada.

Hingga saat ini, pengolahan limbah tekstil secara konvensional seperti bahan kimia koagulasi, oksidasi dan adsorpsi masih sering digunakan untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang ada [3]. Namun pengolahan limbah tersebut dinilai kurang efektif untuk menghilangkan kandungan warna pekat, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan salinitas pada pengolahan limbah tekstil [4]. Maka untuk mengatasi hal itu perlu dilakukan proses kolaborasi metode pengolahan limbah secara konvensional dan dengan menggunakan metode membran nanofiltrasi (NF).

Menurut Lopes, Petrus, & Riella (2005) membran nanofiltrasi (NF) dapat dipilih dalam kolaborasi karena memiliki rejeksi COD lebih besar dibandingkan teknologi ultrafiltrasi (mencapai lebih dari 90%). Teknologi ini telah berhasil digunakan dalam pengolahan air limbah industri tekstil [4] dan memiliki fluks yang lebih besar dibandingkan teknologi *reverse osmosis* (RO). Namun, permasalahan *fouling* pada membran NF merupakan kendala terbesar dalam pengoperasian teknologi ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya peningkatan efisiensi dalam melakukan pencegahan dan pengurangan fenomena *fouling* pada membran nanofiltrasi (NF).

#### **1.2. Perumusan Masalah**

*Polysulfone* (PSf) merupakan jenis polimer yang sering dipilih dalam pembuatan membran nanofiltrasi (NF). Material ini dipilih karena memiliki kinerja yang tinggi dengan kestabilan kimia dan termal yang sangat baik, kekuatan dan fleksibilitas yang tinggi, temperatur transisi gelas yang tinggi, dan sifat pembentukan film yang baik [6]. Selain itu, menurut Sinha & Purkait (2015), *polysulfone* (PSf) juga memiliki efektivitas pH yang luas

(pada kisaran 1-13), ketahanan klorin (~200 ppm) dan oksidasi yang baik. Walau begitu, *polysulfone* (PSf) memiliki beberapa kekurangan seperti pada *stress cracking*, sifat hidrofobik intrinsik dan properti pelapukan [6]. Sifat hidrofobik pada membran dapat menyebabkan terjadinya pengendapan dan adsorpsi *foulants* pada permukaan membran dan di dalam pori-pori membran. Proses pengendapan adsorpsi *foulants* ini dapat menyebabkan terjadinya penurunan fluks, kinerja serta ketahanan membran [7]. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya-upaya modifikasi yang dapat meningkatkan kekurangan polimer *polysulfone* (PSf).

Ada beberapa upaya yang bisa dilakukan untuk meningkatkan karakteristik membran. Diantaranya menggunakan metode okulasi, pelapisan maupun pencampuran. Pada umumnya, metode pencampuran membran dengan modifier hidrofilik termasuk yang paling mudah dilakukan untuk mengatasi permasalahan *fouling* yang sering terjadi pada membran berbahan dasar polimer *polysulfone* (PSf) [8]. Berdasarkan Ravishankar, Moazzem, & Jegatheesan (2019), penambahan GO pada modifikasi polimer *polysulfone* (PSf) dapat memberikan efek *anti-fouling* yang baik. Pencampuran GO pada membran PSf ini dapat meningkatkan kinerja membran dan peran membran dalam pemisahan timbal. Berdasarkan data yang ditemukan, pencampuran GO dalam polimer *polysulfone* (PSf) dapat digunakan sebagai upaya desain dan pengembangan teknologi perawatan industri skala penuh dan aliran limbah campuran [9]. Membran nano-komposit PSf/GO juga efektif untuk menghilangkan BPA dari air. Membran PSf/GO menunjukkan karakteristik porositas, potensial zeta, dan fluks air murni yang jauh lebih baik dibandingkan dengan membran PSf murni [10]. Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Jiang, Zeng, Biswas, & Fortner (2019), menunjukkan bahwa penambahan komposisi GO diatas 0,5% berat efektif untuk mempengaruhi properti material seperti variasi bentuk, efek dispersi, sifat hidrofilik, dan viskositas pada larutan *casting* membran. Penambahan GO juga mempengaruhi struktur membran (permukaan hidrofilik dan porositas) serta performa membran (permeabilitas, rejeksi dan flux) [11]. Pencampuran 15% berat PSf dan 1% berat GO pada membran memberikan kinerja terbaik dengan fluks kritis 16,5 dan 19 L/m<sup>2</sup> jam untuk mode operasional kontinu dan intermiten. Peran GO dalam meningkatkan ketahanan membran juga ditunjukkan melalui studi TMP jangka panjang. Hal ini menyebabkan terjadinya potensi aplikasi pencampuran membran PSf/GO di dalam sistem pengolahan air limbah [12].

Pencampuran nanopartikel anorganik dalam membran polimer juga sering dilakukan untuk memodifikasi karakteristik membran. Silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi oksida

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), seng oksida (ZnO), zirkonium (ZrO<sub>2</sub>) dan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) adalah contoh nanopartikel anorganik yang sering ditambahkan pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini, nanopartikel seng oksida (ZnO) ditambahkan didalam proses pembuatan membran berbahan dasar polimer *polysulfone* (PSf). Hal ini dilakukan untuk menciptakan karakteristik membran yang lebih baik dibandingkan karakteristik membran modifikasi sebelumnya. Komponen ZnO dipilih karena memiliki *band gap* yang besar (3,37 eV), stabilitas kimia yang baik serta aktivitas antibakteri [13]. Selain itu, ZnO juga dipilih karena memiliki karakteristik struktur dipol-dipol yang baik, luas permukaan aktif yang tinggi dan toksisitas yang rendah [14]. Semikonduktor ZnO memiliki aktivitas fotokatalitik yang sangat baik dan dapat menurunkan polutan di bawah UV dan dalam cahaya hampir tampak [15]. Pada praktiknya, ZnO sering dijadikan pengganti nanopartikel TiO<sub>2</sub> karena memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan TiO<sub>2</sub> dalam degradasi fotokatalitik beberapa pewarna, bahkan dalam larutan air [15]. Menurut Chung et al., (2017), penambahan nanopartikel seng oksida (ZnO) pada membran dapat memudahkan terjadinya proses adsorpsi ion logam (Cu<sup>2+</sup>), mengurangi terjadinya *fouling* karena asam oleat, dan membantu meningkatkan kemampuan rejeksi pada zat pewarna. Penambahan ZnO pada membran juga berperan dalam pemisahan kolagen dan peningkatan kemampuan *self-cleaning* fotokatalisis pada membran. Nanopartikel ZnO terbukti sangat mengurangi hidrofobisitas membran PSf pada konsentrasi 2% berat. Permeabilitas air pada membran PSf meningkat dari 2,14 x 10<sup>11</sup> menjadi 25,45 x 10<sup>11</sup> m s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>. Dalam penyaringan larutan yang mengandung asam oleat, membran PSf yang dicampur dengan 2% berat nanopartikel ZnO menunjukkan penurunan fluks yang lebih sedikit dibandingkan dengan membran PSf tanpa nanopartikel ZnO. Kondensasi pori karena adhesi asam oleat hidrofobik juga berkurang dengan adanya distribusi nanopartikel ZnO pada lapisan membran PSf. Selain itu, membran komposit juga menunjukkan peningkatan stabilitas termal [17].

### 1.3. Luaran

Rencana luaran tahun kedua berupa artikel ilmiah dengan judul:

- Pengolahan Air Limbah Batik Menjadi Air Bersih Menggunakan Membran PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO
- Modifikasi Permukaan Membran PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO Menggunakan PVA Untuk Pengolahan Air Limbah Batik

## Bab 2

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1. Limbah Batik

Industri batik merupakan salah satu jenis industri tekstil yang sedang mengalami perkembangan pesat di Indonesia. Dalam proses produksinya, industri batik menghasilkan limbah cair yang jumlahnya mencapai 80% dari total air keseluruhan yang digunakan dalam proses pembatikan (Watini, 2009). Pada umumnya, industri batik tumbuh dan berkembang dalam skala rumahan (*home industry*), kecil, hingga menengah. Hal ini menyebabkan terjadinya keterbatasan tempat, penguasaan teknologi yang buruk, dan manajemen limbah yang kurang baik. Pada beberapa daerah misalnya, melakukan pembuangan air limbah batik ke dalam *assenering*, saluran air hujan, dan selokan merupakan hal yang wajar untuk dilakukan [18]. Sementara air limbah batik mengandung beberapa senyawa berbahaya seperti zat organik, zat padat tersuspensi, fenol, *chromium* (Cr), minyak lemak dan zat warna (Nurroisah *et al.*, 2014).

Kandungan logam *chromium* (Cr) dapat menyebabkan keracunan akut dan keracunan kronis (Listiana, 2013). Logam *chromium* (Cr) memiliki bilangan oksidasi +2, +3, dan +6, namun umumnya stabil pada bilangan oksidasi +3. Senyawa *chromium* (Cr) pada bilangan oksidasi +6 merupakan oksidan yang kuat dan paling beracun dibandingkan senyawa *chromium* (Cr) yang lainnya (Widowati *et al.*, 2008). Senyawa  $\text{Cr}^{6+}$  memiliki sifat yang susah terurai, tidak mengendap, dan stabil, sedangkan senyawa  $\text{Cr}^{3+}$  memiliki sifat yang susah terlarut pada pH diatas 5 dan mudah dioksidasi. Keberadaan *chromium* (Cr) didalam perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan organisme akuatik (Susanti dan Henry, 2008). Jika dibiarkan menumpuk didalam tubuh organisme akuatik *chromium* (Cr) dapat menyebabkan kematian (Palar, 2008). Sedangkan pada tubuh manusia, *chromium* (Cr) dapat menyebabkan *ulcus* pada hidung dan kulit, *hyper pigmentation* pada kulit, kanker kulit, dan *tubular necrosis* pada ginjal (Purwaningsih, 2008).

Shore (1996) menjelaskan bahwa air limbah industri batik yang berwarna tidak hanya dapat menimbulkan polusi visual, tetapi juga dapat memberi dampak pada kerusakan lingkungan dan kesehatan. Didalam industri batik, pewarna yang umumnya digunakan adalah pewarna sintetik yang dapat menghasilkan warna-warna cerah seperti *indigosol*, *naphthol*, dan *indanthrene* (Casta dan Taruna, 2007). Zat warna yang terkandung didalam air limbah batik umumnya memiliki sifat yang sukar terdegradasi karena mampu menahan kerusakan oksidatif dari cahaya matahari [20]. Sebenarnya, zat warna didalam air limbah batik dapat mengalami dekomposisi alami dengan bantuan cahaya matahari. Namun reaksi dekomposisi tersebut



berlangsung lambat. Hal ini terjadi karena intensitas cahaya *ultraviolet* (UV) yang sampai ke bumi relatif rendah, sehingga kandungan zat warna pada air limbah batik akan terakumulasi pada dasar perairan atau tanah dibandingkan mengalami penguraian [21].

## 2.2. Zat Warna Pada Industri Batik

Zat warna merupakan hasil buangan limbah terbesar yang dihasilkan oleh industri pengolahan batik. Didalam proses pewarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya dibuang sebagai limbah cair. Menurut survei yang dilakukan ETAD (*Ecological and Toxicological Association of the Dyestuff Manufacturing Industry*), hasil tes dari 4000 jenis zat warna menunjukkan bahwa lebih dari 90% zat warna memiliki nilai  $LC_{50}$  diatas  $2 \times 10^3$  mg/kg [22]. Nilai toksisitas tertinggi ditemukan pada bahan pewarna basa dan pewarna azo dengan kandungan gugus  $-N=N-$  yang terikat pada dua gugus lainnya. Menurut Susanto (1973), zat warna yang sering digunakan pada industri batik dapat dibedakan menjadi:

### 1. Zat warna *naphthol*

Zat warna *naphthol* merupakan zat warna tekstil yang dapat digunakan untuk mewarnai kain mori dengan cepat. Zat warna ini memiliki warna yang kuat dan tidak dapat larut dalam air karena mengandung gugus azo. Zat warna *naphthol* dibedakan menjadi dua yakni:

#### a. *Naphthol- $\beta$*

*Naphthol- $\beta$*  merupakan zat warna lama yang memiliki warna terbatas seperti merah. Zat warna ini memiliki ketahanan luntur yang baik, ketahanan *chloride* (Cl) yang baik, dan tidak tahan terhadap gosokan.

#### b. *Naphthol- $\alpha$*

*Naphthol- $\alpha$*  merupakan zat warna baru yang terdiri dari hampir semua jenis warna. Senyawa yang ada didalam zat warna ini memiliki daya serap selulosa yang baik, sehingga proses pengeringan kain mori setelah melakukan pewarnaan tidak perlu dilakukan. Zat warna *naphthol- $\alpha$*  tahan terhadap gosokan dan membutuhkan bantuan garam diazonium untuk membangkitkan warna yang diinginkan.

### 2. Zat warna *indigosol*

Zat warna *indigosol* merupakan zat warna yang memiliki ketahanan luntur yang baik, memiliki warna yang rata dan cerah, serta dapat digunakan menggunakan metode

pencelupan maupun coletan. Warna yang terkandung didalam zat warna ini akan bangkit setelah diberi natrium nitrit dan asam sulfat atau asam florida.

### 3. Zat warna *indanthrene*

Zat warna *indanthrene* merupakan zat warna yang tidak dapat larut dalam air. Zat warna ini memiliki daya serap yang tinggi, sehingga tidak membutuhkan tambahan elektrolit untuk membangkitkan warna.

### 4. Zat warna reaktif

Zat warna reaktif merupakan zat warna yang larut dalam air dan dapat bereaksi dengan serat selulosa. Zat warna ini dapat digunakan menggunakan dua metode yakni metode reaktif dingin dan metode reaktif panas.

## 2.3. Metode Pengolahan Air Limbah Batik

Menurut beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, metode pengolahan limbah industri batik dapat dilakukan menggunakan beberapa cara yang dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Metode Pengolahan Limbah Industri Batik**

No.	Metode	Penelitian yang telah dilakukan
1.	Absorbsi dan adsorbsi Proses penjerapan atau penempelan molekul organik pada bagian absorben.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yu <i>et al.</i> (2013) Bentonit dapat menurunkan kadar <math>\text{Cu}^{2+}</math>, <math>\text{Zn}^{2+}</math>, <math>\text{Ni}^{2+}</math>, dan <math>\text{Co}^{2+}</math> dalam larutan.</li> <li>Putra, D, Puji and Suharyadi (2014) Nanopartikel <math>\text{Fe}_3\text{O}_4</math> dapat menyerap besi dalam pH basa; absorpsi maksimum Fe terjadi pada pH 12 yaitu sebesar 0,03 ppm dan 0,06 ppm dengan waktu pengadukan yang lama.</li> </ul>
2.	Proses oksidasi lanjutan Proses pengurangan molekul organik menggunakan oksidator kuat seperti ozon dan hidrogen peroksida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agustina, Tuty E; Nurisman, Enggal; Prasetyowati; Haryani, Nina; Cundari, Lia; Novisa, Alien; Khristina (2011) Putaran pengaduk 200 rpm dapat menurunkan zat warna Procion Blue MR sebesar 89% dan Procion Red MR sebesar 98%, dalam waktu 30 menit.</li> </ul>
3.	Elektodegradasi Proses degradasi kontinyu menggunakan arus listrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hadi <i>et al.</i> (2013) Kondisi optimum elektroda grafit (C) dari baterai bekas adalah pH 4,</li> </ul>

searah melalui peristiwa elektrolisis, yaitu gejala dekomposisi elektrolit.

kuat arus 1 A dan konsentrasi elektrolit 0,5 M. Aplikasi kondisi ini mampu menurunkan konsentrasi zat warna indigosol golden yellow IRK sebesar 90%. Data GC-MS setelah elektrolisis menunjukkan Indigosol Golden Yellow IRK terdegradasi menjadi senyawa karbon rantai pendek.

4. Elektokoagulasi  
Proses destabilisasi suspense, emulsi dan larutan yang mengandung kontaminan dengan cara mengalikan arus listrik searah (DC).
  - Rahmawati, Suhartana and Gunawan (2009)  
Potensial aplikasi seng bekas sebagai elektroda sebesar 7 volt dengan pH 12 dan waktu elektrolisis selama 20 menit. Pada temperatur kamar, elektrokoagulasi limbah cair batik memberikan penurunan absorbansi sebesar 97,64%, sedangkan penurunan kandungan COD, TSS dan kekeruhan masing-masing adalah 80,38%, 96,38% dan 97,61%.
5. *Phyto treatment*  
Proses pembersihan air atau tanah yang terkontaminasi menggunakan bantuan tumbuhan.
  - Tangahu and Ningsih (2016)  
Scirpus grossus dan Iris pseudacorus dalam reaktor mixed dengan sistem pemaparan intermittent F/D 2:1 mampu menyisihkan COD sebesar 89%, BOD sebesar 97% dan warna sebesar 99%.
6. Fotodegradasi  
Proses peruraian suatu senyawa organik dengan bantuan energi foton atau cahaya.
  - Aditya dan Susanto (2014)  
Lapisan bilayer ZnO/TiO<sub>2</sub> mampu mendegradasi methylene blue sebesar 99,85%, methyl orange 50,86% dan pewarna batik 47,87%.

Metode-metode diatas terus dilakukan dan dikembangkan untuk mengatasi permasalahan limbah yang berasal dari industri batik. Upaya tersebut ditingkatkan dan dikombinasikan untuk menutupi kekurangan yang ada pada setiap metode serta untuk memenuhi baku mutu air limbah yang tertera didalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 yang ditunjukkan pada Tabel 2.

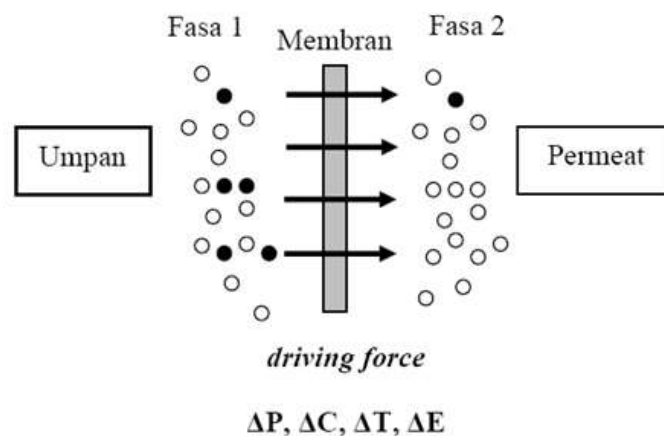
**Tabel 2. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia Nomor 5 Tahun 2014**

Parameter	Kadar paling tinggi (mg/L)	Beban pencemaran paling tinggi (kg/ton)
BOD <sub>5</sub>	60	6,0
COD	150	15

TSS	50	5
Fenol total	0,5	0,05
Krom total (Cr)	1,0	0,1
Ammonia total (NH <sub>3</sub> -N)	8,0	0,8
Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03
Minyak dan lemak	3,0	0,3
pH	6,0-9,0	
Debit limbah paling tinggi	100 m <sup>3</sup> /ton produk tekstil	

## 2.4. Membran

Kata membran diambil dari bahasa Latin *membrana* yang berarti kulit kertas. Menurut Wenten (2000), membran merupakan lapisan tipis yang bersifat selektif dan semipermeabel. Lapisan tipis ini berada diantara dua fasa, yaitu fasa umpan dan fasa permeat (Gambar 1). Fasa umpan atau konsentrat mengandung komponen yang tertahan diatas permukaan membran, sedangkan fasa permeat mengandung komponen yang lolos melalui permukaan membran. Proses pemisahan fasa cair-cair menggunakan membran umumnya didasarkan atas ukuran partikel dan beda muatan dengan gaya dorong (*driving force*) berupa perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ), perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ), perbedaan konsentrasi ( $\Delta C$ ), perbedaaan energi ( $\Delta E$ ), dan medan listrik [29]. Sedangkan untuk mengetahui kinerja atau efisiensi dari sebuah membran, maka beberapa parameter seperti selektivitas dan laju alir (fluks) penting untuk diperhatikan (Mulder, 1996).



**Gambar 1. Proses Pemisahan dengan Membran**

**Sumber: (Mulder, 1996)**

Hingga saat ini, teknologi membran terus mengalami perkembangan karena dapat berfungsi sebagai sarana pemisahan dan juga pemurnian [30]. Selain itu, teknologi membran juga memiliki kelebihan dibandingkan teknologi lainnya seperti:

- Dapat melakukan pemisahan secara kontinu, sehingga konsumsi energi relatif rendah.
- Dapat dikombinasikan menggunakan teknologi pemisahan lainnya.
- Dapat melakukan pemisahan dalam kondisi yang mudah dikontrol.
- Tidak membutuhkan biaya tambahan.
- Dapat diciptakan menggunakan material yang bervariasi, sehingga pemakaiannya mudah diadaptasi.

## Bab 3

### Metodelogi Penelitian

#### 3.1. Rancangan Penelitian

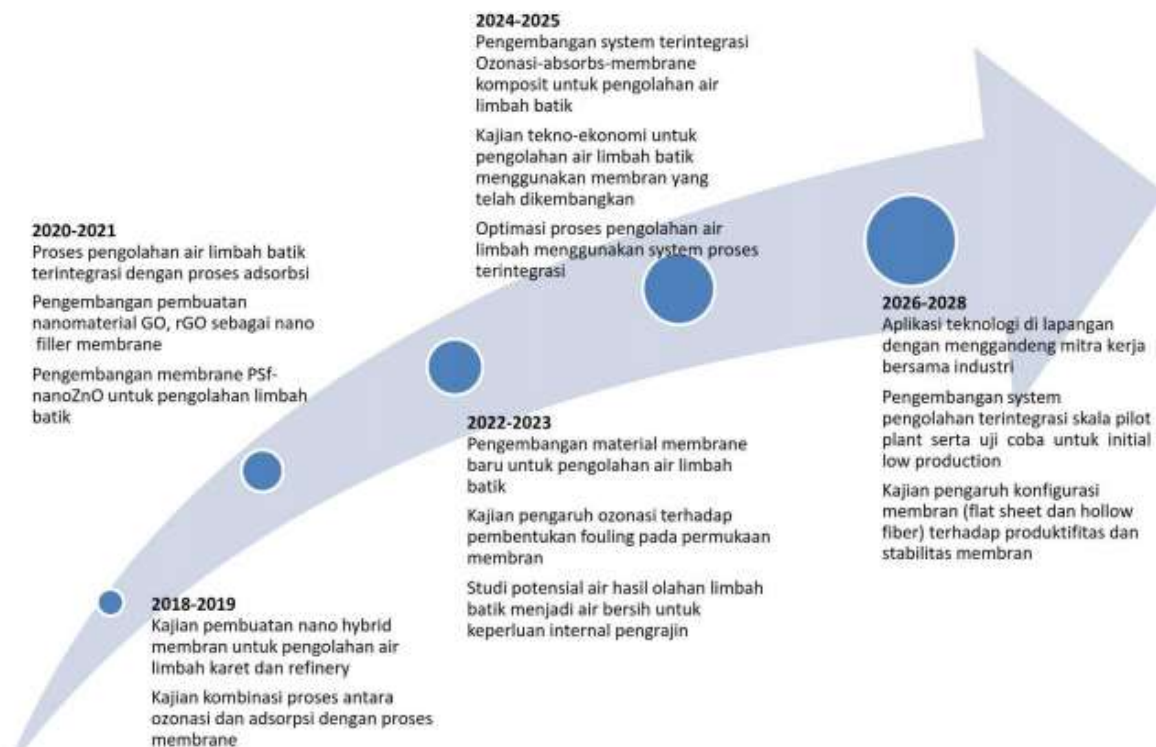


Figure 2.1 Road Map penelitian dari tahun 2018-2028

Pemisahan menggunakan membran telah menjadi teknologi yang diminati karena teknologi ini menawarkan efisiensi konsumsi energi yang tinggi, selain itu teknologi ini bekerja pada

kondisi yang ringan (mild condition). Teknologi membran telah secara luas diterapkan dalam pengolahan air namun masalah yang terjadi adalah rendahnya produktivitas karena terjadi fouling. Dalam penelitian sebelumnya telah dikembangkan material membran selulosa asetat termodifikasi untuk pengolahan air payau. Kemudian pengembangan membran polyethersulfone dengan modifikasi sinar UV dan thermal annealing pada pengolahan air terproduksi menunjukkan pengaruh yang signifikan dimana material membran tersebut menunjukkan kinerja anti fouling yang bagus. Tahun 2015-2016 telah dikembangkan material membran ultra thin hybrid membran untuk pengolahan air terproduksi. Membran yang dibuat berbasis polimer polyethersulfone dengan nano filler berupa nanosilika. Selain itu telah dikembangkan juga nano hybrid membran PES-nanosilica dengan perlakuan perendaman dalam campuran Aceton-Ethanol yang mampu meningkatkan fluks dan menurunkan fouling secara signifikan. Pada awal tahun 2017 hingga 2019 telah dikembangkan membran yang dipadukan dengan zat anorganik berukuran nano (nanomaterial) untuk meningkatkan kinerja membran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nano hybrid membran memberikan kinerja pemisahan dan sifat anti-fouling yang lebih baik dibandingkan dengan membran konvensional. Selain itu, pengembangan membran yang telah dilakukan telah sampai pada tahap penerapan membran pada limbah dengan tekstil (batik) yang mengandung pewarna pekat. Pada penelitian selanjutnya material-material membran yang telah dikembangkan akan dimodifikasi lebih lanjut untuk aplikasi pada pengolahan air limbah yang dihasilkan dari industri batik, dimana kandungan padatan tersuspensi serta kadar zat reaktif yang tinggi menjadi tantangan dalam menerapkan teknologi membran untuk mengolah air limbah batik.

Umumnya, jumlah air limbah yang dihasilkan dari industri tidak bergantung pada jumlah produksi batik karena volume air pencelup telah ditetapkan jumlahnya supaya mendapatkan hasil yang seragam. Air limbah batik ditandai dengan kadar COD dan TSS yang tinggi dan konsentrasi zat warna reaktif serta turunan fenol yang tinggi. Konsentrasi kontaminan ini harus dikurangi hingga batas yang dapat diterima sebelum air limbah dapat dimanfaatkan kembali. Selama beberapa tahun terakhir, beberapa teknik pengolahan air telah dikembangkan untuk mencapai tujuan ini, yang meliputi biodegradasi, adsorpsi, pertukaran ion, pemisahan elektrokimia, flotasi dan oksidasi, bahkan teknologi membran.

Pengolahan air limbah di IPAL umumnya terdiri dari dua tahapan yaitu penghilangan kontaminan (padatan tersuspensi dan koloid) oleh proses fisik dan fisik-kimia, diikuti oleh proses biologis untuk menghilangkan senyawa organik dan nitrogen. Tahap ketiga, biasanya disebut pengolahan tersier, mungkin diperlukan untuk membuat efluen yang cocok untuk pembuangan

atau digunakan kembali sebagai air makeup menara pendingin, air proses, air umpan boiler, maupun air komunal.

Proses pengolahan tersier bervariasi tergantung pada kontaminan yang harus dibuang. Dalam limbah industri batik, klarifikasi, filtrasi, atau pemisahan membran biasanya digunakan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, yang kemudian diikuti oleh satu atau lebih proses penghilangan zat warna dan mineral terlarut, seperti reverse elektrodialisis (EDR), reverse osmosis (RO), atau pertukaran ion (IEX). Namun, sebagian besar proses penghilangan garam terlarut membutuhkan pengurangan maupun penghilangan senyawa organik residual yang ada dalam air limbah, karena ini dapat merusakkan membran dan IEX resin secara ireversibel. Senyawa rekalsitran ini sulit dihilangkan menggunakan pengolahan air limbah konvensional karena kontaminan-kontaminan tersebut tidak dapat terurai secara alami.

Proses filtrasi membran dalam mengolah air limbah telah diketahui mampu menghilangkan sejumlah besar kontaminan berbahaya yang terkandung dalam limbah. Permasalahan yang sering terjadi adalah tingginya fouling pada membran akibat penumpukan senyawa organik pada permukaan membran. Selain itu, kandungan sulfide yang tinggi dalam air limbah mampu mempengaruhi sifat dari membran polimer sehingga kinerja membran menurun. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dalam penelitian ini akan dikembangkan material membran baru dengan material polimer polysulfone dan pengisi nano ZnO, nano TiO<sub>2</sub>, graphene oksida, dan reduced graphene oxide. Nano ZnO telah dikenal sebagai material yang sering ditambahkan ke dalam matriks membran polimer karena mampu menekan terjadinya fouling. Sedangkan nano TiO<sub>2</sub> dan GO merupakan partikel yang bersifat fotokatalitik sehingga diharapkan mampu menguraikan bahan organik yang menempel pada permukaan membran. Di samping itu, sistem pengolahan dengan membran ini diintegrasikan dengan proses ozonasi dan adsorpsi sebagai perlakuan awal (pre-treatment) pada air limbah sebelum diumpankan ke modul membran. Ozonasi pada air limbah dimaksudkan untuk menguraikan bahan organik dalam limbah sehingga tidak menimbulkan fouling. Selain itu ozonasi akan mengoksidasi senyawa sulfide R-S menjadi senyawa SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Proses adsorpsi menggunakan adsorben yang mampu mengikat ion-ion yang terbentuk pasca ozonasi. Dengan konsep seperti ini diharapkan sistem pengolahan membran terintegrasi ini mampu mengolah air limbah batik yang memiliki polutan organik tinggi secara kontinyu tanpa terjadi penurunan produktivitas secara signifikan, selain itu usia pakai membran juga menjadi lebih lama dan proses menjadi lebih ekonomis.

### **3.2. Inovasi Penelitian**

Secara keseluruhan penelitian ini difokuskan untuk mengembangkan sistem pengolahan baru yang terintegrasi dalam mengolah air limbah batik. Kebaruan dan keunggulan dari sistem yang dikembangkan ini antara lain:

- a. Material membran baru yang tahan terhadap fouling yang disebabkan senyawa zat warna reaktif dan lilin batik.
- b. Air limbah yang diproses menggunakan sistem pengolahan pada penelitian ini akan menjadi air bersih yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai air pencuci/pencelup dan air sanitasi.
- c. Suatu sistem pengolahan berbasis penyaringan menggunakan membran yang memiliki usia pakai yang lebih lama karena fouling pada membran yang bersifat irreversibel dapat dikurangi.
- d. Pengembangan teknologi tepat guna untuk pengolahan air limbah batik secara kontinyu dengan kapasitas produksi 10 liter/jam.

Untuk mendapatkan pemahaman karakteristik proses yang fundamental dan komprehensif, penelitian ini akan difokuskan pada lima parameter kunci baik yang sangat mempengaruhi dalam membuat desain dan uji kelayakan teknologi hasil temuan yaitu:

- a. Pemilihan material organik dan inorganik yang sesuai.
- b. Metode pembuatan membran yang akan menghasilkan membran komposit yang sesuai.
- c. Proses pre-treatment pada pembuatan membran dengan metode ultra violet maupun penambahan aditif.
- d. Konfigurasi sistem pengolahan air limbah menggunakan membran yang memiliki efektifitas dan efisiensi tinggi dalam penggunaan energi.

### **3.3. Rencana Pertahapan Penelitian**

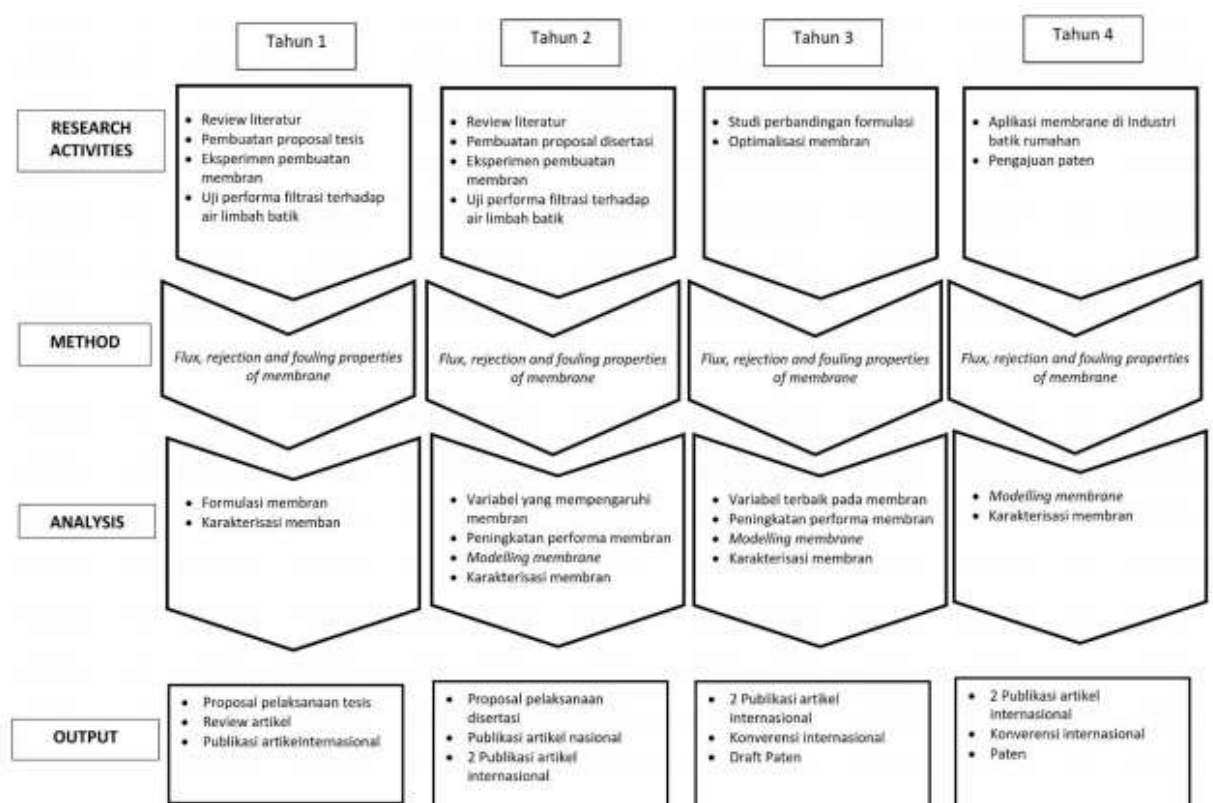
Untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif dan fundamental, dalam penelitian ini akan dilakukan studi yang mencakup kegiatan selama 4 tahun dengan rancangan sebagai berikut:

- Tahun pertama penelitian difokuskan pada kajian aspek-aspek: pemilihan material yang sesuai untuk pengolahan air limbah batik baik dari organik dan inorganik. Pengembangan metode pembuatan dan karakterisasi material nano yang akan digunakan pada pembuatan



nano hybrid membrane. Pemakaian beberapa aditif yang sesuai untuk membuat membran dengan tingkat fluks dan rejeksi yang tinggi.

- Tahun kedua penelitian akan difokuskan pada aspek: pembuatan dan karakterisasi membran dengan melibatkan material nano yang telah dibuat pada tahun pertama (GO, rGO, TiO<sub>2</sub>, dan ZnO) pada suatu matrik polimer polisulfon. uji kinerja membran nano hybrid dalam mengolah air limbah industri batik. Hal-hal yang dievaluasi adalah antara lain fluks, rejeksi, sifat anti-fouling membran yang dilakukan dengan cara autopsy fouling dan uji stabilitas membran.
- Tahun ketiga penelitian berfokus pada aspek: optimasi kondisi operasi membran menggunakan metode statistik seperti response surface methodology, central composite design, dan pembuatan model pemisahan menggunakan membran.
- Tahun keempat penelitian berfokus pada aspek: studi kelayakan tekno-ekonomi dari proses integrasi membran yang telah dilakukan pada studi tahun sebelumnya yang selanjutnya diikuti dengan aplikasi teknologi secara langsung di Industri. Pada tahap ini akan dihasilkan paten proses serta uji coba untuk low initial production terhadap paket teknologi yang telah dikembangkan.



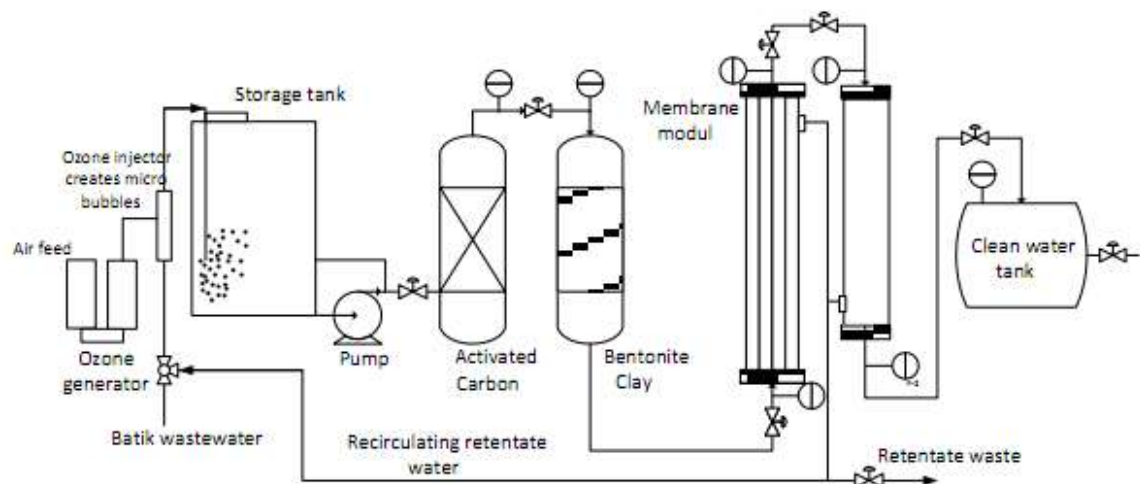
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian yang akan dilaksanakan

### 3.4. Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan dalam kurun waktu 4 tahun yaitu tahun 2020 dan 2023 dengan waktu efektif selama 11 bulan untuk masing-masing tahun berjalan mulai bulan Januari sampai Desember.

### 3.5. Alat yang digunakan

- Tangki umpan
- Pompa umpan
- Alat pengukur tekanan
- Seperangkat alat filtrasi membran
- pH meter
- Sand filter
- Ultra violet
- Ozone generator
- Kolom adsorpsi
- Motor listrik
- Mesin casting



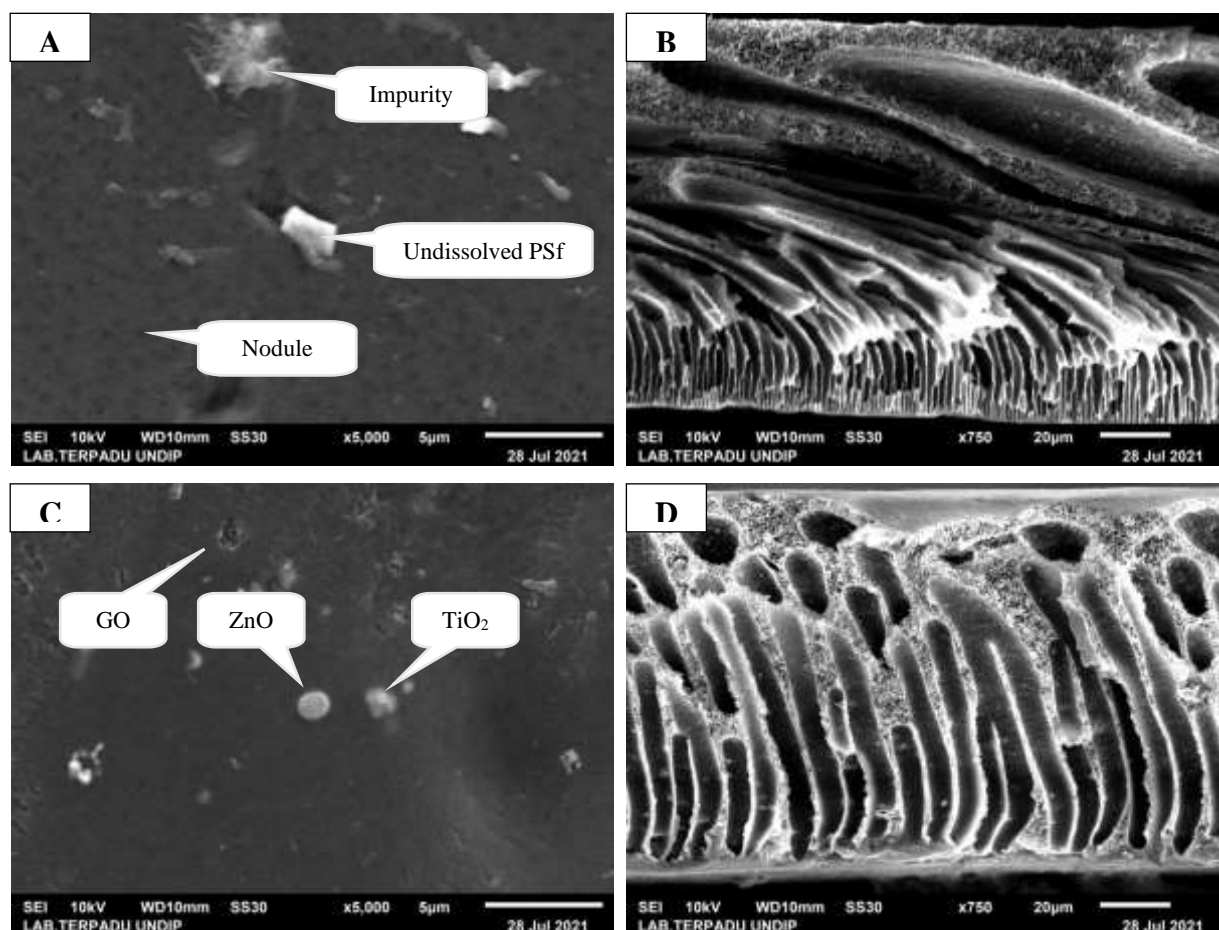
Gambar 3.1. Skema proses terintegrasi menggunakan membran untuk pengolahan air limbah batik

## Bab 4

### Hasil dan Diskusi

#### 4.1 Karakterisasi morfologi pada membran fabrikasi

Kami telah melakukan uji SEM untuk mengetahui morfologi permukaan dan penampang membran. Pada percobaan kami, uji SEM permukaan membran dilakukan pada perbesaran 5000x. Sedangkan uji penampang membran dilakukan pada perbesaran 750x. Uji ini juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana distribusi nanopartikel pada permukaan membran. Hal ini dinilai penting untuk memastikan distribusi nanopartikel didalam membran. Hasil karakterisasi membran menggunakan uji SEM pada percobaan kami disajikan pada **Gambar 4.1 (a)-(d)**.



**Gambar 4.1.** (a) dan (c) adalah gambar SEM permukaan membran PSf neat dan PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO terbaik. Sementara **Gambar 4.1.** (b) dan (d) adalah gambar SEM penampang membran PSf neat dan PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO terbaik.

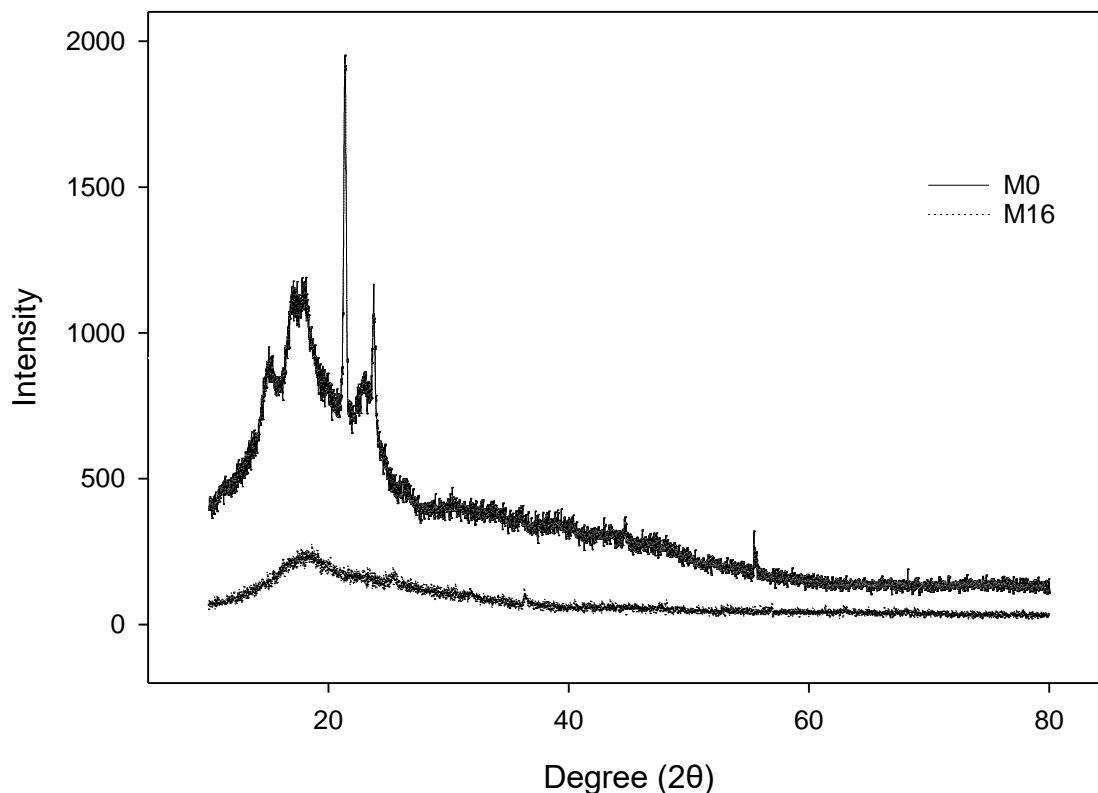
**Gambar 4.1.** (a) pada percobaan kami menunjukkan bahwa permukaan membran PSf neat (M0) memiliki lubang yang lebih kecil dan lebih banyak dibandingkan membran PSf-

TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO (M16). Titik-titik berwarna hitam pada permukaan membran M0 disinyalir sebagai polimer PSf yang membentuk benjolan pada permukaan membran. Benjolan ini terjadi karena polimer tidak mengalami koagulasi secara bersamaan saat proses inversi fasa terjadi. Sementara komponen berwarna putih berbentuk tabung yang tertangkap pada perbesaran SEM 5000x disinyalir sebagai polimer yang belum tercampur secara homogen didalam pelarut NMP. Sedangkan komponen berwarna putih lainnya merupakan pengotor yang terdapat di permukaan membran kami. Pada permukaan membran M16 terlihat gumpalan kecil berwarna putih yang diprediksi sebagai nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Sementara gumpalan berwarna hitam merupakan nanopartikel GO.

Selanjutnya gambar penampang membran PSf neat (M0) dan PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO (M16) ditunjukkan pada **Gambar 4.1. (b)** dan **(d)**. Pada perbesaran yang sama, terlihat bahwa membran M16 memiliki struktur rongga makro yang lebih besar dibandingkan dengan membran M0. Hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO berhasil berikatan dengan baik didalam matriks membran PSf. **Gambar 4.1. (d)** juga menunjukkan bahwa struktur pori membran M16 lebih rapi dibandingkan membran M0. Fenomena ini dianggap baik karena dapat meningkatkan permeabilitas dan selektivitas membran. Selain itu, dari gambar diatas diketahui bahwa kedua membran memiliki struktur yang asimetris. Hal ini ditunjukkan dari penampakan membran yang memiliki lapisan kulit padat, jari-jari pada bagian atas permukaan membran dan lapisan berpori pada bagian bawah [31].

#### 4.2 Studi X-ray diffraction (XRD) pada membran fabrikasi

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui karakteristik struktural atau kristalinitas polimer pada penelitian kami. Selain itu, analisa ini dilakukan juga untuk mengetahui tingkat keberhasilan pencampuran nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO pada matriks membran PSf. Hasil dari uji XRD ditunjukkan pada **Gambar 4.2** berikut.



**Gambar 4.2.** Hasil uji XRD membran M0 dan M16.

Membran M0 pada **Gambar 4.2.** menunjukkan puncak karakteristik berada pada titik  $15,27^\circ$ ,  $18,21^\circ$ ,  $21,35^\circ$ ,  $23,75^\circ$  dan  $55,43^\circ$ . Sementara membran M16 hanya menunjukkan satu puncak karakteristik yakni pada titik  $18^\circ$ . Walau begitu, **Gambar 4.2.** menunjukkan bahwa kedua membran memiliki luas puncak yang lebar (diantara  $13,94^\circ$ - $24,5^\circ$ ). Hal ini mengidentifikasi bahwa membran memiliki struktur yang amorf [32]. Struktur membran amorf dapat menyebabkan nanopartikel lebih bebas tersebar didalam ruang kosong membran, sehingga puncak karakteristik membran M16 lebih rendah dibandingkan membran M0 [33]. Selain itu, penurunan puncak karakteristik membran M16 juga mungkin terjadi karena terdapat pengurangan rantai dalam struktur membran karena ikatan yang terjadi antara nanopartikel dan matriks membran PSf [34].

**Gambar 4.2** menunjukkan hasil analisa XRD untuk membran PSf neat (M0) dan membran PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO terbaik (M16). Puncak difraksi membran M16 dibandingkan dengan membran M0 dan diketahui bahwa membran M16 memiliki pola yang berbeda dengan M0. Dari **Gambar 4.2** diketahui bahwa membran M0 menunjukkan karakteristik difraksi yang lebih beragam dibandingkan membran M16. Hal ini mungkin terjadi karena interaksi polimer PSf dengan nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO yang berasal dari

pencampuran matriks dan pembentukan struktur yang seragam [35], [36]. Selain itu, kemungkinan membran M16 menunjukkan puncak yang lebih datar dibandingkan membran M0 karena nanopartikel dapat menyebar secara seragam dalam matriks polimer, sehingga stabilitas mekanik membran meningkat [37].

#### 4.3 Porositas dan ukuran pori pada membran fabrikasi

**Tabel 4.1.** Nilai porositas dan diameter pori membran

Membran	Porositas (%)	Diameter rata-rata pori (nm)
M0 (PSf murni)	65,385	22,301
M3 (PSf-TiO <sub>2</sub> 2%)	78,261	26,446
M6 (PSf-ZnO 2%)	77,083	23,159
M8 (PSf-GO 1%)	80,851	29,603
M10 (PSf-TiO <sub>2</sub> terbaik/ZnO 0,5%)	82,812	37,527
M13 (PSf-TiO <sub>2</sub> terbaik/GO 0,5%)	82,222	30,068
M16 (PSf-TiO <sub>2</sub> /ZnO/GO terbaik)	83,077	42,699

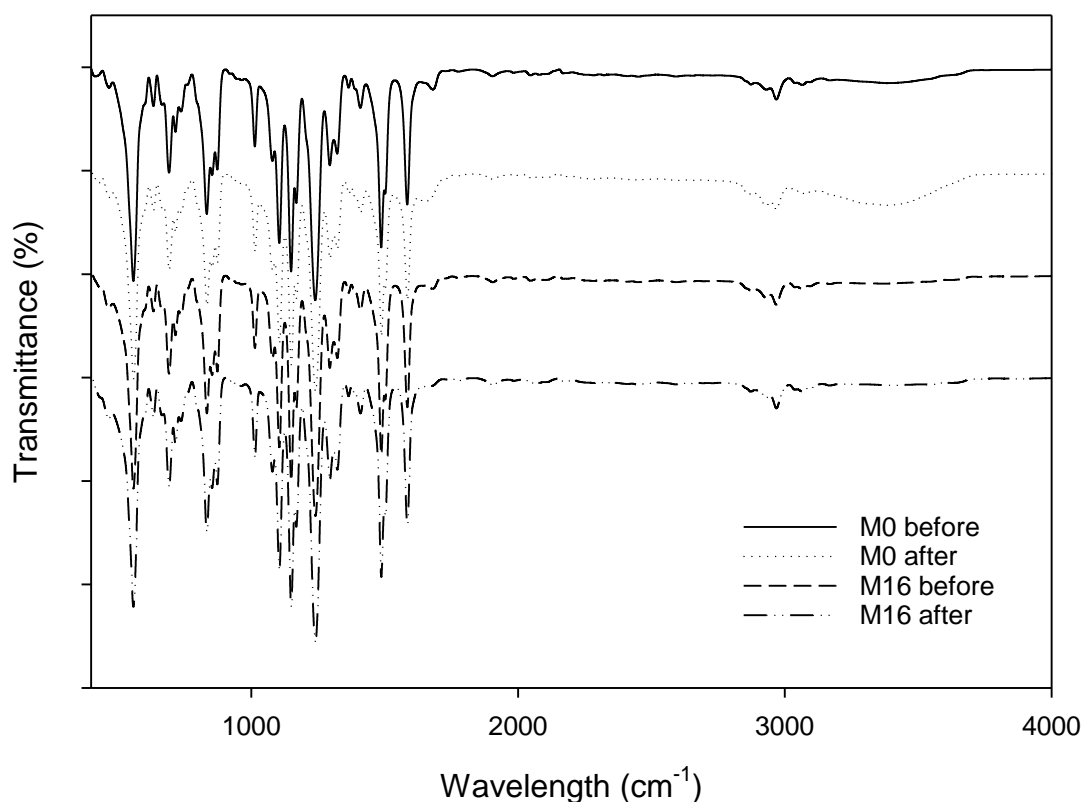
Porositas membran dapat didefinisikan sebagai besarnya volume rongga yang ada didalam membran [38]. Umumnya, porositas didefinisikan dalam bentuk rumus volume pori dibagi dengan volume total yang tersedia pada membran [38]. Membran yang memiliki porositas lebih tinggi artinya memiliki jumlah ruang hampa yang lebih banyak, dan sebaliknya. Dari hasil analisa diketahui bahwa nilai porositas membran fabrikasi meningkat dengan penambahan nanopartikel. Porositas membran yang diukur masing-masing adalah 65,385% untuk PSf murni, 78,261% untuk PSf-TiO<sub>2</sub> 2%, 77,083% untuk PSf-ZnO 2%, 80,851% untuk PSf-GO 1%, 82,812% untuk PSf-TiO<sub>2</sub> terbaik/ZnO 0,5%, 82,222% untuk PSf-TiO<sub>2</sub> terbaik/GO 0,5%, dan 83,077% untuk PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO terbaik. Hasil analisa porositas menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel dapat meningkatkan porositas membran fabrikasi karena nanopartikel dapat membentuk celah diantara bagian polimer dalam larutan dope, sehingga saat proses inversi fasa terjadi, terbentuk ruang kosong pada membran [39]. Semakin banyak ruang kosong pada membran menyebabkan porositas membran dan fluks membran meningkat [40].

Diameter pori rata-rata membran fabrikasi dihitung menggunakan persamaan Guerout-Elford-Ferry. Diameter pori rata-rata membran masing-masing adalah 22,301 nm untuk PSf

murni, 26,246 nm untuk PSf-TiO<sub>2</sub> 2%, 23,335 nm untuk PSf-ZnO 2%, 29,603 nm untuk PSf-GO 1%, 37,527 nm untuk PSf-TiO<sub>2</sub> terbaik/ZnO 0,5%, 30,068 nm untuk PSf-TiO<sub>2</sub> terbaik/GO 0,5%, dan 42,699 nm untuk PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO terbaik. Dari perhitungan diameter pori rata-rata membran diketahui bahwa seluruh membran fabrikasi termasuk ke dalam kriteria membran ultrafiltrasi dengan ukuran pori-pori 10-100 nm [41]. Membran PSf murni memiliki diameter pori rata-rata terkecil. Fenomena ini membuktikan bahwa penambahan nanopartikel dalam matriks membran dapat meningkatkan ukuran diameter pori rata-rata membran [42]–[44].

#### 4.4 Spectrum FTIR pada membran fabrikasi

Uji karakterisasi membran menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional yang terdapat pada membran. Uji dilakukan pada membran sebelum dan sesudah dilakukan uji filtrasi. Fungsinya untuk mengetahui gugus fungsional yang ada pada saat membran mengalami fouling. Hasil spectrum membran diperlihatkan pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3.** Grafik FTIR

Berdasarkan **Gambar 4.3** diketahui bahwa tidak ada perubahan yang signifikan antara membran PSf neat dan PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO terbaik sebelum uji filtrasi dan sesudah uji filtrasi. Hal ini menunjukkan bahwa komponen fouling yang terdapat pada permukaan membran tidak berikatan baik dengan komponen membran. Kemungkinan fouling yang terjadi pada uji filtrasi merupakan fouling reversible atau yang bersifat sementara [45]. Fouling jenis ini bisa diatasi dengan metode backwashing, pencucian permukaan maupun pencucian menggunakan bahan kimia [46]. Adapun efektivitas backwashing dipengaruhi dari interval waktu, dimana semakin sering dan semakin lama backwashing dilakukan harus dihindari karena dapat mengurangi umur kerja membran.

Dari uji FTIR terlihat bahwa pada panjang gelombang 1150 cm<sup>-1</sup> terdapat peak khas dari peregangan O=S=O [47]. Sementara pada panjang gelombang 1240 cm<sup>-1</sup> dan 1585 cm<sup>-1</sup> terdapat peak khas dari peregangan C-OH dan C-C aromatik [11]. Ketiga peak ini kemungkinan berasal dari polimer polisulfon (PSf) yang digunakan pada proses pembuatan membran fabrikasi. Selain itu, kandungan NMP pelarut terlihat pada panjang gelombang 1600-1400 cm<sup>-1</sup> (peregangan cincin C=C aromatik) dan 853-692 cm<sup>-1</sup> (C-H out of plane bend) [48].

Pada percobaan kami, nanopartikel GO dinilai dapat berikatan dengan baik pada matriks membran PSf. Hal ini ditunjukkan dengan kemunculan peak khas pada panjang gelombang 1584 cm<sup>-1</sup> (peregangan C=C). Selain itu, nanopartikel TiO<sub>2</sub> juga dinilai berhasil membentuk ikatan dengan GO pada M16 karena munculnya gugus kelompok –COOH [49].

#### 4.5 Hidrofilitas membran fabrikasi

Hidrofilitas membran adalah parameter yang menunjukkan kemampuan membran untuk menyerap partikel air. Nilai dari hidrofilitas membran ini dapat dihitung menggunakan analisa sudut kontak [50]. Semakin kecil nilai sudut kontak maka membran memiliki hidrofilitas yang semakin tinggi [50]. Artinya, kemampuan membran dalam menyerap air semakin baik.

Pada penelitian kami, kami melakukan analisa sudut kontak karena parameter ini mempengaruhi kemampuan rejeksi dan jumlah fluks membran. Selain itu, analisa sudut kontak juga erat kaitannya dengan kemampuan anti-fouling membran [51]. Dimana semakin tinggi nilai sudut kontak maka kemampuan anti-fouling membran akan semakin



baik karena penyumbatan foulant dapat diminimalisir permukaan membran yang lebih mudah menyerap air [52].

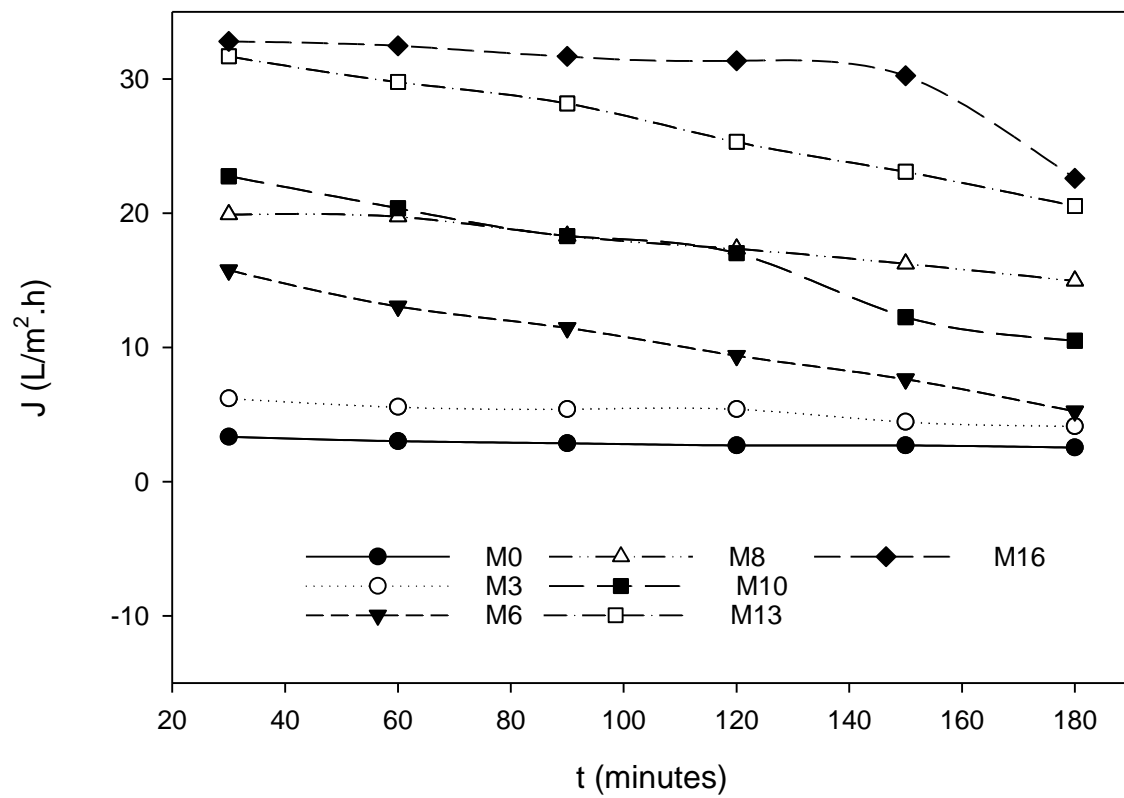
**Tabel 4.2.** Hasil analisa uji sudut kontak

No.	Kode sampel	$\theta$ kiri ( $^{\circ}$ )	$\theta$ kanan ( $^{\circ}$ )	Rata-rata ( $^{\circ}$ )
1	M0	75,5	76	<b>75,5</b>
		72,5	75	
		70,5	68,5	
2	M16	59,5	62,5	<b>62,5</b>
		57,5	58,5	
		60	62	

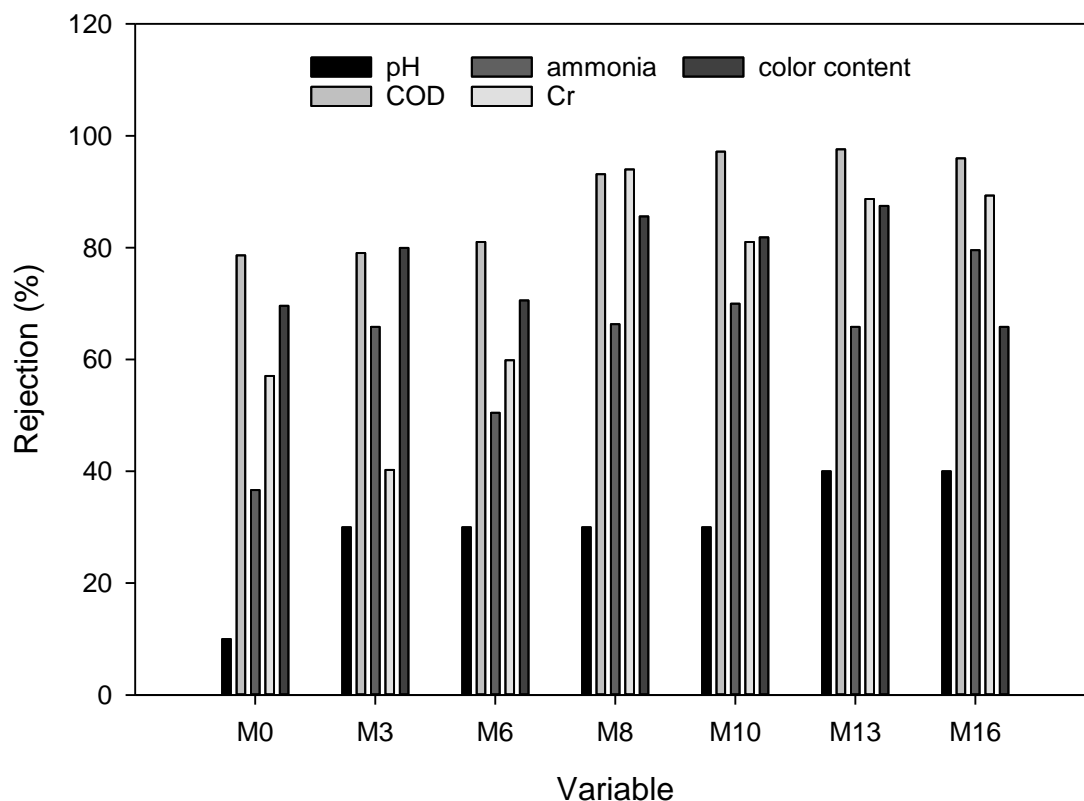
**Tabel 4.2** menunjukkan bahwa nilai sudut kontak M16 sebesar  $62,5^{\circ}$ . Sementara nilai sudut kontak M0 sebesar  $75,5^{\circ}$ . Hal ini menunjukkan bahwa nilai sudut kontak membran M16 lebih rendah jika dibandingkan dengan membran M0. Penurunan ini menunjukkan bahwa modifikasi membran menggunakan nanopartikel  $\text{TiO}_2$ , ZnO dan GO berhasil meningkatkan kemampuan hidrofilitas membran fabrikasi. Sementara itu, membran PSf neat (M0) memiliki nilai sudut kontak yang lebih tinggi karena kerapatan pori membran tersebut lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan uji porositas yang dilakukan pada penelitian kami. Dimana peningkatan porositas membran dapat mempengaruhi daya serap membran terhadap partikel air (kemampuan hidrofilitas membran) [53].

#### 4.6 Evaluasi fluks dan rejeksi membran fabrikasi

Kinerja membran dapat dilihat dengan melakukan uji filtrasi. Membran yang baik akan memiliki jumlah fluks yang besar dan nilai rejeksi yang tinggi [54]. Semakin besar jumlah fluks pada membran menunjukkan bahwa membran memiliki sifat hidrofilik [54]. Sementara nilai rejeksi membran yang tinggi menunjukkan bahwa membran memiliki kemampuan pemisahan yang baik [54]. **Gambar 4.4. (a)** menunjukkan profil fluks membran fabrikasi. Sedangkan **Gambar 4.4. (b)** menunjukkan profil rejeksi membran fabrikasi.



**Gambar 4.4. (a)** Profil fluks membran fabrikasi komposisi terbaik



**Gambar 4.4. (b)** Profil rejeksi membran fabrikasi komposisi terbaik

Berdasarkan **Gambar 4.4. (a)** diketahui bahwa bahwa nilai fluks rata-rata tertinggi didapatkan oleh membran PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO dengan nilai fluks mula-mula sebesar 32,856 L/m<sup>2</sup>.jam dan terus mengalami penurunan hingga 22,558 L/m<sup>2</sup>.jam. Nilai fluks rata-rata ini meningkat jauh jika dibandingkan dengan membran PSf murni. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO didalam matriks membran PSf berlangsung dengan baik sehingga dapat memperbaiki hidrofilitas membran [55]. Ketersediaan situs hidrofilik berbanding lurus dengan kemampuan membran dalam menyerap air [56]. Namun fenomena penurunan nilai fluks pada tiap siklus terjadi karena secara alamiah permukaan membran PSf bersifat hidrofobik [55], [57].

Dari percobaan kami, dapat dilihat bahwa modifikasi membran PSf-GO memiliki nilai fluks rata-rata tertinggi dibandingkan membran PSf-ZnO dan membran PSf-TiO<sub>2</sub>. Fenomena ini terjadi karena GO mengandung gugus fungsi oksigen hidrofilik yang lebih melimpah seperti hidroksil, epoksi dan kelompok karboksil. Saat proses fabrikasi, gugus fungsi hidrofilik ini dapat memfasilitasi terbentuknya ikatan hidrogen yang kuat dengan molekul air sehingga interaksi hidrofilitas membran PSf-GO lebih baik dibandingkan PSf-ZnO dan PSf-TiO<sub>2</sub> [58]. Namun penurunan nilai fluks rata-rata membran PSf-TiO<sub>2</sub> dinilai

lebih stabil karena terbentuknya jaringan Ti-O-Ti bebas cacat pada proses pembentukan nanopartikel TiO<sub>2</sub>. Pembentukan jaringan Ti-O-Ti bebas cacat ini terjadi karena keberadaan spesies hidroksil pada air suling yang berperan sebagai pelarut dalam proses pembentukan nanopartikel TiO<sub>2</sub> [59]. Proses ini berlangsung ketika ikatan TiO<sub>2</sub> melemah karena kekurangan oksigen sehingga jaringan Ti-O-Ti akan terputus dan digantikan jaringan Ti-O-Ti yang baru [59]. Selain itu pada penelitian kami diketahui bahwa penggabungan nanopartikel TiO<sub>2</sub>/ZnO tidak sebaik penggabungan nanopartikel TiO<sub>2</sub>/GO karena penurunan fluks rata-rata yang kurang stabil.

Kami telah menguji beberapa parameter polutan yang terkandung didalam air limbah batik original dan hasil keluaran membran fabrikasi (permeat) seperti pH, COD, ammonia, logam Cr, dan kadar warna. Parameter ini dipilih untuk menyesuaikan baku mutu yang ada didalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Hasil uji kami menunjukkan bahwa rejeksi membran terhadap parameter tersebut mengalami peningkatan secara keseluruhan. Secara umum hal ini terjadi karena nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO memiliki kecenderungan untuk menciptakan gaya elektrostatis yang dapat membentuk muatan tertentu pada permukaan membran [60]. Fenomena ini disebut juga dengan efek pengecualian Gibbs-Donnan [61]. Efek pengecualian Gibbs-Donnan menjelaskan bahwa polimer semipermeabel yang memiliki muatan elektrostatis dapat menolak ion serupa didalam larutan dan menyerap ion berbeda muatan [62]. **Gambar 4.4. (b)** menunjukkan bahwa rejeksi pH mengalami peningkatan sebesar 66,67-75%, sementara rejeksi COD, ammonia, logam Cr, dan kadar warna masing-masing mengalami peningkatan sebesar 0,51-19,42%, 44,38-53,97%, 4,69-39,28%, dan 1,36-20,45%. Nilai peningkatan COD pada percobaan kami dapat membuktikan bahwa pengolahan air limbah pewarna menggunakan metode membran lebih efektif dibandingkan metode elektrokimia [63].

## **Bab 5**

### **Kesimpulan**

Penggabungan nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO kedalam matriks membran PSf dapat meningkatkan kinerja membran secara keseluruhan. Masing-masing dari nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO memiliki properti hidrofilik yang dapat meningkatkan kemampuan membran dalam menyerap molekul air. Modifikasi membran PSf menggunakan nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan GO juga dapat mempengaruhi morfologi membran. Hal ini berpengaruh erat pada peningkatan nilai rejeksi membran pada penelitian ini. Nilai fluks permeat terbaik diperoleh membran PSf-TiO<sub>2</sub>/ZnO/GO dengan nilai fluks rata-rata mula-mula sebesar 32,856 L/m<sup>2</sup>.jam dan terus mengalami penurunan menjadi 22,558 L/m<sup>2</sup>.jam. Sementara rejeksi pH, COD, ammonia, logam Cr, dan kadar warna pada membran ini masing-masing adalah 40%, 95,97%, 79,56%, 89,31%, dan 65,84%.

## REFERENCES

- [1] M. A. A. Hassan, T. P. Li, and Z. Z. Noor, “Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry Using Chitosan,” *J. Chem. Nat. Resour. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 43–53, 2009.
- [2] R. Khelifi *et al.*, “Decolourization and detoxification of textile industry wastewater by the laccase-mediator system,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 175, no. 1–3, pp. 802–808, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.10.079.
- [3] S. R. Panda and S. De, “Performance evaluation of two stage nanofiltration for treatment of textile effluent containing reactive dyes,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 1678–1690, 2015, doi: 10.1016/j.jece.2015.06.004.
- [4] J. M. Gozálvarez-Zafrilla, D. Sanz-Escribano, J. Lora-García, and M. C. León Hidalgo, “Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry,” *Desalination*, vol. 222, no. 1–3, pp. 272–279, 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.01.173.
- [5] C. N. Lopes, J. C. C. Petrus, and H. G. Riella, “Color and COD retention by nanofiltration membranes,” *Desalination*, vol. 172, no. 1, pp. 77–83, 2005, doi: 10.1016/j.desal.2004.07.030.
- [6] Y. Gao, B. Li, L. Zhong, L. Zhang, and Z. Ding, “Effect of nano-amphiphilic cellulose as a modifier to PSf composite membranes,” *Vacuum*, vol. 107, pp. 199–203, 2014, doi: 10.1016/j.vacuum.2014.01.029.
- [7] M. K. Sinha and M. K. Purkait, “Preparation of fouling resistant PSF flat sheet UF membrane using amphiphilic polyurethane macromolecules,” *Desalination*, vol. 355, pp. 155–168, 2015, doi: 10.1016/j.desal.2014.10.017.
- [8] A. Razmjou, J. Mansouri, and V. Chen, “The effects of mechanical and chemical modification of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the surface chemistry, structure and fouling performance of PES ultrafiltration membranes,” *J. Memb. Sci.*, vol. 378, no. 1–2, pp. 73–84, 2011, doi: 10.1016/j.memsci.2010.10.019.
- [9] H. Ravishankar, S. Moazzem, and V. Jegatheesan, “Performance evaluation of A2O MBR system with graphene oxide (GO) blended polysulfone (PSf) composite membrane for treatment of high strength synthetic wastewater containing lead,” *Chemosphere*, vol. 234, pp. 148–161, 2019, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.264.

- [10] S. Nasser, S. Ebrahimi, M. Abtahi, and R. Saeedi, "Synthesis and characterization of polysulfone/graphene oxide nano-composite membranes for removal of bisphenol A from water," *J. Environ. Manage.*, vol. 205, pp. 174–182, 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.09.074.
- [11] Y. Jiang, Q. Zeng, P. Biswas, and J. D. Fortner, "Graphene oxides as nanofillers in polysulfone ultrafiltration membranes: Shape matters," *J. Memb. Sci.*, vol. 581, no. March, pp. 453–461, 2019, doi: 10.1016/j.memsci.2019.03.056.
- [12] H. Ravishankar, F. Roddick, D. Navaratna, and V. Jegatheesan, "Preparation, characterisation and critical flux determination of graphene oxide blended polysulfone (PSf) membranes in an MBR system," *J. Environ. Manage.*, vol. 213, pp. 168–179, 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.063.
- [13] R. Rajakumaran, V. Boddu, M. Kumar, M. S. Shalaby, H. Abdallah, and R. Chetty, "Effect of ZnO morphology on GO-ZnO modified polyamide reverse osmosis membranes for desalination," *Desalination*, vol. 467, no. January, pp. 245–256, 2019, doi: 10.1016/j.desal.2019.06.018.
- [14] M. Sheikh *et al.*, "Application of ZnO nanostructures in ceramic and polymeric membranes for water and wastewater technologies: A review," *Chem. Eng. J.*, no. August, p. 123475, 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.123475.
- [15] C. Hariharan, "Photocatalytic degradation of organic contaminants in water by ZnO nanoparticles: Revisited," *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 304, no. 1–2, pp. 55–61, 2006, doi: 10.1016/j.apcata.2006.02.020.
- [16] Y. T. Chung, E. Mahmoudi, A. W. Mohammad, A. Benamor, D. Johnson, and N. Hilal, "Development of polysulfone-nanohybrid membranes using ZnO-GO composite for enhanced antifouling and antibacterial control," *Desalination*, vol. 402, pp. 123–132, 2017, doi: 10.1016/j.desal.2016.09.030.
- [17] C. P. Leo, W. P. Cathie Lee, A. L. Ahmad, and A. W. Mohammad, "Polysulfone membranes blended with ZnO nanoparticles for reducing fouling by oleic acid," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 89, pp. 51–56, 2012, doi: 10.1016/j.seppur.2012.01.002.
- [18] Sumarni, "Adsorpsi Zat Warna Dan Zat Padat Tersuspensi Dalam Limbah Cair Batik," *Semin. Nas. Apl. Sains dan Teknol. Periode III*, no. November, pp. 263–269, 2012.

- [19] J. Shore, "Advances in direct dyes," *Indian J. Fibre Text. Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–29, 1996.
- [20] R. Manurung, R. Hasibuan, and Irvan, "Perombakan Zat Warna Azo Secara Anaerob dan Aerob," *Skripsi*, pp. 1–19, 2004.
- [21] A. Al-Kdasi, A. Idris, K. Saed, and C. T. Guan, "Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes– A review," *Glob. Nest J.*, vol. 6, no. 1, pp. 222–230, 2004.
- [22] E. L. Enfoque *et al.*, "No Title'거대한 잠재력' 인도.아세안 본격 공략 시동," *Int. Inst. Environ. Dev.*, vol. 07/80, no. 2, p. 125, 2010, [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1707.06526.pdf> <https://www.yrpri.org> <http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000> <https://www.fordfoundation.org/> [http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Republica\\_Dominicana/ccp/20120731051903/prep](http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Republica_Dominicana/ccp/20120731051903/prep) <http://webpc.cia>.
- [23] S. M. Yu *et al.*, "THE REMOVAL OF HEAVY METAL IONS (Copper, Zinc, Nickel and Cobalt) BY NATURAL BENTONITE," *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 26, no. 1, pp. 288–294, 2013, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.091> <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2013.10.006> <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/146>.
- [24] E. Putra, D. F. Puji, and E. Suharyadi, "Studi Penurunan Kadar Logam Besi ( Fe ) pada Limbah Batik dengan Sistem Purifikasi Menggunakan Absorben Nanopartikel Magnetic," *Jur. Fis. Fak. MIPA, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta, Indones. Sekip Utara PO BOX BLS.21 Yogyakarta 55281, Indones.*, no. April, pp. 250–252, 2014.
- [25] O. Agustina, Tuty E; Nurisman, Enggal; Prasetyowati; Haryani, Nina; Cundari, Lia; Novisa, Alien; Khristina, "K-3 Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintetis Dengan," *Pros. Semin. Nas. AVoER ke-3*, pp. 26–27, 2011.
- [26] M. Hadi, P. □ Jurusan, E. Pembangunan, F. Ekonomi, and D. Juli, "Info Artikel," *Edaj*, vol. 2, no. 3, 2013, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edaj>.
- [27] N. I. Rahmawati, S. Suhartana, and G. Gunawan, "Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Seng Bekas Sebagai Elektroda," *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 12, no. 2, pp. 40–46, 2009, doi: 10.14710/jksa.12.2.40-46.



- [28] B. V. Tangahu and D. A. Ningsih, “Uji Penurunan Kandungan COD, BOD pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Scirpus Grossus dan Iris Pseudacorus dengan Sistem Pemaparan Intermittent,” *J. Sains & Teknologi Lingkung.*, vol. 8, no. 2, pp. 121–130, 2016, doi: 10.20885/jstl.vol8.iss2.art6.
- [29] S. Notodarmojo and A. Deniva, “Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End (Studi Kasus : Waduk Saguling, Padalarang),” *ITB J. Sci.*, vol. 36, no. 1, pp. 63–82, 2004, doi: 10.5614/itbj.sci.2004.36.1.5.
- [30] Agustina, Suyono, and Akbar, “Penggunaan Teknologi Membran Pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit,” *Work. Ind. Kim. dan Kemasan*, 2008.
- [31] A. Karimi, M. Rajabi, and P. Zahedi, “Effect of graphene oxide content on morphology and topography of polysulfone-based mixed matrix membrane for permeability and selectivity of carbon dioxide and methane,” *Materwiss. Werksttech.*, vol. 51, no. 8, pp. 1137–1147, 2020, doi: 10.1002/mawe.201900263.
- [32] I. Salahshoori, D. Nasirian, N. Rashidi, M. K. Hossain, A. Hatami, and M. Hassanzadeganroudsari, *The effect of silica nanoparticles on polysulfone–polyethylene glycol (PSF/PEG) composite membrane on gas separation and rheological properties of nanocomposites*, vol. 78, no. 6. Springer Berlin Heidelberg, 2021.
- [33] J. H. Kim and Y. M. Lee, “Gas permeation properties of poly(amide-6-b-ethylene oxide)-silica hybrid membranes,” *J. Memb. Sci.*, vol. 193, no. 2, pp. 209–225, 2001, doi: 10.1016/S0376-7388(01)00514-2.
- [34] M. Sadeghi *et al.*, “Gas permeation properties of ethylene vinyl acetate-silica nanocomposite membranes,” *J. Memb. Sci.*, vol. 322, no. 2, pp. 423–428, 2008, doi: 10.1016/j.memsci.2008.05.077.
- [35] M. R. Mehrnia, Y. M. Mojtahedi, and M. Homayoonfal, “What is the concentration threshold of nanoparticles within the membrane structure? A case study of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PSf nanocomposite membrane,” *Desalination*, vol. 372, pp. 75–88, 2015, doi: 10.1016/j.desal.2015.06.022.
- [36] L. Unnikrishnan, S. Mohanty, S. K. Nayak, and N. P. Jayan, “Sulfonated polysulfone/TiO<sub>2</sub> nanocomposite membranes for fuel cell application,” *Int. J. Plast.*

*Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–20, 2011, doi: 10.1007/s12588-011-9015-z.

- [37] Y. Yang, H. Zhang, P. Wang, Q. Zheng, and J. Li, “The influence of nano-sized TiO<sub>2</sub> fillers on the morphologies and properties of PSF UF membrane,” vol. 288, pp. 231–238, 2007, doi: 10.1016/j.memsci.2006.11.019.
- [38] D. M. Smith, D. W. Hua, and W. L. Earl, “Characterization of Porous Solids,” *MRS Bull.*, vol. 19, no. 4, pp. 44–48, 1994, doi: 10.1557/S0883769400039518.
- [39] Q. Tang *et al.*, “Preparation of porous antibacterial polyamide 6 (PA6) membrane with zinc oxide (ZnO) nanoparticles selectively localized at the pore walls via reactive extrusion,” *Sci. Total Environ.*, vol. 715, p. 137018, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137018.
- [40] M. Sheikh *et al.*, “Application of ZnO nanostructures in ceramic and polymeric membranes for water and wastewater technologies: A review,” *Chem. Eng. J.*, vol. 391, no. November, p. 123475, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2019.123475.
- [41] M. A. Abd El-Ghaffar and H. A. Tieama, “A Review of Membranes Classifications, Configurations, Surface Modifications, Characteristics and Its Applications in Water Purification,” *Chem. Biomol. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 57–82, 2017, doi: 10.11648/j.cbe.20170202.11.
- [42] T. D. Kusworo *et al.*, “Evaluation of Integrated modified nanohybrid polyethersulfone-ZnO membrane with single stage and double stage system for produced water treatment into clean water,” *J. Water Process Eng.*, vol. 23, no. January, pp. 239–249, 2018, doi: 10.1016/j.jwpe.2018.04.002.
- [43] T. D. Kusworo, A. C. Kumoro, D. P. Utomo, F. M. Kusumah, and M. D. Pratiwi, “Performance of the Crosslinked PVA Coated PES-TiO<sub>2</sub>Nano Hybrid Membrane for the Treatment of Pretreated Natural Rubber Wastewater Involving Sequential Adsorption - Ozonation Processes,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 2, p. 104855, 2021, doi: 10.1016/j.jece.2020.104855.
- [44] T. D. Kusworo, W. Widayat, D. P. Utomo, Y. H. S. Pratama, and R. A. V. Arianti, “Performance evaluation of modified nanohybrid membrane polyethersulfone-nano ZnO (PES-nano ZnO) using three combination effect of PVP, irradiation of ultraviolet and thermal for biodiesel purification,” *Renew. Energy*, vol. 148, pp. 935–945, 2020, doi:

10.1016/j.renene.2019.10.177.

- [45] W. Guo, H. H. Ngo, and J. Li, “A mini-review on membrane fouling,” *Bioresour. Technol.*, vol. 122, pp. 27–34, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.04.089.
- [46] X. Du, Y. Shi, V. Jegatheesan, and I. Ul Haq, *A review on the mechanism, impacts and control methods of membrane fouling in MBR system*, vol. 10, no. 2. 2020.
- [47] I. Ratman, T. D. Kusworo, D. P. Utomo, D. A. Azizah, and W. A. Ayodyasena, “Petroleum Refinery Wastewater Treatment using Three Steps Modified Nanohybrid Membrane Coupled with Ozonation as Integrated Pre-treatment,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 4, p. 103978, 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.103978.
- [48] J. Coates, “Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach,” *Encycl. Anal. Chem.*, pp. 10815–10837, 2006, doi: 10.1002/9780470027318.a5606.
- [49] F. Shao *et al.*, “Layer-by-layer self-assembly TiO<sub>2</sub> and graphene oxide on polyamide reverse osmosis membranes with improved membrane durability,” *Desalination*, vol. 423, no. May, pp. 21–29, 2017, doi: 10.1016/j.desal.2017.09.007.
- [50] S. Sali, H. R. Mackey, and A. A. Abdala, “Effect of graphene oxide synthesis method on properties and performance of polysulfone-graphene oxide mixed matrix membranes,” *Nanomaterials*, vol. 9, no. 5, 2019, doi: 10.3390/nano9050769.
- [51] S. Wang *et al.*, “In-situ combined dual-layer CNT/PVDF membrane for electrically-enhanced fouling resistance,” *J. Memb. Sci.*, vol. 491, pp. 37–44, 2015, doi: 10.1016/j.memsci.2015.05.014.
- [52] Q. Jiang, Y. Matsuzaki, K. Li, and J. Uitto, “Transcriptional regulation and characterization of the promoter region of the human ABCC6 gene,” *J. Invest. Dermatol.*, vol. 126, no. 2, pp. 325–335, 2006, doi: 10.1038/sj.jid.5700065.
- [53] M. Yang *et al.*, “Antifouling nanocellulose membranes: How subtle adjustment of surface charge lead to self-cleaning property,” *J. Memb. Sci.*, vol. 618, no. September 2020, p. 118739, 2021, doi: 10.1016/j.memsci.2020.118739.
- [54] B. S. Lalia, V. Kochkodan, R. Hashaikeh, and N. Hilal, “A review on membrane fabrication: Structure, properties and performance relationship,” *Desalination*, vol. 326, pp. 77–95, 2013, doi: 10.1016/j.desal.2013.06.016.

- [55] W. Sun, J. Liu, H. Chu, and B. Dong, "Pretreatment and membrane hydrophilic modification to reduce membrane fouling," *Membranes (Basel)*, vol. 3, no. 3, pp. 226–241, 2013, doi: 10.3390/membranes3030226.
- [56] N. H. Ismail *et al.*, "Hydrophilic polymer-based membrane for oily wastewater treatment: A review," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 233, no. November 2018, p. 116007, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2019.116007.
- [57] D. Ariono, P. T. P. Aryanti, S. Subagjo, and I. G. Wenten, "The effect of polymer concentration on flux stability of polysulfone membrane," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1788, 2017, doi: 10.1063/1.4968301.
- [58] N. Koutahzadeh, M. R. Esfahani, and P. E. Arce, "Sequential use of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-(PSF/TiO<sub>2</sub>/MWCNT) mixed matrix membranes for dye removal in water purification: Membrane permeation, fouling, rejection, and decolorization," *Environ. Eng. Sci.*, vol. 33, no. 6, pp. 430–440, 2016, doi: 10.1089/ees.2016.0023.
- [59] A. Kusior, J. Banas, A. Trenczek-Zajac, P. Zubrzycka, A. Micek-Ilnicka, and M. Radecka, "Structural properties of TiO<sub>2</sub> nanomaterials," *J. Mol. Struct.*, vol. 1157, pp. 327–336, 2018, doi: 10.1016/j.molstruc.2017.12.064.
- [60] B. M. Ganesh, A. M. Isloor, and A. F. Ismail, "Enhanced hydrophilicity and salt rejection study of graphene oxide-polysulfone mixed matrix membrane," *Desalination*, vol. 313, pp. 199–207, 2013, doi: 10.1016/j.desal.2012.11.037.
- [61] R. Hu, G. Zhao, Y. He, and H. Zhu, "The application feasibility of graphene oxide membranes for pressure-driven desalination in a dead-end flow system," *Desalination*, vol. 477, no. December 2019, p. 114271, 2020, doi: 10.1016/j.desal.2019.114271.
- [62] Y. Han, Z. Xu, and C. Gao, "Ultrathin graphene nanofiltration membrane for water purification," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 23, no. 29, pp. 3693–3700, 2013, doi: 10.1002/adfm.201202601.
- [63] S. Kuppasamy, N. Jayaraman, M. Jagannathan, M. Kadarkarai, and R. Aruliah, "Electrochemical decolorization and biodegradation of tannery effluent for reduction of chemical oxygen demand and hexavalent chromium," *J. Water Process Eng.*, vol. 20, no. September, pp. 22–28, 2017, doi: 10.1016/j.jwpe.2017.09.008.

**LAMPIRAN**  
**BIODATA KETUA PENELITI DAN ANGGOTA**

**BIODATA KETUA PENELITI**

1.	Nama Lengkap (dengan gelar)	Prof. Dr. Tutuk Djoko Kusworo, ST. M.Eng
2.	Jenis Kelamin	Laki-Laki
3.	Jabatan Fungsional	Guru Besar
4.	NIP/NIK/No. Identitas lainnya	197306211997021001
5.	NIDN	0009067204
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Semarang 21 Juni 1973
7.	Email	tdkusworo@che.undip.ac.id
8.	Nomor Telepon/ HP	081390947094
9.	Alamat Kantor	Jl. Prof. Sudharto SH Tembalang
10.	Nomor Telepon/Faks	024-76480675
11.	Lulusan yang sudah dihasilkan	S1 dan S2
12.	Mata Kuliah yang Diampu	1. Metodologi Penelitian 2. Pemisahan dengan Membran 3. Teknologi Membran Industrial 4. Teknologi Bersih

**B. RIWAYAT PENDIDIKAN**

Program	S-1	S-2	S-3
Nama PT	Universitas Diponegoro	Universiti Teknologi Malaysia	Universiti Teknologi Malaysia
Bidang Ilmu	Teknik Kimia	Teknik Kimia	Teknik Kimia
Tahun Masuk-Lulus	1991-1996	2002-2004	2004-2008
Nama Pembimbing/ Promotor	Ir. Marimin Soemardjo dan Ir.Indro soemantri, M.Eng	Prof. Dr. Aishah Saidina Amin	Prof. Dr. Ahmad Fauzi Ismail

**C. PENGALAMAN PENELITIAN**

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber Dana	Jml (Juta Rp.)
1.	2007	Development of Mixed Matrix Polymer Electrolyte Membranes for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)	MOSTI Malaysia	750.000.000

2.	2007	Production of Advanced Mixed Matrix Membrane for H <sub>2</sub> purification from Auto-thermal Reformer	MOSTI Malaysia	750.000.000
3.	2008	Development of hollow fiber Mixed Matrix Membranes for biogas purification	Islamic Development Bank	50.000.000
4	2009	Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Berbasis Nanoteknologi Serta Aplikasinya Untuk Pemurnian Biogas Sebagai Energi Alternatif Yang Terbaru	Hibah Strategi Nasional	50.000.000
5	2009	Synthesis and Characterization of Charged Surface Modification Macromolecules of Polyetheretherketon (PEEK) for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	Fakultas Teknik UNDIP	45.000.000
6	2009	Studies of Thermal Annealing on Suppression of Plasticization of the Asymmetric Hollow Fiber Mixed Matrix Membranes	Hibah Publikasi Internasional	40.000.000
7	2010	Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Membran Reverse Osmosis Dalam Upaya Penyediaan Air Bersih di Daerah Pantura Jawa Tengah	Hibah Kompetensi	80.000.000
8	2010	Production of Carbon Nanotubes using Modified Catalytic Chemical Vapour Deposition for Composite Material	Fakultas Teknik UNDIP	40.000.000
9	2010	Production of High Grade Carbon Nanotubes using Modified of Catalytic Chemical Vapor Deposition for Hydrogen Storage	Hibah Penelitian Kerjasama International	142.500.000
10	2010	Pengolahan Limbah Cair Industri Dengan Memanfaatkan Kombinasi Proses Biologis dan Bioreaktor Membran	Fakultas Teknik UNDIP	15.000.000
11	2011	Percepatan Produksi dan Purifikasi Biogas dari Limbah Industri Bioetanol dengan Memanfaatkan Mikroalga sebagai Biostabilisator dalam Biodigester Anaerobik	Hibah Kompetensi	
12	2012	Percepatan Produksi dan Purifikasi Biogas dari Limbah Industri Bioetanol dengan Memanfaatkan Mikroalga sebagai Biostabilisator dalam Biodigester Anaerobik	Hibah Kompetensi	
13	2013	Percepatan Produksi dan Purifikasi Biogas dari Limbah Industri Bioetanol dengan Memanfaatkan Mikroalga sebagai Biostabilisator dalam Biodigester Anaerobik	Hibah Kompetensi	

14	2013	Teknologi Nanofiltrasi untuk Pengolahan Air Terproduksi pada Eksplorasi Minyak Bumi sebagai Usaha Peningkatan Produksi Minyak Bumi stragnas	Penelitian strategi nasional	80.000.000,00
15	2014	Teknologi Nanofiltrasi untuk Pengolahan Air Terproduksi pada Eksplorasi Minyak Bumi sebagai Usaha Peningkatan Produksi Minyak Bumi stragnas	Penelitian strategi nasional	80.000.000,00
16	2014	Pengembangan pengering pneumatik kontinyu berbahan bakar biomass untuk produk pangan berbentuk tepung: perancangan, scale-up, dan optimasi	Hibah Kompetensi	
17	2015	Pembuatan dan karakterisasi ultra thin hybrid membran anti fouling untuk pengolahan air terproduksi sebagai sarana peningkatan produksi minyak dan gas bumi	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	139.500.000,00
18	2016	Pembuatan dan karakterisasi ultra thin hybrid membran anti fouling untuk pengolahan air terproduksi sebagai sarana peningkatan produksi minyak dan gas bumi	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	225.000.000,00
19	2016	Enhanced gas separation performance of nano-hybrid membrane using combination of ultraviolet-cross-linking to produce anti-plastization membrane for biomethane production	PNBP UNDIP	90.000.000,00
20	2017	Enhanced gas separation performance of nano-hybrid membrane using combination of ultraviolet-cross-linking to produce anti-plastization membrane for biomethane production	PNBP UNDIP	100.000.000,00

#### D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber Dana	Jml (Juta Rp.)
1.	2010	Rekayasa teknologi ehavior untuk penyediaan air bersih bagi rumah tangga di kotamadya semarang	Fakultas Teknik UNDIP	5.000.000
2	2011	Upaya Penyediaan Air Bersih dengan Memanfaatkan Sumur Resapan di Kota Semarang	Fakultas Teknik UNDIP	3.000.000
3				

#### E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor
1	2006	Advanced Materials for Membrane-Based Gas Separation	Applied Membrane Science and Technology	3 (2006) 29-64
2	2007	Dependence of Membrane Morphology and Performance on Preparation Conditions: The Shear Rate Effect in Membrane Casting	Separation and Purification Technology,	61 (2007) 249-257
3	2008	Enhanced gas separation performance of polyethersulfone mixed matrix hollow fiber membranes using novel Dynasylan Amino silane agent	Journal of Membrane Science.	319 (2008) 306-312
4	2008	Fabrication and characterization of polyimide/polyethersulfone-fumed silica mixed matrix membrane for gas separation	Reaktor	11, 30-37
5	2008	The effect of type zeolite on the gas transport properties of polyimide-based mixed matrix membranes	Reaktor	2008, 12, 68-77
6	2009	Application of PES-CNTs mixed matrix membrane to reduce the impurities of Natural Gas to control the Foam Formation and Surface Tension in the Blended MDEA-Piperazine Solution	Applied Membrane Science and Technology	2009, 8, 30-37
7	2009	Synthesis and characterization of polyimidezeolite mixed matrix membrane for biogas purification.	Reaktor	2009, 12 (4). Pp. 245-252.
8	2010	Optimization of Partial Oxidation of Methane for Hydrogen Production on NiO-CoO/MgO Catalyst using Design of Experiment	International Journals of Engineering and Science	2010, vol 10, issue 1, 1-8
9	2010	Synthesis and characterization of polyimide-zeolite mixed matrix membrane at medium polymer concentration for biogas purification	International Journal of Basic & Applied Sciences	2010, vol 10, issue 1, 1-8
10	2010	Application of Activated Carbon Mixed Matrix Membrane for Oxygen Purification.	International Journals of Science and Engineering	2010, Volume 1
11	2010	CO <sub>2</sub> Removal from Biogas Using Carbon Nanotubes Mixed Matrix Membranes.	International Journals of Science and Engineering	2010, Volume 1
12	2011	Biogas Production From Cassava Starch Effluent Using Microalgae As Biostabilisator.	International Journals of Science and Engineering	Vol 2 (1) 2011
13	2013	Studies of Thermal Annealing on Suppression of Plasticization	World Applied Sciences Journal	2013:28(1) 9-19.



		of the Asymmetric Hollow Fiber Mixed Matrix Membranes.		
14	2013	Preparation of Poly Eter Eter Keton as Alternative Membrane for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	Middle-East Journal of Scientific Research:	2013;18(9): 1240-1252
15	2013	Pengaruh Katalis Co dan Fe Terhadap Karakteristik Carbon Nanotubes dari Gas Asetilena dengan Menggunakan Proses Catalytic Chemical Vapour Deposition (CCVD)	JURNAL REAKTOR, ,	Vol. 14 No. 3. Hal. 234-241
16	2014	Surface modification of carbon nanotubes using acid treatment to enhance gas separation performance of hybrid nanocomposite mixed matrix membrane	Iranica Journal of Energy & Environment	5(2): 152-159, 2014
17	2014	Mixed matrix membranes incorporating of polyethersulfone-functionalized multi-walled carbon nanotubes to enhance high performance CO2 separation	World Applied Sciences Journal	2014;31(8) 1512-1521
18	2014	Cellulose acetate membrane with improved permselectivity through modification dope composition and solvent evaporation for water softening	Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology	7(18): 3852-3859, 2014
19	2014	Studies on gas separation ehavior of hybrid mixed membrane: Effect of polymer concentration and zeolite loading	International Journal of Sience and Engineering, (IJSE)	2014 Vol. 6(2):144-148
20	2014	Hybrid membrane using polyethersulfone-modification of multiwalled carbon nanotubes with silane agent to enhance high performance oxygen separation	International Journal of Sience and Engineering, (IJSE)	2014 Vol. 6(2):163-168.
21	2014	Enhanced Separation Performance of Cellulose Acetate Membrane for Brackish Water Separation using Modification of Additives and Thermal Annealing.	International J Waste Resources	2014, 4:1
22	2015	Fabrication and Characterization of Polyimide-CNTs hybrid membrane to enhance high performance CO2 separation	International Journal of Sience and Engineering,	(IJSE) 2015 Vol. 8(2):.115-119
23	2015	Experimental design and response surface modeling of pi/pes-zeolite 4a mixed matrix membrane for co2 separation	Journal of Engineering Science and Technology	Vol. 10, No. 9 (2015) 1116 - 1130

24	2015	Surface Modification of Ultra Thin PES-Zeolite using Thermal Annealing to Increase Flux and Rejection of Produced Water Treatment	Proceeding AIP (Scopus indexed)	AIP Conf. Proc. 1699, 040014 (2015)
25	2017	Increasing Separation Performance of PES Membrane Via Combination of Polymer Composition and UV Irradiation For Produced Water Treatment.	ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences	Vol. 12, No. 1, 244-249
26	2017	Surface Modification and Performance Enhancement of Polyethersulfone (PES) Membrane Using Combination of Ultra Violet Irradiation and Thermal Annealing for Produced Water Treatment.	Journal of Environmental Science and Technology.	Vol. 10, No. 1, 35-43

#### F. Pemakalah Seminar Ilmiah (oral Presentation)

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	Membrane Science and Technology (MST 2005)	Advanced Material for Membrane-Based Gas Separation	25-26 April 2005, Institute Technology Bandung, Bandung, Indonesia
2.	RCEE 2005	Understanding The Solution Diffusion Mechanism In Gas Separation For Engineering Student	12-15 December 2005 Universiti Teknologi Malaysia, Johor Baharu
3.	The International Membrane Conference, 2005	Performance of sealed lead acid battery enhanced by gas separation membrane technology	18-19 August, 2005 Chungli, Taiwan
4.	Regional Symposium on Membrane Science and Technology, 2006	Effect of membrane configuration on the separation performance of polysulfone hollow fiber membrane system for CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> separation	27 –28 April 2006, Singapore
5.	1st Regional Postgraduate Conference on Engineering & Science (RPCES 2006)	Oxygen Enrichment Properties of Polyethersulfone/Polyimide Blends-Zeolite 5A Mixed Matrix Membranes	26-27 July 2006, UTM Skudai, Malaysia
6.	20th Symposium of Malaysian Chemical Engineers (SOMCHE 2006)	Oxygen Enrichment Properties of Polyimide/Polyethersulfone Blends-Zeolite 4A Mixed Matrix Membranes	19 Dec. 2006, Shah Alam, Malaysia
7.	International Membrane Science and Technology Conference, 2007	Gas Separation Performance of PI/PES Polymer Blending Hollow Fiber Mixed Matrix Membrane with Modified Zeolite 4A using Dynasylan Ameo	5-9 November 2007, Sydney Australia
8	The 6th Regional Symposium on	Performance evaluation of	13-15 August 2008,

	Membrane and Science Technology 2008	polyethersulfone-fumed silica mixed matrix membrane for gas separation	Patong, Phuket, Thailand
9	International Membrane Science and Technology 2009	Enhanced Of Oxygen Separation Using Polyethersulfone-Activated Carbon Mixed Matrix Membrane	13-15 May 2009, Kuala Lumpur, Malaysia
10	International Membrane Science and Technology 2009,	Effect Of Functionalization Of Carbon Nanotubes Using Silane Agent	13-15 May 2009, Kuala Lumpur, Malaysia
11	International Membrane Science and Technology 2009,	Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane (Mmm) For Biogas Purification	13-15 May 2009, Kuala Lumpur, Malaysia
12	International Conference on Chemical and Material Engineering 2012	Preparation and Characterization of Nanofiltration Membrane for Water Treatment	September 12 – 13, 2012, , Grand Candi Hotel, Semarang Indonesia.
13	International Conference on Chemical and Material Engineering 2012	Composite sPEEK with Nanoparticles for Fuel Cell's Applications: Review.	September 12 – 13, 2012, , Grand Candi Hotel, Semarang Indonesia.
14	Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2014,	The effect of dope solution composition on the production of membrane cellulose acetat for produced water treatment,	Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, 20-21 Agustus 2014, ISSN: 1411-4216, Hal. H-10
15	<sup>2nd</sup> International Conference on Chemical and Material Engineering 2015	Surface Modification of Cellulose Acetate Membrane using Thermal Annealing to Enhance Produced water Treatment	Grand Candi Hotel, Semarang, Indonesia September 29-30th, 2015
16	<sup>2nd</sup> International Conference on Chemical and Material Engineering 2015	Surface Modification of Ultra Thin PES-Zeolite using Thermal Annealing to Increase High PermSelectivity Produced Water Treatment	Grand Candi Hotel, Semarang, Indonesia September 29-30th, 2015

#### G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1.	Sustainable Membrane Technology for Energy, Water, and Environment : Purification of Biogas Using Carbon Nanotubes Mixed Matrix Membrane: Effect of Functionalization of Carbon Nanotubes Using Silane Agent	2012	10	Willey (book chapter)
2.	Advances in Malaysian Fuel Cell Research and Development in Malaysia : Optimization of Partial Oxidation of Methane to Hydrogen Production over NiO-CoO- MgO Solid Solution Catalyst Using Statistical Experimental Design	2003	8	UTM Malaysia (book chapter)

**H. Perolehan HKI dalam 5-10 tahun Terakhir**

No.	Judul/ Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.	A Hybrid Mixed Matrix Composite Membrane:	2008		MY-153654-A

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi

**Semarang, 19 September 2021**



**Prof. Dr. Tutuk Djoko Kusworo, ST., MEng**  
**NIP. 197306211997021001**