

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketersediaan air bersih yang semakin berkurang seiring dengan peningkatan populasi, perubahan iklim, dan pencemaran air menjadi salah satu permasalahan krusial yang dihadapi saat ini secara global (Kavitha dkk., 2019). Air laut dapat digunakan sebagai alternatif sumber daya untuk pemenuhan kebutuhan air masyarakat karena ketersediaannya sangat berlimpah. Namun, kadar garam yang terkandung dalam air laut menjadi keterbatasan pemanfaatan air laut sebagai sumber air bersih. Pengembangan teknologi pengolahan air laut melalui proses pemisahan garam (desalinasi) merupakan salah satu alternatif untuk penyediaan air tawar bagi masyarakat (Shahid dkk., 2023)

Desalinasi merupakan proses penghilangan garam dari air. Terdapat berbagai teknologi yang digunakan dalam proses desalinasi, yaitu teknologi berbasis termal dan membran (Goudarzi dkk., 2022). Proses desalinasi berbasis membran lebih ramah lingkungan dibandingkan desalinasi berbasis termal karena prosesnya tidak melibatkan pelepasan energi panas. Selain itu, teknologi berbasis membran lebih populer dalam proses desalinasi karena pengoperasian yang mudah dan efisiensi yang tinggi dalam rejeksi ion garam (Wang dkk., 2024). Desalinasi berbasis membran terdiri dari membran distilasi, membran *forward osmosis* dan membran *reverse osmosis*. Proses desalinasi berbasis membran biasanya dioperasikan pada tekanan 10-150 bar (Shahid dkk., 2023). Energi yang digunakan pada membran desalinasi masih cukup tinggi sehingga proses *pretreatment* desalinasi menjadi solusi untuk mengurangi kebutuhan energi yang diperlukan pada proses pemisahan. Penggunaan membran yang dapat dioperasikan pada tekanan lebih rendah namun memiliki selektivitas yang cukup baik pada proses *pretreatment* desalinasi dapat mengurangi kebutuhan energi dan biaya pemeliharaan pada membran desalinasi (Kavitha dkk., 2019), salah satunya melalui penggunaan membrane nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi dapat merejeksi molekul organik kecil dan garam anorganik. Membran nanofiltrasi yang baik memiliki rejeksi ion divalen yang tinggi, rejeksi ion monovalen yang rendah, dan fluks tinggi.

Tekanan yang digunakan pada membran nanofiltrasi berada di kisaran 5-10 bar, (Ang dkk., 2020).

Material polimer banyak digunakan untuk fabrikasi membran nanofiltrasi. Polimer adalah bahan organik yang memiliki sifat mekanik yang luar biasa dan stabilitas kimiawi yang baik. (Berber, 2020). Namun demikian, material polimer masih memiliki kelemahan seperti permeabilitas yang rendah dan resistensi terhadap fouling yang masih rendah (Alammar & Szekely, 2022). Untuk mengatasi hal ini, para peneliti telah mencoba menggabungkan keunggulan sifat dari bahan polimer dengan bahan lain melalui pengembangan komposit yang disebut membran matriks campuran (MMM) untuk meningkatkan kinerja membran (Goudarzi dkk., 2022).

Polyethersulfone (PES) merupakan polimer sintetik bersifat amorf dan transparan yang memiliki stabilitas termal yang tinggi (hingga 225°C). PES sering digunakan untuk berbagai untuk fabrikasi membran, namun sifat hidrofobik PES membatasi aplikasi dan penggunaannya. Secara khusus, membran PES rentan terhadap fouling dalam aplikasi pengolahan air, dimana mikroorganisme, garam, dan senyawa kimia lainnya yang terdapat dalam air dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan atau deposisi pada permukaan dan atau pori membran. Hal ini dapat menurunkan masa pakai dan biaya pemeliharaan membrane, juga penurunan rejeksi membran. Peningkatan sifat hidrofilik membrane PES dengan penambahan filler anorganik seperti zeolite, metal organic framework (MOFs), carbon nanotubes (CNT), graphene oxides dll (Manjula dkk., 2023) dapat meningkatkan tolakan elektrostatis dan menurunkan tegangan permukaan, sehingga meningkatkan sifat antifouling membrane (Kanwal dkk., 2023).

MIL-101 (Cr) merupakan salah satu jenis metal organic framework (MOFs) yang memiliki luas permukaan spesifik yang sangat tinggi dan stabilitas hidrotermal yang baik, porositas tinggi, struktur yang unik, dan sifat adsorpsi yang sangat baik terhadap zat warna dan senyawa volatil (Zou dkk., 2022). MIL-101 (Cr) juga banyak digunakan dalam pengolahan air limbah karena mampu menghilangkan pewarna organik, residu obat, dan ion logam berat yang efisien (Zhou dkk., 2023). Namun dalam aplikasi pengolahan air penggunaan membran dengan *filler* MIL-101 (Cr) dilaporkan memiliki kestabilan yang rendah dalam air

menjadi tantangan dalam pemanfaatan material tersebut pada aplikasi pengolahan air (Qiu dkk., 2020)

Disisi lain, besi (III) oksida nanopartikel (Fe_3O_4 NPs) memiliki stabilitas termal dan kimia yang sangat baik yang menguntungkan untuk fabrikasi membran matriks campuran. Dilaporkan oleh peneliti lain bahwa, penggabungan nanomaterial Fe_3O_4 NPs ke dalam matriks polimer telah menunjukkan peningkatan kinerja dalam hal fluks air murni, penolakan, dan ketahanan terhadap pengotoran (Chai dkk., 2020). Penambahan Fe_3O_4 NPs pada komposit PES/MIL-101(Cr) diharapkan dapat meningkatkan kestabilan MIL-101 dalam air.

Dalam penelitian ini, *Mix Matrix Membrane* (MMM) akan dibuat dengan mencampurkan nanofiller MIL-101(Cr) dan Fe_3O_4 NPs dengan polimer PES menggunakan metode NIPs (*Non-solvent Induced Phase Separation*). Pengaruh penambahan Fe_3O_4 NPs dan MIL-101(Cr) terhadap karakteristik (struktur, morfologi dan sifat fisiko-kimia) dan kinerja membrane nanofiltrasi PES dalam pengolahan air akan dipelajari. Secara khusus, karakterisasi MMM PES/ Fe_3O_4 /MIL-101(Cr) akan dilakukan dengan berbagai metode karakterisasi (FTIR, XRD, SEM, *water contact angle*, *tensile strength*, dan porositas). Selain itu, kinerja membrane nanofiltrasi PES akan ditentukan dari pengukuran permeabilitas dan permselektivitas, serta stabilitas (ketahanan terhadap fouling) sebagai akibat penambahan Fe_3O_4 /MIL-101(Cr) akan diteliti secara sistematis.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh penambahan MIL-101(Cr)/ Fe_3O_4 terhadap karakteristik membran nanofiltrasi PES
- b. Bagaimana pengaruh penambahan MIL-101(Cr)/ Fe_3O_4 terhadap kinerja membran nanofiltrasi PES?
- c. Bagaimana kondisi optimum sintesis membran nanofiltrasi PES/MIL-101(Cr)/ Fe_3O_4 ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi mengenai:

- a. Pengaruh penambahan MIL-101(Cr)/Fe₃O₄ terhadap karakteristik membran nanofiltrasi PES
- b. Pengaruh penambahan MIL-101(Cr)/Fe₃O₄ terhadap kinerja membran nanofiltrasi PES.
- c. Kondisi optimum sintesis membran nanofiltrasi PES/MIL-101(Cr)/Fe₃O₄.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi membran nanofiltrasi untuk aplikasi pengolahan air. Secara khusus, penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan membran nanofiltrasi berbasis polimer komposit PES/MIL-101(Cr)/Fe₃O₄ produk membrane yang dihasilkan dapat menjadi material alternatif membran nanofiltrasi untuk proses *pretreatment* desalinasi.

1.5. Struktur Organisasi Tesis

Tesis ini terdiri dari Bab I berisi tentang pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan struktur organisasi skripsi. Bab II berisi tentang kajian pustaka meliputi teknologi membran, metode sintesis membran, material membran, karakterisasi membran nanofiltrasi, kinerja membran nanofiltrasi, kajian mengenai penelitian-penelitian sebelumnya terkait dengan membran nanofiltrasi dan kerangka berpikir penelitian. Bab III berisi tentang metode penelitian, alat, bahan dan langkah kerja penelitian. Bab IV berisi tentang temuan dan pembahasan. Bab V berisi tentang simpulan dan implikasi. Pada tesis ini juga berisi lampiran yang menyertakan data-data serta gambar yang tidak ditampilkan pada bab sebelumnya.