

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan yang penting bagi umat manusia. Meningkatnya populasi dan dampak perubahan iklim yang semakin parah berkontribusi pada langkanya sumber daya air (Rahman et al., 2022). Namun, sumber air yang tersedia belum layak untuk digunakan menyebabkan ketersediaan air bersih semakin terbatas sehingga pengolahan berbagai sumber air menjadi hal yang penting dilakukan. Teknik pengolahan air yang baik dibutuhkan untuk menjaga kualitas dan ketersediaan pasokan air yang berkelanjutan untuk generasi sekarang dan yang akan datang. Salah satu inovasi dalam pengolahan air yang dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan air, yaitu melalui pengolahan air laut (hampir 97% air di dunia) menggunakan desalinasi air (Y. Liu et al., 2024).

Desalinasi, proses pengubahan air asin atau air laut menjadi air yang layak pakai telah muncul sebagai solusi potensial untuk mengurangi kelangkaan air (Altmann et al., 2023; Bin Bandar et al., 2021). Terdapat beberapa teknik desalinasi yaitu, *thermal base* seperti *distilasi flash* (E. Ali et al., 2024), *distilasi multi effect* (Fergani et al., 2024), dan *vapor compression* (Shamet & Antar, 2023). Namun, proses desalinasi *thermal base* sering kali membutuhkan energi yang besar (Nassrullah et al., 2020) dan biaya operasional yang tinggi (Zheng & Hatzell, 2020). Teknologi membran (*reverse osmosis*) cukup berpotensi untuk aplikasi desalinasi air laut dengan kemampuan rejeksi garam hingga >90% (Saleem & Zaidi, 2020). Selain itu pemurnian air menggunakan teknologi membran membutuhkan energi yang minimum (Harby et al., 2021), mudah digunakan, efektif (Brover et al., 2022), dan tanpa penambahan bahan kimia (Cairone et al., 2024).

Membran *reverse osmosis* (RO) sebagai komponen utama desalinasi harus memenuhi karakteristik tertentu, seperti ukuran pori yang kecil sehingga membran rentan mengalami pengotoran (*fouling*) (Tawalbeh et al., 2023). Pra-

desalinasi merupakan langkah penting dalam proses desalinasi, yang ditunjukkan untuk menghindari pengotoran yang disebabkan oleh penumpukkan partikel, koloid, zat organik terlarut, dan mikroba pada permukaan membran RO (Belgada et al., 2021). Pendekatan kimiawi (koagilasi, flokulasi, dan pengaturan pH) telah digunakan untuk pra-desalinasi namun, metode ini dapat menyebabkan dampak pada lingkungan selama proses berlangsung (Y. Liu et al., 2024). Nanofiltrasi (NF) adalah salah satu teknik pra-desalinasi yang secara efektif menghilangkan partikel terlarut, garam, dan pengotor dengan konsumsi energi yang lebih rendah (Song et al., 2021). Membran polimer NF memiliki kelebihan untuk pemisahan tingkat molekuler (Ji et al., 2022), dimana konfigurasi dan karakteristik membran secara signifikan mempengaruhi dalam pemisahan molekul organik dan garam (Zhang, 2022). Oleh karena itu, kebaruan dalam pemilihan material membran dan metode fabrikasi sangat penting untuk mendapatkan membran NF dengan sifat mekanik, permeabilitas, selektivitas, dan ketahanan *antifouling* yang baik (Figueira et al., 2023).

Beberapa jenis polimer telah digunakan untuk pengembangan membran karena memiliki keunggulan stabilitas kimia, termal, permeabilitas, serta selektivitas yang baik (Ji et al., 2022). Beberapa jenis polimer sintetik yang banyak digunakan dalam pengembangan membran desalinasi diantaranya PVA/poli(vinil alkohol) (Zeng et al., 2023), PES/(poli(eter sulfon) (Yun et al., 2025), PSF/polisulfon (Jose et al., 2024) dan PVDF/(poli(vinilidin fluorida) (M. Li et al., 2025). Meskipun membran polimer telah banyak digunakan, namun terdapat tiga tantangan utama dalam membran polimer, yaitu (i) stabilitas termal yang rendah, (ii) *fouling* (pengotoran), dan (iii) hubungan *tradeoff* antara permeabilitas dan selektivitas (Ji et al., 2022). Semua tantangan ini sangat bergantung pada sifat material yang digunakan.

Polimer PVDF telah dilaporkan sebagai bahan pembuatan membran nanofiltrasi karena memiliki stabilitas termal, kekuatan mekanik, dan ketahanan kimia yang baik (Cao et al., 2020; Pu et al., 2021). Namun, PVDF rentan terhadap *fouling* karena bersifat hidrofobik, menyebabkan fluks air dan proses rejeksi ion garam dalam air menurun (Ji et al., 2022). Modifikasi membran

PVDF dengan penambahan material lain seperti penggabungan dengan polimer lain dan penambahan *filler* (W. Wang et al., 2021), merupakan strategi yang diyakini dapat mengatasi isu tersebut dan meningkatkan kinerja membran dalam proses nanofiltrasi.

Carbon nanotube (CNT) yang telah difungsionalisasikan dapat meningkatkan efisiensi filtrasi (Salehi *et al.*, 2020) karena fungsionalisasi CNT lebih bersifat hidrofilik karena adanya gugus polar yang meningkatkan kompatibilitas dengan matriks polimer (Tawalbeh et al., 2023). Modifikasi membran PVDF dengan penambahan *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) (Sun et al., 2024), dilaporkan memiliki sifat mekanik dan fungsional tinggi (Mishra & Sundaram, 2023), memodifikasi struktur morfologi dan porositas membran, yang dapat meningkatkan permeabilitas dan rejeksi membran (Mishra & Sundaram, 2023). Selain itu,

Berbagai oksida logam (TiO_2 , SiO_2 , ZnO , Fe_3O_4 dan lainnya) telah digunakan untuk meningkatkan performa membran (Agrawal et al., 2021). Fungsionalisasi permukaan membran dengan oksida besi (Fe_3O_4) dilaporkan dapat memodifikasi kimia permukaan membran (Navarro Oliva *et al.*, 2023), sehingga dapat meningkatkan hidrofilisitas (J. Zhu et al., 2020), fluks air, rejeksi (Bubela et al., 2023), ketahanan terhadap *fouling* (Koyuncu et al., 2022) serta biokompatibilitas (M. Zhang et al., 2023).

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan nanofiller Fe_3O_4 terhadap karakteristik dan kinerja membran nanokomposit PVDF/CNT, sintesis membran nanokomposit PVDF/MWCNT/ Fe_3O_4 dilakukan menggunakan metode *Non-solvent Induced Phase Separation* (NIPs) dan karakterisasi membran nanokomposit menggunakan FTIR, XRD, SEM-EDX, sudut kontak air, sifat mekanik, dan porositas, serta pengujian membran nanokomposit dengan menggunakan metode filtrasi *dead-end* dan *cross-flow*. Adapun parameter kinerja membran meliputi permeabilitas (water fluks), permselektivitas (larutan pemodelan

garam), *Molecular Weight Cut Off* (MWCO) menggunakan zat warna dan sifat *antifouling*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan Fe_3O_4 NPs terhadap karakteristik membran nanokomposit PVDF/MWCNT?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Fe_3O_4 NPs terhadap kinerja membran nanokomposit PVDF/MWCNT dalam pemisahan ion garam?
3. Bagaimana kondisi optimum membran nanokomposit PVDF/MWCNT/ Fe_3O_4 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh informasi mengenai:

1. Pengaruh penambahan Fe_3O_4 NPs terhadap karakteristik membran nanokomposit PVDF/MWCNT
2. Pengaruh penambahan Fe_3O_4 NPs terhadap kinerja membran nanokomposit PVDF/MWCNT dalam pemisahan ion garam
3. Komposisi optimum sintesis membran nanokomposit PVDF/MWCNT/ Fe_3O_4 menggunakan metode inversi fasa

1.4 Manfaat Penelitian

Temuan penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai:

1. Rujukan bagi peneliti lain dalam pengembangan teknologi membran
2. Menjadi rujukan bagi peneliti lain mengenai pengembangan teknologi membran nanofiltrasi berbasis komposit polimer.
3. Menjadi material alternatif membran sesuai dengan aplikasi pemisahan ion garam.

4. Penggunaan metode sintesis membran nanofiltrasi yang dapat digunakan sebagai rujukan dalam sintesis membran dengan metode *solvent mixing*.

1.5 Sistematika Penulisan

Tesis ini terdiri dari beberapa bab, yaitu: BAB I yang mencakup pendahuluan, yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan; BAB II yang membahas kajian pustaka tentang teknologi membran, jenis membran filtrasi, membran desalinasi, metode sintesis membran, material penyusun membran, karakterisasi membran, serta kinerja membran; BAB III yang menjelaskan metode penelitian, termasuk alat, bahan, dan prosedur penelitian; BAB IV yang memaparkan temuan dan pembahasan; dan BAB V yang berisi simpulan dan saran. Tesis ini juga dilengkapi dengan lampiran yang menyertakan data perhitungan dan gambar yang tidak ditampilkan di bab-bab sebelumnya.