

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Water scarcity atau kelangkaan air menjadi masalah utama di dunia saat ini. Menurut WHO (2023), pada tahun 2021 lebih dari 2 miliar orang tinggal di negara-negara yang kekurangan air dan diprediksikan akan terus meningkat. Hal ini terjadi karena berbagai faktor, diantaranya *climate change*, pertumbuhan penduduk, dan pencemaran lingkungan (Alvi *et al.*, 2019; Gayatri, Yuliwati, *et al.*, 2023). Maka dari itu, pemanfaatan sumber daya air (air tanah maupun air permukaan (sungai, danau, dan laut)) dan pengolahan air limbah untuk suplai air bersih penting dilakukan. Salah satu air yang dapat digunakan adalah air tanah, air tercemar, dan air laut. Namun, kekurangan dalam pengolahan air limbah memerlukan biaya dan fasilitas pendukung, di sisi lain ketersediaan air tanah juga terbatas. Maka dari itu, pengolahan air laut untuk sumber air bersih potensial untuk dikembangkan karena ketersediaan air laut yang melimpah.

Lautan merupakan sumber air terbesar yang tersedia di bumi (97%) dan sisanya (3%) adalah air tawar, yang jumlah dua pertiganya membeku di gletser dan lapisan es kutub, sedangkan sisanya berada di reservoir air bawah tanah (Selatile *et al.*, 2018). Namun, kadar garam yang tinggi pada air laut menjadi keterbatasan pemanfaatan air laut sebagai sumber air bersih. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik pemisahan garam dari air laut. Desalinasi adalah teknologi yang sudah diterapkan secara luas dan digunakan untuk menghilangkan salinitas dari air payau, air laut, atau air limbah agar dapat digunakan untuk keperluan industri dan rumah tangga. Teknologi desalinasi terutama dikategorikan sebagai teknologi konvensional dan canggih, yaitu desalinasi berbasis membran dan desalinasi termal (Shahid *et al.*, 2023).

Proses desalinasi termal kurang ramah lingkungan dibandingkan desalinasi berbasis membran karena prosesnya memerlukan pelepasan energi panas. Selain itu, teknologi berbasis membran lebih disukai karena kemudahan pengoperasiannya dan efisiensi rejeksi ion garam yang tinggi (Wang *et al.*, 2024). Contoh desalinasi berbasis membran, yaitu *reverse osmosis (RO)*, *distillation membrane*, dan *forward*

osmosis. Prosesnya biasanya dilakukan pada tekanan 10-150 bar (Shahid *et al.*, 2023). Karena energi, biaya, dan tekanan yang cukup tinggi, maka diperlukan proses *pre-treatment* untuk mengurangi kebutuhan energi yang diperlukan pada proses pemisahan. Membran nanofiltrasi (NF) pada proses *pretreatment* untuk desalinasi air memiliki potensi tinggi menyaring kandungan garam dengan ion divalen dan trivalen, seperti pada air payau. Proses ini menjadi lebih populer daripada RO karena tekanan, energi, dan biaya yang dibutuhkan lebih rendah, tetapi tetap dapat mempertahankan nilai fluks yang tinggi (Liao *et al.*, 2018; Selatile *et al.*, 2018).

Berbagai polimer organik dapat digunakan sebagai bahan sintesis membran, contohnya *poly (ether sulfone)* (PES), *poly (vinylidene fluoride)* (PVDF), *poly (sulfone)* (PSF), *poly (ethylene)* (PE), *poly (tetrafluoroethylene)* (PTFE), *poly (vinyl alcohol)* (PVA), *poly (imide)* (PI), *cellulose acetate* (CA), *cellulose nitrates*, *poly (acrylonitrile)* (PAN), *poly (propylene)* (PP), dan bio-makromolekul (Chin *et al.*, 2021; Dong *et al.*, 2021; Khulbe & Matsuura, 2021; Yu *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2022). Keunggulan membran organik, yaitu selektivitas yang tinggi, biaya produksi rendah, dan kemudahan pemrosesan. Namun, kelemahan membran ini, yaitu rentan terhadap *fouling*, stabilitas kimia yang rendah, waktu penggunaan (*lifetime*) yang singkat, dan sensitif terhadap deformasi yang disebabkan oleh fluktuasi suhu dan pH (Fard *et al.*, 2018).

Pembuatan membran NF berbasis *Mixed Matrix Membranes* (MMMs) dilaporkan dapat meningkatkan permeabilitas, permselektivitas, rejeksi garam, dan *antifouling*. Secara khusus, Hassan *et al.* (2022) melaporkan bahwa membran RO dengan polimer PVDF murni memiliki kecepatan *water flux* sebesar $15,6 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ dan besar rejeksi garam sebesar 82,8%. Selain itu, inkorporasi *filler* anorganik pada membran NF dengan polimer PVDF murni dapat meningkatkan kecepatan *water flux* ($5,77 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ menjadi $41,89 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) dan rejeksi garam NaCl (39,89% menjadi 75,89%) (Mahdavi *et al.*, 2020). Temuan tersebut menunjukkan bahwa membran NF yang telah dimodifikasi memiliki kemampuan yang menyerupai kinerja membran RO, sehingga potensial digunakan sebagai alternatif membran untuk proses desalinasi air.

Polimer PVDF semi-kristalin memiliki beberapa keunggulan, yaitu sifat kimia, mekanik, dan termal yang sangat baik, serta ketahanannya terhadap *aging*. Selain itu, PVDF juga memiliki konstanta dielektrik tinggi, *strength* tinggi, stabilitas termal tinggi, ketahanan terhadap kimia, ketahanan terhadap *ultraviolet* (UV), ketahanan radiasi nuklir, dan ketahanan terhadap cuaca (Ayyaru & Ahn, 2022; Li *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022; Pakan *et al.*, 2023; Saxena & Shukla, 2021). Namun, membran PVDF mudah mengalami *fouling* karena sifatnya yang hidrofobik, sehingga *water flux* seiring berjalannya waktu akan menurun nilainya (Baig *et al.*, 2022; Fan *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023; Pakan *et al.*, 2023). Oleh karena itu, modifikasi membran, seperti modifikasi permukaan atau pencampuran membran dengan material lain diyakini dapat meningkatkan sifat membran. Strategi ini diyakini dapat meningkatkan kinerja membran dan mengatasi permasalahan tersebut (Wang *et al.*, 2021).

Poly (vinylpyrrolidone) (PVP) lebih disukai dibandingkan penambahan organik lainnya karena efisiensi pembentukan pori yang tinggi, distribusi berat molekul (*MW*) yang luas, meningkatkan permeabilitas, meningkatkan hidrofilitas, dan dapat dengan mudah melekat pada membran melalui ikatan kovalen (Gayatri *et al.*, 2024; Gayatri, Yuliwati, *et al.*, 2023; Pandey *et al.*, 2018; Sadrzadeh & Bhattacharjee, 2013; Vatsha *et al.*, 2013). Gayatri, Fizal, *et al.* (2023) membuktikan bahwa PVP memiliki porositas, viskositas larutan, dan *water flux* (85,22%; 2917 MPa.s; dan $83,57 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) yang lebih tinggi daripada *poly (ethylene glycol)* (PEG) (80,39%; 2008 MPa.s; dan $10,02 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), sehingga PVP dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada membran PVDF daripada PEG.

Membran NF berbasis polimer PVDF seperti yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya memiliki sifat yang hidrofobik, sehingga mudah mengalami *fouling*. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pada *surface* membran untuk mengurangi *fouling*. Modifikasi *surface* membran dapat didasarkan pada dua hal, yaitu perbedaan *size exclusion* dan ikatan elektrostatisnya (Christy *et al.*, 2015). Ion logam yang akan direjeksi untuk mengurangi *fouling* memiliki *charge*, sehingga modifikasi *surface* membran dengan menginkorporasikan nanopartikel yang memiliki *charge* dapat dilakukan untuk mengurangi *fouling* pada membran tersebut.

Inkorporasi nanopartikel ke dalam struktur membran menyebabkan perubahan morfologi membran dan kinerja pemisahan karena luas permukaan yang besar, ukurannya yang kecil, dan interaksi yang baik dengan matriks membran. Nanopartikel berbasis logam dan oksida logam seperti ZnO, TiO₂, Fe₃O₄, CuO, Cu, dan Ag adalah nanomaterial populer untuk pembuatan membran NF karena sifat antibakteri dan *antifouling* yang baik (Hosseini *et al.*, 2020; Pakan *et al.*, 2023). Selain itu, CuO juga memiliki banyak keunggulan, seperti toksisitas rendah, stabilitas termal, stabilitas kimia dan fisik, luas permukaan tinggi, kekuatan mekanik tinggi, meningkatkan hidrofilitas dan porositas, sebagai *pore forming agent*, biaya rendah, sebagai antibakteri, memodifikasi *surface charge*, dan *facile production* (Aniagor *et al.*, 2022; Hosseini *et al.*, 2020; Khoerunnisa *et al.*, 2023; Korkmaz *et al.*, 2016).

Dalam penelitian ini, membran nanofiltrasi akan dibuat dengan menginkorporasikan CuO-NPs ke dalam membran PVDF/PVP menggunakan metode *Non-solvent Induced Phase Separation (NIPS)*. Pengaruh inkorporasi CuO-NPs akan diteliti secara sistematis terhadap karakteristik (interaksi kimia, porositas, hidrofilitas, dan sifat mekanik) dan kinerja (permeabilitas, permselektivitas, *antifouling*, dan *release ion Cu²⁺*) membran nanofiltrasi PVDF/PVP.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian yang diuraikan pada bagian 1.1, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi optimum membran nanofiltrasi PVDF/PVP/CuO-NPs?
2. Bagaimana pengaruh inkorporasi CuO-NPs terhadap karakteristik membran nanofiltrasi PVDF/PVP?
3. Bagaimana pengaruh inkorporasi CuO-NPs terhadap kinerja membran nanofiltrasi PVDF/PVP?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diajukan, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai:

1. Komposisi optimum sintesis membran nanofiltrasi PVDF/PVP/CuO-NPs.
2. Pengaruh inkorporasi CuO-NPs terhadap karakteristik membran nanofiltrasi PVDF/PVP.

3. Pengaruh inkorporasi CuO-NPs terhadap kinerja membran nanofiltrasi PVDF/PVP.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi:

1. Material alternatif membran sesuai dengan aplikasi pemisahan ion garam.
2. Rujukan bagi peneliti lain mengenai pengembangan teknologi membran komposit.

1.5 Struktur Organisasi Skripsi

Struktur organisasi skripsi ini terdiri dari: Bab I pendahuluan, Bab II kajian pustaka, Bab III metode penelitian, Bab IV hasil dan pembahasan, serta Bab V simpulan dan rekomendasi. Bab I membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan struktur organisasi skripsi. Bab II berisi tentang kajian pustaka meliputi teknologi membran, klasifikasi membran, metode fabrikasi membran, PVDF, PVP, CuO-NPs, nanofiltrasi, karakterisasi membran, kinerja membran nanofiltrasi, serta kajian penelitian-penelitian sebelumnya. Bab III berisi tentang metode, alat, bahan, dan langkah kerja penelitian. Bab IV berisi tentang temuan dan pembahasan penelitian. Bab V berisi tentang kesimpulan dan saran.