

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Teknologi pemisahan dan pemurnian bahan kimia merupakan bagian dari penelitian kimia yang menarik dan terus berkembang. Dalam industri, umumnya teknik pemisahan yang paling banyak digunakan berbasis distilasi, yaitu pemisahan campuran berdasarkan perbedaan titik didih (Altay *dkk.*, 2025). Sayangnya teknik ini menghabiskan energi dan kurang efisien dalam pemisahan campuran senyawa yang memiliki titik didih berdekatan atau membentuk interaksi azeotrop (Plata-Gryl *dkk.*, 2024). Pemisahan etanol dengan air merupakan salah satu contoh pemisahan kimia yang sulit dilakukan karena air dan etanol membentuk interaksi azeotrop. Interaksi tersebut menyebabkan sulitnya pemisahan dengan distilasi sederhana, sehingga etanol dengan tingkat kemurnian tinggi tidak dapat diperoleh dengan mudah. Umumnya proses pemisahan melalui teknologi tradisional berbasis termal seperti ekstraksi, distilasi, dan kristalisasi tidak cukup untuk memisahkan azeotrop (Zhang *dkk.*, 2024). Teknik distilasi azeotrop atau pun distilasi ekstraktif dikembangkan untuk memisahkan campuran azeotrop secara efektif (Wang *dkk.*, 2021). Namun, proses tersebut memiliki prosedur yang rumit dan membutuhkan konsumsi energi yang sangat besar. Distilasi konvensional menyumbang 40–60% total energi yang digunakan di industri kimia, sementara distilasi azeotropik untuk etanol-air membutuhkan > 15 MJ/kg etanol (Plesu Popescu *dkk.*, 2021, Tahir *dkk.*, 2025). Padahal, permintaan bioetanol global diproyeksikan mencapai 140 miliar liter pada 2030, sehingga teknologi hemat energi seperti pervaporasi menjadi kritis.

Hal ini menjadi tantangan tersendiri mengingat etanol merupakan salah satu substansi organik yang memiliki penggunaan yang luas di berbagai aplikasi seperti farmasi, industri kimia, hingga sumber energi terbarukan untuk menggantikan sebagian bahan bakar fosil (Vane, 2019). Oleh karena itu, teknologi berbasis membran seperti pervaporasi muncul sebagai solusi yang menjanjikan. Berbeda dengan distilasi, pervaporasi hanya mengonsumsi 10% energi dan dapat mencapai kemurnian etanol $> 99,5\%$ (Plata-Gryl *dkk.*, 2024) .

Pervaporasi yang merupakan teknologi separasi berbasis membran telah banyak digunakan untuk permeasi selektif dan pemisahan air atau senyawa organik yang bersifat volatil (Liu *dkk.*, 2021). Pervaporasi merupakan teknologi pemisahan yang bergantung pada lapisan selektif yang umumnya memiliki afinitas yang tinggi dengan komponen yang akan dikumpulkan pada sisi permeat (Lecaros *dkk.*, 2021). Pervaporasi juga menjadi teknologi separasi membran yang menjanjikan dalam pemisahan campuran larutan yang membentuk azeotrop karena kemudahan dalam pengoperasian dan konsumsi energi yang rendah (Lecaros *dkk.*, 2022, Yong dan Zhang, 2021).

Grafena oksida (GO) memiliki struktur dua dimensi (2D) serta sifat fisiokimia yang baik sehingga memiliki potensi dalam aplikasi pemurnian air karena struktur berlapis-lapis yang teratur dan kemampuannya dalam transpor molekul air rendah gesekan (Liu *dkk.*, 2015, Liu *dkk.*, 2020). Gugus fungsional dari GO (seperti gugus epoksi, hidroksil, dan karboksil) juga dapat dimodifikasi secara kimiawi selama proses fabrikasi untuk membentuk saluran transportasi air antar lembaran GO (Liu *dkk.*, 2021). Namun, interaksi GO dengan molekul alkohol dapat

menyebabkan *swelling* yang mengakibatkan penurunan kemampuan selektivitas dan mudah mengalami kerusakan akibat dari faktor eksternal (Hao *dkk.*, 2020). Membran GO juga biasanya memiliki faktor pemisahan yang rendah, ketidakstabilan dalam aplikasi jangka panjang, serta muatan negatif pada GO juga dapat menyebabkan kompleksasi elektrostatik dengan polimer yang dapat menyebabkan presipitasi *filler* polimer yang berlebihan yang tidak menguntungkan pada preparasi (Lecaros *dkk.*, 2020, Liang *dkk.*, 2020).

Berbagai modifikasi telah dilakukan untuk mengatasi kekurangan GO. Modifikasi GO dengan *octa ammonium polyhedral oligomeric silsesquioxane* (oa-POSS) meningkatkan selektivitas air-etanol hingga 1.200 tetapi memerlukan kondisi pH oa-POSS spesifik (Liang *dkk.*, 2021a). Interkalasi GO dengan *copper hydroxide nanostrands* (CHNs) dan lapisan atas *sodium alginate* (SA) dapat menekan *swelling* di samping meningkatkan fluks dan selektivitas, namun operasi jangka panjang hanya terbatas pada 48 jam (Hao *dkk.*, 2020). *Filler* nanokomposit alginat dengan *graphene quantum dots* (GQDs) terbukti dapat mengurangi cacat (*defect*) pada membran dengan radius volume bebas berkisar 2,5 Å meskipun hasil uji menunjukkan kemurnian air hanya mencapai 95% (Lecaros *dkk.*, 2020). Modifikasi lain juga dilakukan oleh Plata-Gryl *dkk.* (2024) dengan menggabungkan *reduced graphene oxide* (rGO) dengan polivinil alkohol (PVA) yang terbukti meningkatkan kekuatan mekanik membran, sayangnya fluks yang diperoleh hanya berkisar 0,4 kg.m⁻².h⁻¹.

Studi terdahulu belum mencapai stabilitas jangka panjang membran GO dalam lingkungan etanol-air (Hao *dkk.*, 2020), dan modifikasi dengan GQDs

cenderung mengurangi permeabilitas air (Lecaros *dkk.*, 2020). Oleh karena itu, diperlukan strategi fabrikasi yang menggabungkan kekuatan mekanik (PVA) dan ketahanan kimia (SA) sebagai lapisan ganda yang belum pernah diterapkan untuk dehidrasi etanol. Kombinasi PVA dan SA belum banyak dieksplorasi untuk dehidrasi etanol. PVA dapat membentuk ikatan hidrogen kuat dengan GO untuk meningkatkan stabilitas mekanik (Plata-Gryl *dkk.*, 2024), sementara SA membentuk lapisan hidrofilik yang menekan *swelling* selektif terhadap etanol (Hao *dkk.*, 2020). Pendekatan ini berpotensi mencapai fluks $> 1 \text{ kg/m}^2\text{h}$ dan selektivitas > 500 , melebihi membran GQDs.

Penelitian ini mengembangkan membran GO-PVA/SA dengan optimasi ketebalan lapisan SA untuk menyeimbangkan fluks dan selektivitas, mengacu pada hasil sebelumnya yang menunjukkan peningkatan kinerja dengan lapisan SA (Hao *dkk.*, 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memfabrikasi membran GO-PVA/SA untuk dehidrasi etanol dengan target untuk mencegah *swelling*, adsorpsi air selektif, dan meningkatkan daya tahan membran.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh membran GO, GO/SA1, GO/SA2, GO-PVA/SA1, dan GO-PVA/SA2 melalui *vacuum assisted filtration*.
2. Menentukan hubungan antara komposisi SA dan PVA terhadap karakteristik membran komposit yang dihasilkan.
3. Mengidentifikasi kemampuan selektivitas membran GO, GO/SA, dan GO-PVA/SA dalam pemisahan campuran air-etanol.