

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Seiring perkembangan teknologi pemisahan secara pesat, perhatian besar diberikan pada penggunaan material berbasis grafena, terutama grafena oksida (GO), sebagai bahan membran untuk aplikasi desalinasi. GO memiliki struktur yang unik, yaitu terdiri dari lapisan atom karbon yang tersusun dalam bentuk dua dimensi. Struktur ini memberikan sifat mekanik yang sangat kuat dan sifat kimia yang fleksibel, yang menjadikannya material yang menarik untuk digunakan dalam teknologi membran (Kim dkk., 2012). Salah satu keunggulan utama GO adalah keberadaan gugus fungsi oksigen, seperti epoksida, hidroksil, dan karboksil, pada permukaannya. Gugus fungsi tersebut memungkinkan modifikasi lebih lanjut pada GO. Sifat permukaan dan permeabilitas membran kemudian dapat disesuaikan untuk kebutuhan desalinasi (Yu dkk., 2020).

Darmawan dkk. (2023) melakukan penelitian menggunakan membran GO dan menghasilkan nilai penolakan garam dan permeabilitas yang cukup tinggi. Nilai penolakan garam dan permeabilitas yang dihasilkan berturut-turut sebesar 92,28% dan $11,42 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ pada larutan feed NaCl 1% dan suhu desalinasi 30°C. Terlepas dari hasil tersebut, membran berbasis GO murni masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utama adalah kecenderungan membran GO mengalami penumpukan garam dan kontaminan lain yang menurunkan performanya seiring waktu (Goh dkk., 2018). Stabilitas GO dalam kondisi operasional tertentu, khususnya pada lingkungan dengan konsentrasi

garam tinggi, juga belum optimal. Ketahanan jangka panjangnya masih terbatas sehingga efisiensi pemisahan menurun ketika digunakan secara berulang. Diperlukan upaya inovatif dalam memodifikasi material GO agar hambatan tersebut dapat teratasi dan kinerja membran dapat ditingkatkan secara menyeluruh.

Pendekatan yang dinilai efektif dalam memperbaiki performa membran GO adalah dengan melakukan modifikasi menggunakan polimer. Muhtar dan Darmawan (2023) melakukan modifikasi membran GO dengan menambahkan polistirena sulfonat dan mampu meningkatkan nilai penolakan garam dari 98,68% menjadi 99,99% dan nilai fluks air dari $8,16 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ menjadi $10,67 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Penambahan polimer juga terbukti meningkatkan stabilitas dari membran GO bahkan hingga 100 jam pemakaian. Keterbatasan tetap ditemukan pada polimer linier karena struktur molekulnya kurang efektif dalam menghambat pengotoran. Salah satu alternatif yang menjanjikan untuk meningkatkan sifat tahan pengotoran membran adalah penggunaan *hyperbranched polymer* (HBP). Salah satu indikator utama dalam menilai kinerja tahan pengotoran tersebut adalah *flux recovery ratio* (FRR). Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan membran dalam memulihkan kembali fluks air setelah mengalami pengotoran/penyumbatan dan melalui proses pencucian. Semakin tinggi nilai FRR, semakin rendah pengotoran pada permukaan membran serta semakin baik kemampuan tahan pengotoran yang dimiliki.

Komposit berbasis polimer linier seperti GO/PVA/NaAlg memiliki nilai FRR sebesar 90,1% (Ghobadi Moghadam dan Hemmati, 2023), sedangkan PEI/GO hanya menghasilkan FRR sekitar 40% (Bandeali dkk., 2020). Kinerja yang jauh

lebih baik ditunjukkan oleh komposit GO berbahan dasar HBP, misalnya Poliamidoamina (PAMAM), dengan nilai FRR mencapai 98% (Yang dkk., 2025). PAMAM adalah polimer dengan struktur percabangan yang sangat tinggi, yang memberikan beberapa sifat unik. Polimer ini memiliki luas permukaan yang besar dan kepadatan gugus fungsional yang tinggi. Kedua sifat tersebut memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan molekul-molekul lain (Kim dan Webster, 2002). PAMAM juga memiliki kemampuan yang baik untuk meningkatkan stabilitas mekanik dan selektivitas membran, sekaligus meningkatkan permeabilitas air (Kong dkk., 2016).

Dengan menggabungkan GO dan PAMAM, diharapkan membran yang dihasilkan memiliki performa yang jauh lebih unggul dibandingkan dengan membran GO murni. Modifikasi ini diharapkan dapat meningkatkan stabilitas jangka panjang membran, sehingga lebih tahan terhadap kondisi operasional yang berat. Modifikasi tersebut juga berperan dalam mengurangi kecenderungan membran untuk tersumbat. Kombinasi GO dan PAMAM juga dapat meningkatkan selektivitas membran dalam memisahkan air dari garam. Pemisahan yang lebih efisien tersebut menghasilkan air yang lebih murni dengan efisiensi kinerja yang lebih tinggi. Penggunaan GO yang dimodifikasi dengan PAMAM juga berpotensi meningkatkan keberlanjutan teknologi desalinasi. Dengan konsumsi energi yang lebih rendah dan limbah yang lebih sedikit, teknologi ini dapat menjadi solusi yang lebih ramah lingkungan. Keunggulan tersebut membuatnya lebih berkelanjutan dibandingkan metode konvensional. Stabilitas membran yang lebih baik memungkinkan teknologi pervaporasi digunakan lebih lama tanpa penggantian

terus-menerus. Penggunaan jangka panjang ini membantu menurunkan biaya operasional secara keseluruhan (Liu dan Jin, 2021).

Pengembangan membran GO yang dimodifikasi PAMAM merupakan langkah penting untuk meningkatkan kinerja teknologi desalinasi saat ini. Kombinasi material grafena dan struktur polimer bercabang ini dapat menghasilkan membran yang lebih efisien dan lebih tahan lama. Teknologi tersebut juga berpotensi menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat dunia.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan desain membran desalinasi dengan pendekatan komposit berbasis GO yang lebih baru. Struktur membran dirancang dengan inspirasi bentuk akar serabut untuk meningkatkan fungsinya. Permukaan GO dilapisi PAMAM sehingga terbentuk percabangan mirip serabut akar pada permukaan GO. Struktur bercabang ini berfungsi sebagai perangkap ion dan penghambat penyumbatan pada antarlapis GO. Fokus penelitian tidak lagi pada penggunaan GO secara konvensional sebagai bahan membran. Fokus utama diarahkan pada rekayasa permukaan GO menggunakan struktur bercabang PAMAM. Kebaruan pendekatan ini terletak pada penerapan prinsip bioinspirasi dalam desain membran. Pendekatan ini berbeda dari studi sebelumnya yang menekankan sifat mekanik atau permeabilitas. Hipotesis penelitian menyatakan bahwa struktur PAMAM bercabang mampu meningkatkan selektivitas transportasi air. Struktur ini juga diperkirakan dapat menurunkan penyumbatan antarlapis GO. Dengan demikian, kinerja desalinasi dapat meningkat dibanding membran GO tanpa modifikasi. Konsep ini diharapkan menghasilkan membran yang lebih efisien

dalam proses desalinasi. Konsep ini juga diharapkan memberikan durabilitas operasi yang lebih baik. Durabilitas tinggi masih menjadi tantangan dalam pengembangan membran berbasis grafena.

I.2. Rumusan Masalah

- a. Bagaimana cara memodifikasi struktur GO untuk meningkatkan kinerja membran desalinasi?
- b. Bagaimana pengaruh penambahan PAMAM terhadap struktur antarlapisan, sifat permukaan, dan stabilitas jangka panjang membran GO?
- c. Bagaimana mekanisme kerja PAMAM dalam meningkatkan sifat tahan pengotoran membran GO?
- d. Bagaimana cara memvalidasi model membran komposit GO-PAMAM?

I.3. Tujuan Penelitian

- a. Merancang dan mengembangkan membran komposit berbasis GO yang dimodifikasi dengan PAMAM untuk meningkatkan kinerja desalinasi.
- b. Memvalidasi model membran komposit GO-PAMAM melalui karakterisasi struktur dan sifat membran
- c. Mengevaluasi pengaruh struktur bercabang dari PAMAM terhadap karakteristik membran, meliputi stabilitas antarlapis, permeabilitas air, penolakan ion, serta sifat tahan pengotoran.
- d. Mengkaji kinerja desalinasi dan kestabilan performa dalam penggunaan jangka panjang dari membran.

I.4. Manfaat Penelitian

- a. Menghasilkan desain membran baru dengan struktur GO-PAMAM yang memiliki efisiensi tinggi, stabilitas jangka panjang, dan kinerja desalinasi yang unggul untuk aplikasi desalinasi.
- b. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap pemahaman mekanisme kerja PAMAM dalam meningkatkan sifat tahan pengotoran membran berbasis GO.
- c. Memberikan kontribusi ilmiah berupa data performa dan ketahanan membran GO-PAMAM yang dapat menjadi dasar pengembangan membran komposit generasi berikutnya untuk teknologi desalinisasi yang lebih berkelanjutan.