

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan teknologi membran dalam berbagai aplikasi biomedis dan industri menjadi semakin luas pada beberapa tahun terakhir. Hal ini karena membran memiliki keunggulan yaitu kebutuhan energi yang rendah, tidak perlu aditif, tidak ada perubahan fase dan integrasi ke dalam proses pemisahan lainnya (Xiao dkk., 2011). Membran merupakan lapisan tipis yang berfungsi untuk memisahkan dan menghilangkan zat-zat yang tidak diinginkan secara selektif berdasarkan ukuran, muatan dan karakteristik fisikokimia lainnya (Edward dkk., 2024). Membran memiliki kemampuan untuk menjadi solusi yang efektif dan ramah lingkungan dalam pemisahan dan pemurnian.

Pada aplikasi biomedis, membran dapat digunakan dalam proses hemodialisis sebagai terapi pengganti fungsi ginjal pada pasien gagal ginjal akut maupun kronis. Penyakit ginjal kronis (PGK) menjadi masalah kesehatan global utama, yang mempengaruhi sekitar 10% populasi dunia dan diperkirakan akan tumbuh setiap tahunnya, mendekati 5 juta pada tahun 2025 (Bikbov dkk., 2020; Said dkk., 2021). Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar prevalensi PGK di Indonesia sebesar 0,38 % atau 3,8 orang per 1000 penduduk, dan sekitar 60% penderita gagal ginjal tersebut harus menjalani dialisis (Riskesdas, 2018). Proses hemodialisis melibatkan membran yang bersifat semipermeabel dapat secara selektif menghilangkan produk sisa metabolisme protein bermolekul rendah yang beracun seperti kreatinin dan urea, dengan tetap mempertahankan protein bermanfaat bagi tubuh (Said dkk., 2021). Membran hemodialisis memiliki syarat yaitu memiliki pori yang kecil, kekuatan mekanik, biokompatibel, memiliki gugus aktif untuk menangkap permeat, dan hemokompatibel (Radu & Voicu, 2022). Kelemahan utama membran hemodialisis saat ini adalah hemokompatibilitas yang masih rendah sehingga harus ditingkatkan (Mollahosseini dkk., 2020).

Dalam bidang lingkungan, pemanfaatan membran untuk adsorpsi zat warna dalam pengolahan air dapat menjadi salah satu solusi penting untuk mengatasi

pencemaran air akibat limbah organik berbahaya. Zat warna merupakan masalah utama di lingkungan perairan karena ketahanan struktur dan toksisitasnya (Akichouh dkk., 2024; Bharathiraja dkk., 2019). Produksi pewarna global diperkirakan mencapai 800.000 ton per tahun, di mana sekitar 20% dibuang ke badan air pada tahap akhir proses industri, sehingga diperlukan material adsorben yang efektif untuk menghilangkan zat warna tersebut (Cheng dkk., 2023). Salah satu jenis pewarna sintetis yang banyak digunakan adalah pewarna kationik, seperti kristal violet. Dalam aplikasi adsorpsi, keberadaan gugus fungsi aktif pada membran memegang peranan penting karena menentukan kapasitas dan efisiensi penjerapan polutan (Ullah dkk., 2025).

Membran yang digunakan untuk hemodialisis dan adsorpsi zat warna memerlukan karakteristik yang serupa. Keduanya membutuhkan membran yang memiliki sifat porositas yang baik, sifat hidrofilik, kuat secara mekanik dan juga permukaan dengan gugus aktif yang melimpah. Karakteristik tersebut dapat diperoleh melalui pemilihan material yang tepat, karena dapat mempengaruhi reaksi biologis dalam aplikasi hemodialisis dan kapasitas adsorpsi zat warna. Membran dapat dibuat dengan polimer sintesis dan alami. Polimer sintetis dalam pembuatan membran banyak digunakan karena efektivitasnya. Namun, kekhawatiran tentang biodegradabilitas polimer sintetis telah memicu minat pada membran dan adsorben berbasis biopolimer. Membran atau adsorben berbasis biopolimer menawarkan alternatif menarik karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan (Kolya dan Kang, 2023). Biopolimer adalah polimer yang diproduksi dari organisme hidup atau sumber daya terbarukan, seperti polisakarida yang dihasilkan, yang meliputi kitosan, selulosa, kitin, dan alginat (Picos-Corrales dkk., 2023).

Kitosan adalah biopolymer yang berasal dari kitin yang memiliki sifat unggul seperti biodegradabel, non toksik, biokompatibel dan cukup reaktif sehingga menjanjikan digunakan sebagai material membran (Han dkk., 2020; Liu dkk., 2024). Kitosan memiliki 2 gugus aktif $-OH$ dan $-NH_2$ yang memiliki sifat fisikokimia dan biologis serta terbukti telah digunakan untuk bidang dan aplikasi yang beragam. Kitosan dapat membentuk membran atau film tipis (Lauriano Souza

dkk., 2018) dan juga mudah dimodifikasi. Namun, membran kitosan memiliki luas permukaan spesifik atau situs aktif, stabilitas dan kekuatan mekanik yang rendah, serta mudah larut dalam kondisi asam akibat protonasi kelompok amino, yang membatasi penggunaannya sebagai adsorben dalam rentang pH yang luas (Abd El-Monaem dkk., 2022; Mashile dkk., 2020). Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pada struktur dan permukaan membran kitosan untuk meningkatkan karakteristik fisik dan selektivitas membran (Torkaman dkk., 2021). Metode yang dapat digunakan untuk memodifikasi kitosan antara lain modifikasi gugus permukaan membran melalui reaksi taut silang dengan gugus lain dan paduan dengan polimer kaya situs aktif (Kumar dkk., 2020).

Sifat mekanik kitosan dapat ditingkatkan dengan modifikasi taut silang menggunakan bahan seperti aldehida, terutama dialdehida seperti glutaraldehida. Masalah utama glutaraldehida sebagai pengikat silang adalah toksisitas zat yang secara negatif mempengaruhi biokompabilitasnya (Hamedi dkk., 2018). Vanilin sebagai agen penghubungan silang untuk kitosan telah menarik perhatian dalam beberapa penelitian terakhir. Berdasarkan penelitian (Xu dkk., 2018) taut silang kitosan dengan vanilin dapat meningkatkan kekuatan mekanik membran. Vanilin merupakan senyawa organik alami dengan gugus monoaldehida dan gugus hidroksil fenolik (Kwon dkk., 2013). Reaksi basa Schiff, serangan nukleofilik amina primer kitosan terhadap gugus vanilin aldehida menghasilkan ikatan imina, mengidentifikasi vanilin sebagai agen taut silang alami (Xu dkk., 2018). Ikatan silang tidak hanya melibatkan pembentukan imina tetapi juga ikatan hidrogen antara gugus hidroksil vanilin dan gugus hidroksil atau amina kitosan (Alavarse dkk., 2022). Dalam penelitian Eghbali dkk., (2023) kitosan/vanilin telah dilakukan pada aplikasi biomedis. Kitosan/vanilin sebagai pembalut luka menunjukkan kapasitas penyembuhan yang baik dengan porositas tinggi, ukuran pori yang seragam, dan stabilitas mekanik membran meningkat. Berdasarkan penelitian Westlake dkk., (2023), taut silang kitosan dan vanilin menunjukkan kuat tarik mencapai nilai sekitar $20,9 \pm 2,9$ MPa, mengalami peningkatan hingga 50% dibandingkan film kitosan murni.

Modifikasi yang dapat dilakukan selanjutnya adalah metode pemaduan dengan materi lain untuk mengoptimalkan kitosan. Gelatin digunakan sebagai paduan karena memiliki kemampuan biokompabilitas dan adhesi sel yang baik karena terdiri dari rangkaian asam amino, sehingga dapat meningkatkan sisi aktif membran (Mathew & Arumainathan, 2022). Gelatin memiliki gugus hidroksil, karboksil, dan amino dalam rantai molekulnya (Liu dkk., 2021) sehingga dapat digunakan sebagai situs untuk berinteraksi dengan urea dan kreatinin serta megadsorpsi zat warna. Paduan kitosan dan gelatin dapat bergabung melalui ikatan hidrogen yang kuat (Akhavan-Kharazian & Izadi-Vasafi, 2019). Gelatin telah banyak digunakan sebagai penghantar obat dan bahan pembalut luka (D'souza dkk., 2023; Mathew & Arumainathan, 2022). Beberapa penelitian juga telah menggunakan gelatin untuk pengolahan air seperti desalinasi dan adsorpsi. Menurut penelitian Yao dkk. (2023) membran kitosan gelatin yang dimodifikasi Fe-pillared montmorillonite mampu mengadsorpsi metilen biru hingga 2208,24 mg/g, metil orange 1167,52 mg/g, dan tetracycline hydrochloride (TCH) 806,31 mg/g.

Pada penelitian ini dikembangkan membran berbasis kitosan yang dimodifikasi melalui taut silang dengan vanilin untuk meningkatkan stabilitas struktur serta dipadukan dengan gelatin untuk meningkatkan hidrofilisitas, jumlah sisi aktif, dan porositas. Membran yang dihasilkan dievaluasi untuk transport kreatinin dan urea serta adsorpsi kristal violet. Sepanjang pengetahuan penulis, belum terdapat laporan dalam literatur mengenai pemanfaatan biopolimer kitosan, vanilin, gelatin yang dimodifikasi sebagai membran untuk aplikasi dual fungsi pada hemodialisis dan adsorpsi zat warna. Membran diharapkan memiliki karakteristik, kinerja dialisis, kemampuan adsorpsi, dan hemokompatibilitas yang baik untuk mendukung aplikasi pada bidang medis dan lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana pengaruh modifikasi membran menggunakan vanilin dan gelatin terhadap karakteristik fisikokimia membran?
2. Bagaimana kinerja transport membran modifikasi dalam proses dialisis kreatinin dan urea?

3. Apakah membran modifikasi memiliki sifat hemokompatibilitas yang memadai untuk digunakan sebagai membran hemodialisis?
4. Bagaimana efektivitas adsorpsi membran modifikasi terhadap zat warna sintesis kristal violet?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menentukan pengaruh modifikasi membran menggunakan vanilin dan gelatin terhadap karakteristik fisikokimia membran.
2. Mengetahui kinerja transport membran modifikasi dalam proses dialisis kreatinin dan urea.
3. Menilai sifat hemokompatibilitas membran modifikasi sebagai membran hemodialisis
4. Menentukan efektivitas adsorpsi membran modifikasi terhadap zat warna sintesis kristal violet

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material membran berbasis biopolimer alami yang multifungsi untuk aplikasi medis dan lingkungan. Hasil penelitian ini dapat menambah pengetahuan mengenai pengaruh taut silang vanilin dan penambahan gelatin terhadap karakteristik fisikokimia, struktur, serta kinerja membran kitosan.

Dalam aplikasinya diharapkan membran kitosan-vanilin-gelatin ini berpotensi digunakan sebagai membran hemodialisis yang efisien dan hemokompatibel. Selain itu, kemampuan membran dalam mengadsorpsi zat warna sintesis menunjukkan potensi pemanfaatannya dalam proses pengolahan air, khususnya untuk mengurangi senyawa toksik atau polutan berbahaya, sehingga memperluas potensi aplikasi membran biopolimer dalam lingkungan.

1.5 Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terdapat pada modifikasi material membran biopolimer kitosan dengan menggabungkan vanillin dan gelatin dengan variasi konsentrasi sebagai material multifungsi untuk aplikasi medis dan lingkungan.

Tabel I.1 menunjukkan rangkuman penelitian yang telah dilakukan terkait modifikasi kitosan dengan vanillin dan juga gelatin serta aplikasinya.

Tabel I.1 Rangkuman penelitian terdahulu terkait membran kitosan, vanilin dan gelatin

Material	Aplikasi	Hasil
Kitosan/Gelatin/Sinna maldehida (Kenawy dkk., 2019)	Pembalut luka antibakteri	Hidrofilik, aktivitas antibakteri baik, sifat mekanik memadai
Kitosan–L-sistein–Bentonit (CS-Cys/Bent) (Ahmad & Ejaz, 2023)	Adsorpsi zat warna kristal violet	Kapasitas maksimum: 240 mg/g, isotherm Freundlich, kinetika pseudo orde dua, sifat endotermik
Kitosan/Vanilin hidrogel (Eghbali dkk., 2023)	Biomedis (<i>scaffold</i> jaringan)	Ukuran pori-pori morfologi SEM lebih kecil ($80 \pm 15 \mu\text{m}$), porositas yang tinggi ($93 \pm 2,3\%$), viabilitas sel yang lebih besar, aktivitas antibakteri, dan kekuatan mekanik yang lebih besar
Kitosan/Vanilin/Nano cellulose/CuO-Ag (Amir dkk., 2024)	Pembalut luka antibakteri	Kekuatan mekanik membran meningkat hingga $49,985 \pm 2,31$ MPa, swelling hingga 191,67% dan menunjukkan sifat biodegradasi dan viabilitas sel tinggi hingga 92,30%