

REVIEW : PERFORMA MEMBRAN KOMPOSIT MENGGUNAKAN ALIRAN DEAD-END FILTRATION

¹⁾Anis As'adah, dan ²⁾Munasir

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: anis.19003@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: munasir_physics@unesa.ac.id

Abstrak

Teknologi berbasis membran merupakan salah satu teknologi pengolahan air yang paling banyak diminati saat ini karena memiliki beberapa manfaat seperti konsumsi energi yang begitu relatif rendah dan operasi yang sederhana. Membran *Graphene Oxide* (GO) termasuk membran yang banyak diminati karena memiliki porositas GO yang tinggi serta ukuran pori nano yang baik. Sehingga dilakukan review artikel tentang performa membran komposit menggunakan aliran *dead-end filtration*. Bahan-bahan lain yang dapat dikompositkan dengan membran GO seperti $Ti_3C_2T_x$, Ni, *Isophorone Diisocyanate* (IPDI), TiO_2 , Ag, PAM, *Attapulgate* (ATP) dan SiO_2 yang memiliki potensi untuk filtrasi yang berbeda-bedaseperti untuk filtrasi pada pemisahan molekul dan pengolahan air, filtrasi untuk zat pewarna dan lain-lain. Dalam proses filtrasi membran untuk aliran *dead-end filtration* merupakan aliran yang secara keseluruhannya akan melewati suatu membran serta partikel akan tertahan pada membran tersebut. Pada review artikel ini didapatkan membran komposit GO/ SiO_2 yang memiliki performa baik dilihat dari nilai fluks tertinggi sebesar 229.15 L/m².h.bar di antara membran komposit yang lain dan berpotensi untuk filtrasi pencemaran air.

Kata Kunci: *Membran Komposit, Graphene Oxide, Dead-End Filtration*

Abstract

Membrane-based technology is one of the most popular water treatment technologies today because it has several benefits such as relatively low energy consumption and simple operation. Graphene Oxide (GO) membranes are among the membranes that are in great demand because they have high GO porosity and good nano pore sizes. Therefore, a review of articles on the performance of composite membranes using dead-end filtration was carried out. Other materials that can be composited with GO membranes such as $Ti_3C_2T_x$, Ni, Isophorone Diisocyanate (IPDI), TiO_2 , Ag, PAM, Attapulgate (ATP) and SiO_2 which have different potential for filtration such as for filtration in molecular separation and water treatment, filtration for dyes and others. In the membrane filtration process for dead-end filtration flow is a flow that as a whole will pass through a membrane and the particles will be stuck on the membrane. In this review article, it was found that the GO/ SiO_2 composite membrane had good performance in terms of the highest flux value of 229.15 L/m².h.bar among other composite membranes and has the potential to filter water pollution.

Keywords: *Composite Membrane, Graphene Oxide, Dead-End Filtration*

I. PENDAHULUAN

Pada era sekarang teknologi pengolahan air sedang banyak diminati oleh peneliti salah satunya yaitu teknologi berbasis membran. Hal tersebut banyak diminati oleh peneliti dikarenakan memiliki beberapa keuntungan seperti efisiensi tinggi dalam penghapusan dari berbagai macam pencemaran air, konsumsi energi yang relatif rendah dan ramah lingkungan (Naseeb *et al.*, 2019). Membran yang banyak menarik perhatian saat ini adalah membran *Graphene Oxide* (GO). Membran GO diminati banyak kelebihan karena memiliki ukuran pori yang berskala nano, kekuatan mekanik yang baik, dapat diaplikasikan pada penyimpanan gas (Zhang *et al.*, 2017).

Terdapat beberapa metode untuk sintesis grafen metode *Hummer's* yang termasuk metode dengan sintesis yang paling banyak digunakan untuk proses sintesis GO (Jhaveri & Murthy, 2015). Lapisan GO memiliki peran yang penting untuk sifat anti-fouling (Feng *et al.*, 2021). Membran GO juga memiliki keuntungan seperti efisiensi yang tinggi dan untuk operasi yang sederhana (Zhang *et al.*, 2017). Namun, banyak peneliti yang mengkompositkan membran GO dengan bahan lain untuk meningkatkan hasil performanya. Sehingga banyak peneliti yang mengkompositkan membran GO dengan bahan lain seperti membran komposit GO/SiO₂ (Du *et al.*, 2020).

Bahan-bahan lain yang dapat dikompositkan dengan membran GO seperti Ti₃C₂T_x, Ni, *Isophorone Diisocyanate* (IPDI), TiO₂, Ag, PAM dan *Attapulgit* (ATP) yang memiliki potensi pada filtrasi yang berbeda-beda. Bahan-bahan tersebut dapat digunakan pada filtrasi untuk pemisahan molekul dan pengolahan air (Kang *et al.*, 2017), filtrasi untuk zat pewarna dan antibakteri (Zhao *et al.*, 2019) dan filtrasi untuk ion logam berat dari air limbah (Zhang *et al.*, 2017). Setiap bahan tersebut memiliki kelebihannya masing-masing untuk meningkatkan performa membran. Seperti halnya pada SiO₂ sebagai nanopartikel yang memiliki beberapa kelebihan seperti sifat mekanik yang baik, sifat fotolistrik pada suhu tinggi dan proses persiapan yang sederhana. Membran komposit GO/SiO₂ juga mempunyai potensi yang besar dalam bidang pengolahan air (Du *et al.*, 2020).

Dalam proses filtrasi membran, terdapat aliran yang umum digunakan yaitu *dead-end filtration*. Aliran tersebut biasanya digunakan dalam penelitian laboratorium (Hu *et al.*, 2020). Pada proses filtrasi tersebut untuk mengetahui performa membran sendiri dapat dilihat dari perhitungan nilai fluks yang dihasilkan. Dimana fluks digunakan sebagai indikator kemampuan membran tersebut dalam mengalirkan air (Afifah & Damayanti, 2016). Sehingga pada review artikel ini akan dilakukan review tentang membran komposit mana yang menghasilkan nilai fluks tertinggi menggunakan aliran *dead-end filtration*.

1. Membran Komposit

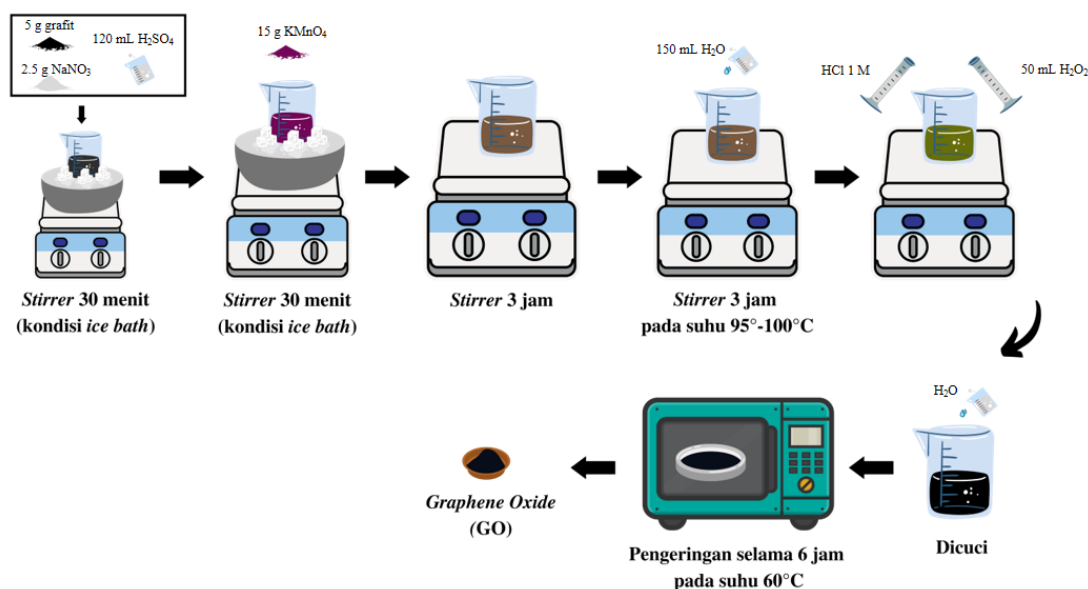
Pada pengolahan air terdapat beberapa teknik seperti teknologi membran, adsorpsi, filtrasi, metode oksidasi tingkat lanjut (seperti ozonasi, biodegradasi dan fotokatalisis) (Fattin *et al.*, 2021) desinfeksi kimia, elektrosorpsi, pertukaran ion dan presipitasi serta (Liu *et al.*, 2020). Dari beberapa teknik pengolahan air tersebut, yang menarik perhatian dan mudah untuk dilakukan adalah teknologi berbasis membran. Teknologi tersebut merupakan salah satu teknologi pengolahan air yang mudah untuk dilakukan karena memiliki beberapa keuntungan seperti efisiensi yang tinggi dalam penghapusan berbagai pencemaran dari air, konsumsi energi yang relatif rendah, ramah lingkungan serta operasi yang sederhana (Naseeb *et al.*, 2019).

Membran adalah suatu penghalang (*Barrier*) antara dua fasa fluida yaitu fase umpan dan fasa permeat yang memungkinkan komponen (ion-ion) dapat lewat serta dapat menahan komponen lain pada aliran fluida yang akan dilewatkan (Ramadhanur & Sari, 2015). Membran memiliki sifat semipermeabel karena dapat menahan spesi yang besar dari ukuran pori membran. Membran juga dapat melewatkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil. Oleh karena itu, membran dapat digunakan pada proses filtrasi (Apriyani, 2017).

Saat ini, untuk pengolahan air dan air limbah sedang didominasi dengan penggunaan membran polimer (Sijabat *et al.*, 2020). Membran polimer memiliki struktur pori yang terkontrol tetapi juga rentan terhadap pengotor dan korosi (Liu *et al.*, 2020). Pada morfologi dan hidrofilitas membran dapat berpengaruh pada fouling membran. Dimana fouling membran adalah suatu proses pengendapan atau adsorpsi koloid,

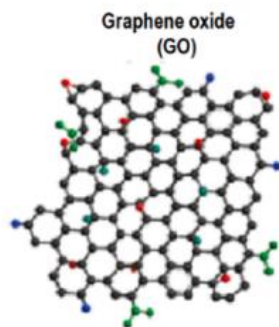
makromolekul (seperti protein) dan yang terdapat pada permukaan membran di dinding atau di dalam pori membran. Hal tersebut dapat mengurangi hasil nilai fluks dan memperpendek untuk umur membran (Jhaveri & Murthy, 2015).

Sehingga banyak peneliti yang tertarik untuk mengembangkan membran komposit GO dikarenakan memiliki potensi dalam pemisahan ion monovalen dan divalen. Membran GO juga memiliki beberapa kelebihan seperti efisiensi yang tinggi dan operasi sederhana (Zhang *et al.*, 2017). Terdapat beberapa metode untuk proses sintesis grafen sendiri dan metode *Hummer's* merupakan metode paling umum untuk digunakan dalam proses sintesis *Graphene Oxide* (GO) (Jhaveri & Murthy, 2015). Metode *Hummer's* pada sintesis GO merupakan metode yang melibatkan berbagai serangkaian reaksi kimia untuk digunakan dalam mengoksidasi grafit menjadi grafit oksida. Perubahan warna larutan menjadi semakin gelap, menunjukkan terjadinya pengelupasan grafit oksida menjadi *Graphene Oxide* (GO) (Suwandana & Susanti, 2015). Secara umum metode sintesis GO dengan metode *Hummer's* seperti pada penelitian (Angesti & Munasir, 2021). Sintesis GO metode *Hummer's* ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Sintesis GO dengan metode *Hummer's*

Graphene adalah salah satu bentuk dari karbon yang terdiri dari atom karbon sp^2 dengan pola berbentuk seperti sarang lebah (Fattin *et al.*, 2021). Grafen telah terbukti sebagai adsorben yang efektif dalam pengolahan air (Lu & Astruc, 2020). GO adalah bentuk teroksidasi dari graphene bersifat hidrofilik (Jhaveri & Murthy, 2015). Skema struktur kimia dari graphene dan graphene oxide (GO) ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Struktur Kimia *Graphene Oxide* (GO) (Fattin *et al.*, 2021)

GO memiliki porositas yang tinggi dan ukuran pori nano yang baik (Zhang et al., 2017). Sifat hidrofilik yang tinggi pada GO dapat disebabkan karena keberadaan beberapa gugus fungsi oksigen yang terdapat pada permukaan membran (Jordan et al., 2016). Saat ini GO menjadi bahan yang populer dalam bidang pemisahan membran. Lapisan GO yang halus tersebut dapat mengurangi permeabilitas membran tetapi sangat penting untuk sifat anti-foulingnya (Feng et al., 2021). GO memiliki yang mudah didispersikan dalam matriks polimer dan meningkatkan kompatibilitas membran (J. Li et al., 2016).

Membran GO juga dapat mengalami efek trade-off antara permeabilitas dan selektivitas pada saat pemurnian air atau pemisahan selektif. Untuk dapat mencapai fluks yang tinggi maka ketebalan dari membran GO harus dikurangi. Permukaan GO memiliki gugus fungsi hidrofilik seperti karbonil, karboksil, epoksi dan hidroksil. Nanosheet GO dapat membentuk struktur laminasi yang efisien untuk molekul air (Luo et al., 2019). Membran GO banyak dikompositkan dengan bahan lain untuk meningkatkan pada performa membran saat filtrasi seperti dengan mengkompositkan membran GO pada $Ti_3C_2T_x$, Ni, *Isophorone Diisocyanate* (IPDI), TiO_2 , Ag, PAM, *Attapulgate* (ATP) dan SiO_2 .

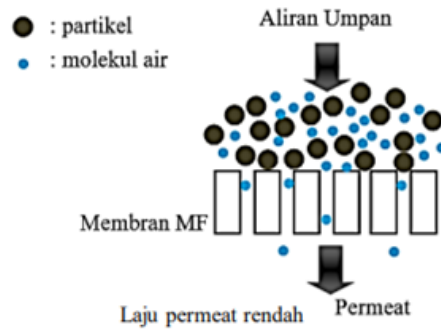
Penambahan nikel (Ni) dapat membantu untuk meningkatkan konduktivitas pada membran tersebut (Zhao et al., 2019). Sedangkan pada membran GO/IPDI sendiri memiliki kelebihan yaitu membran komposit dengan stabilitas yang baik serta permeabilitas dan tingkat penolakan yang tinggi (Zhang et al., 2017). Penambahan nanopartikel antibakteri seperti TiO_2 , Silikon dioksida dan ZnO juga dapat mencegah pertumbuhan biofilm dan pengotoran membran. Nanopartikel perak (AgNPs) memiliki kelebihan yaitu dapat mengurangi biofouling membran. AgNPs memiliki sifat mudah melekat kuat dengan permukaan GO dikarenakan grup fungsional GO memiliki situs nukleasi yang ideal untuk AgNPs (J. Li et al., 2016).

Bahan lain seperti *Attapulgate* (ATP) juga dapat dikompositkan dengan membran GO yang merupakan nanofiber dengan kandungan gugus fungsi hidrofilik besar serta mudah terdispersi dalam air. ATP diharapkan menjadi interkalasi nanomaterial yang ideal untuk membran GO dan dapat meningkatkan kinerja pemisahan membran. Dengan penambahan ATP tersebut bisa saja membuat interspace dari lapisan GO meningkat dan memperluas nanochannels transfer massa untuk meningkatkan permeasi air melalui membran. ATP juga mempunyai kelebihan seperti dapat meningkatkan fluks permeasi membran komposit. Nanofibers ATP memiliki kemampuan memperbesar transfer masa saluran serta meningkatkan kapasitas hidrasi (Luo et al., 2019).

Pada nanopartikel lain seperti SiO_2 memiliki beberapa kelebihan seperti sifat mekanik yang baik, sifat fotolistrik pada suhu tinggi, memiliki sumber yang luas serta proses persiapan yang sederhana. Untuk kelebihan yang lain, nano silika ini dapat dengan mudah digabungkan serta dihibridisasi dengan bahan lain untuk mengembangkan bahan dengan munculnya sifat baru. Komposit GO dengan nano silika memiliki pengaruh terhadap adsorpsi molekul pewarna dalam air. Dengan penggabungan bahan tersebut pada membran berbasis polimer juga dapat meningkatkan permeabilitas air serta dapat meningkatkan kinerja membran pemisahan. Membran komposit GO/ SiO_2 mempunyai potensi yang besar pada bidang pengolahan air (Du et al., 2020). Dari beberapa membran komposit tersebut memiliki kemampuan untuk filtrasi seperti filtrasi untuk pemisahan molekul dan pengolahan air (Kang et al., 2017), filtrasi untuk zat pewarna dan antibakteri (Zhao et al., 2019), filtrasi untuk ion logam berat dari air limbah (Zhang et al., 2017) dan Filtrasi untuk penghilang obat-obat (C. Li et al., 2022).

2. *Dead-End Filtration*

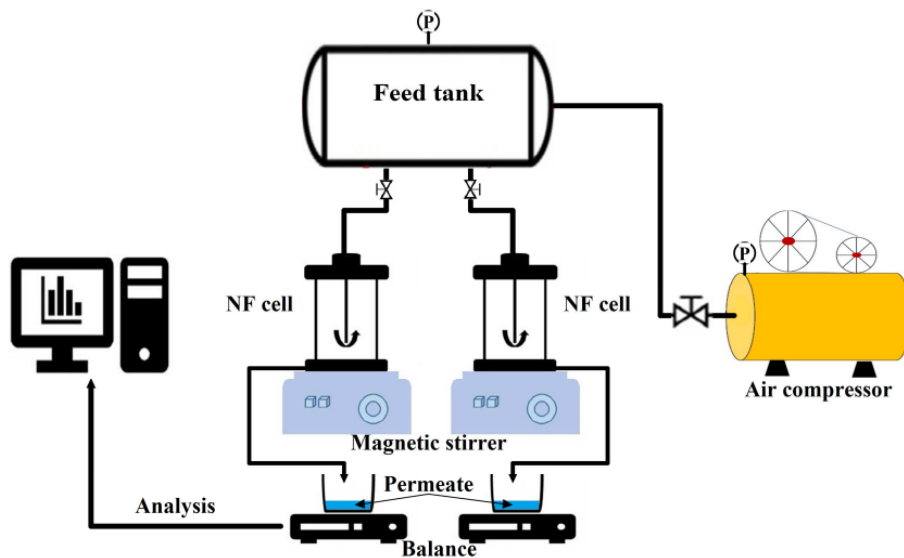
Terdapat dua jenis aliran umpan yang umum digunakan dalam filtrasi membran yaitu *dead-end filtration* dan *cross-flow filtration*. *Dead-end filtration* biasanya digunakan dalam modul filtrasi untuk penelitian laboratorium, sementara *cross-flow filtration* lebih umum untuk digunakan dalam skala industri (Hu et al., 2020). Aliran *dead-end Filtration* ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Aliran *Dead-end filtration* (Shalahuddin & Utara, 2019)

Filtrasi aliran searah melibatkan aliran seluruh umpan yang melewati membran sementara partikel akan tertahan oleh membran (Wahyuni & Damyanti, 2016). Aliran tersebut juga merupakan proses dimana saat dilakukan filtrasi akan berkurang kapasitas filtrasinya karena adanya *fouling* pada membran. Terdapat dua mekanisme dalam metode *dead-end filtration* yaitu penyumbatan pori serta adsorpsi permukaan atau pori pada membran (Afandy *et al.*, 2022). Proses tersebut dapat meningkatkan kemurnian sampel, tetapi dapat mengakibatkan penumpukan partikel yang mengotori filter dan mengurangi pemulihan (Enten *et al.*, 2020).

Proses pemisahan membran dapat menghasilkan permeat dan kosentrat. Dimana kosentrat adalah aliran produk yang masih tertahan oleh membran. Sedangkan permeat adalah aliran produk yang dapat melewati pori-pori membran (Mawaddah, 2015). Pada sistem aliran ini saat aliran air tegak lurus terhadap permukaan membran dapat mengurangi efek polarisasi (Hu *et al.*, 2020). Keunggulan dari aliran *dead-end filtration* yaitu tekanan operasi yang rendah dan biaya operasi yang rendah (Wang *et al.*, 2022). Sedangkan aliran ini memiliki kekurangan yaitu dapat menimbulkan terjadinya *fouling* membran (Setiawan *et al.*, 2013). Ilustrasi *dead-end Filtration* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Ilustrasi *Dead-end filtration* (Kamari & Shahbazi, 2019)

Filtrasi aliran searah dapat terjadi saat umpan mengalir secara tegak lurus terhadap permukaan membran sehingga partikel tertahan di atas membran (Shalahuddin & Utara, 2019). Persamaan dari *dead-end filtration* dan *cross-flow filtration* yaitu sama-sama melibatkan penyaringan cairan dan melewatkan melalui medium filter untuk mendapatkan filtrat (Japonika, 2015). Selain itu, terdapat perbedaan dalam tingkat kejenuhan pada permukaan membran (Mitrouli *et al.*, 2016).

3. Performa Membran

Fluks membran secara signifikan dipengaruhi oleh tekanan yang dioperasikan, ukuran pori dan ketebalan membran (Setiowati & Kusumawati, 2019). Pengujian fluks membran digunakan untuk mengevaluasi kemampuan membran dalam mengalirkan air. Nilai fluks menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengujian, nilai fluks akan cenderung menurun. Penurunan nilai fluks seiring bertambahnya waktu yang disebabkan oleh adanya fouling pada membran (Afifah & Damayanti, 2016). Peningkatan fluks air murni dapat berkaitan dengan sifat hidrofilisitas membran (Fathanah & Meilina, 2021). Namun, biofouling merupakan proses pemisahan membran yang rumit dan tidak dapat dihindarkan yang dapat mengakibatkan penurunan fluks (J. Li *et al.*, 2016). Rata-rata penggunaan persamaan fluks membran dapat diperoleh menggunakan **Persamaan (1)** (Cheng *et al.*, 2019):

$$J = \frac{V}{A \times t \times P} \dots (1)$$

Keterangan:

J	= Fluks (L/m ² .h.bar)
V	= Volume air (L)
A	= Luas filtrasi membran (m ²)
t	= Waktu filtrasi (h)
P	= Tekanan filtrasi vakum (bar)

Sedangkan rejeksi merupakan nilai konsentrasi yang dihasilkan dari zat terlarut saat masih tertahan pada pori membran atau dapat saja tertahan pada permukaan membran. Sehingga saat dilakukan filtrasi maka zat tersebut tidak bisa melewati membran tersebut (Mustabsyirah *et al.*, 2022). Rejeksi juga dapat meningkat seiring dengan ketebalan membran tersebut meningkat (Du *et al.*, 2020). Pada beberapa membran komposit tersebut dilakukan untuk penolakan pada *methylene blue* (MB), *congo red* (CR), *methyl orange* (MO), *methyl red* (MR), *rose bengal* (RosB), *brilliant blue* (BB), *Coomassie Brilliant Blue* (CBB R250), *TMPyP* dan *rhodamine B* (RB). Rejeksi membran dapat diperoleh menggunakan **Persamaan (2)** (Zhang *et al.*, 2017):

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \dots (2)$$

Keterangan:

R	= Koefisien rejeksi (%)
C_p	= Larutan permeate (mg/L)
C_f	= Larutan umpan (mg/L)

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Beberapa membran komposit tersebut memiliki ukuran pori membran membran dengan potensi untuk filtrasi yang berbeda-beda disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Ukuran Pori dan Nilai Sudut Kontak Membran Komposit menggunakan Aliran *Dead-End Filtration*

No	Membran Komposit	Ukuran Pori	Sudut Kontak (°)	Potensi	Referensi
1	GO/Ti ₃ C ₂ T _x	0.2 µm	61	Filtrasi untuk pemisahan molekul dan pengolahan air	(Kang <i>et al.</i> , 2017)
2	GO/Ni	-	11.98	Filtrasi untuk zat pewarna dan anti-bakteri	(Zhao <i>et al.</i> , 2019)
3	GO/IPDI	0.22 µm	53	Filtrasi untuk zat pewarna dan ion logam berat dari air limbah	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
4	GO/TiO ₂	-	-	Filtrasi untuk penghilang obat-obat	(C. Li <i>et al.</i> , 2022)
5	GO/Ag	-	63.4	Filtrasi untuk bakteri dalam air	(J. Li <i>et al.</i> , 2016)
6	GO/PAM	-	65.1	Filtrasi pencemaran zat warna organik	(Cheng <i>et al.</i> , 2019)
7	GO/ATP	0.22 µm	50	Filtrasi untuk molekul organik	(Luo <i>et al.</i> , 2019)
8	GO/SiO ₂	3.97 nm	80.7	Filtrasi untuk pencemaran air	(Du <i>et al.</i> , 2020)

Sehingga dari hasil ukuran pori membran dan nilai sudut membran komposit tersebut untuk performa membran dapat dilihat dari nilai fluks dan rejeksi. Pada **Tabel 2** disajikan hasil performa beberapa membran komposit menggunakan aliran *dead-end filtration*.

Tabel 2 Performa Membran Komposit menggunakan Aliran *Dead-End Filtration*

No	Membran Komposit	Fluks (L/m ² .h.bar)	Rejeksi (%)	Potensi	Referensi
1	GO/Ti ₃ C ₂ T _x	25	61% (MR)	Filtrasi untuk pemisahan molekul dan pengolahan air	(Kang <i>et al.</i> , 2017)
			93.5% (RosB)		
			99.5% (MB)		
			100% (BB)		
2	GO/Ni	38.39	98.02% (CR)	Filtrasi untuk zat pewarna dan anti-bakteri	(Zhao <i>et al.</i> , 2019)
3	GO/IPDI	80~100	46.2% (CU ²⁺)	Filtrasi untuk zat pewarna dan ion logam berat dari air limbah	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
			52.8% (Cd ²⁺)		
			66.4% (PB ²⁺)		
			71.1% (Cr ²⁺)		
			96.2% (RB)		
			96.9% (MO)		
			97.6% (MB)		
			98.24% (CR)		

No	Membran Komposit	Fluks (L/m ² .h.bar)	Rejeksi (%)	Potensi	Referensi
4	GO/TiO ₂	120	-	Filtrasi untuk penghilang obat-obat	(C. Li <i>et al.</i> , 2022)
5	GO/Ag	177.5	-	Filtrasi untuk bakteri dalam air	(J. Li <i>et al.</i> , 2016)
6	GO/PAM	188.89	-	Filtrasi pencemaran zat warna organik	(Cheng <i>et al.</i> , 2019)
7	GO/ATP	221.16	99.88% (CBB R250) 99.93% (TMPyP)	Filtrasi untuk molekul organik	(Luo <i>et al.</i> , 2019)
8	GO/SiO ₂	229.15	>99% (RB)	Filtrasi untuk pencemaran air	(Du <i>et al.</i> , 2020)

III. Pembahasan

Membran GO yang dikompositkan dengan bahan lain tersebut memiliki ukuran pori membran dan nilai sudut kontak yang berbeda-beda pada **Tabel 2**. Sedangkan pada **Tabel 1** di atas dapat dilihat nilai fluks yang diambil pada setiap membran komposit tersebut adalah nilai fluks membran paling tinggi. Sehingga hal tersebut diharapkan dapat diketahui membran komposit mana yang memiliki performa paling baik dilihat dari nilai fluks yang tertinggi. Dapat dilihat bahwa terdapat beberapa membran komposit dari beberapa referensi yang telah ditemukan. Dari beberapa membran komposit tersebut seperti membran GO/Ti₃C₂T_x; GO/Ni; GO/IPDI; GO/TiO₂; GO/Ag; GO/PAM; GO/ATP dan GO/SiO₂ yang menggunakan aliran *dead-end filtration* dengan hasil nilai fluks yang berbeda-beda. Beberapa membran komposit tersebut juga memiliki potensi yang berbeda-beda saat diaplikasikan untuk filtrasi.

Pada **Tabel 1** dari beberapa membran komposit tersebut memiliki ukuran pori membran dan sudut kontak untuk membran GO/Ti₃C₂T_x pada ukuran pori membran sebesar 0.2 µm dan nilai sudut kontak sebesar 61°; membran GO/Ni dengan nilai sudut kontak sebesar 11.98°; membran GO/IPDI dengan ukuran pori membran sebesar 0.22 µm dan nilai sudut kontak sebesar 53°; membran GO-Ag dengan nilai sudut kontak sebesar 63.4°; membran GO-PAM dengan nilai sudut kontak sebesar 65.1°; membran GO-ATP dengan ukuran pori membran sebesar 0.22 µm dan nilai sudut kontak sebesar 50° dan membran GO-SiO₂ dengan ukuran pori membran sebesar 3.97 nm dan nilai sudut kontak sebesar 80.7°.

Sedangkan pada **Tabel 2** untuk hasil fluks membran dari membran GO/Ti₃C₂T_x yang berpotensi untuk filtrasi pemisahan molekul dan pengolahan air menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 25 L/m².h.bar; membran GO/Ni yang berpotensi untuk filtrasi zat pewarna dan anti-bakteri menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 38.39 L/m².h.bar; membran GO/IPDI yang berpotensi untuk filtrasi zat pewarna dan ion logam berat dari air limbah menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 80~100 L/m².h.bar; membran GO-TiO₂ yang berpotensi untuk filtrasi penghilang obat-obatan menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 120 L/m².h.bar; membran GO-Ag yang berpotensi untuk filtrasi bakteri dalam air menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 177.5 L/m².h.bar; membran GO-PAM yang berpotensi untuk filtrasi pencemaran zat warna organik menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 188.89 L/m².h.bar; membran GO-ATP yang berpotensi untuk filtrasi molekul organik menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 221.16 L/m².h.bar dan membran GO-SiO₂ yang berpotensi untuk filtrasi pencemaran air menghasilkan nilai fluks tertinggi sebesar 229.15 L/m².h.bar.

Sedangkan pada hasil rejeksi membran dari membran GO/Ti₃C₂T_x sebesar 61% untuk MR, 93.5% untuk RosB, 99.5% untuk MB dan 100% untuk BB; membran GO/Ni sebesar 98.02% untuk CR; membran GO/IPDI sebesar 46.2% untuk CU²⁺, 52.8% untuk Cd²⁺, 66.4% PB²⁺, 71.1% untuk Cr²⁺, 96.2% untuk RB, 96.9% untuk MO, 97.6%

untuk MB dan 98.24% untuk CR ; membran GO-ATP sebesar 99.88% untuk CBB R250 dan 99.93% untuk TMPyP serta membran GO-SiO₂ sebesar >99% untuk RB.

Sehingga hasil dari beberapa membran komposit tersebut berfokus pada nilai fluks tertinggi yang berbeda dengan hasil rejeksi dan ukuran pori serta nilai sudut kontak yang berbeda-beda. Tetapi, kesamaan dari beberapa membran komposit tersebut yaitu pada bahan yang digunakan saat fabrikasi membran komposit adalah *Graphene Oxide* (GO) dan menggunakan aliran *dead-end filtration*. Membran GO-SiO₂ yang berpotensi digunakan sebagai filtrasi untuk pencemaran air dengan hasil nilai rejeksi sebesar >99% untuk RB tersebut memiliki nilai fluks tertinggi sebesar 229.15 L/m².h.bar dengan ukuran pori membran sebesar 3.97 nm dan nilai sudut kontak sebesar 80.7°. Dari hasil tersebut membran GO-SiO₂ merupakan membran komposit yang memiliki performa paling besar dilihat dari hasil nilai fluks tertinggi pada membran komposit yang menggunakan aliran *dead-end filtration*.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan indentifikasi dari performa beberapa membran komposit menggunakan aliran *dead-end filtration* didapatkan kesimpulan bahwa membran komposit GO/SiO₂ dengan pori 3.97 nm dan nilai sudut kontak sebesar 80.7° memiliki performa yang baik dilihat dari nilai fluks tertinggi sebesar 229.15 L/m².h.bar di antara membran komposit yang lain. Membran GO-SiO₂ juga berpotensi untuk filtrasi pencemaran air dengan hasil nilai rejeksi sebesar >99% untuk RB. Membran komposit ini memiliki beberapa kelebihan seperti sifat mekanik yang baik, sifat fotolistrik pada suhu tinggi, memiliki sumber yang luas serta proses persiapan yang sederhana. Dengan penggabungan bahan tersebut pada membran berbasis polimer juga dapat meningkatkan permeabilitas air serta dapat meningkatkan kinerja membran pemisahan.

B. Saran

Berdasarkan dari hasil review artikel ini dapat digunakan sebagai sarana referensi serta untuk meningkatkan wawasan mengenai performa terbaik dari membran komposit menggunakan aliran *dead-end filtration*. Sedangkan bagi peneliti selanjutnya, hasil review artikel ini diharapkan bisa menunjang penelitian lebih lanjut dengan memperdalam analisis performa terbaik dari membran komposit menggunakan aliran *dead-end filtration* yang baik untuk mendapatkan nilai fluks membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandy, M. A., Sawali, F. D. I., & Siswanto, Y. (2022). Pengaruh Tekanan Transmembran Pada Nilai Permeance Dalam Proses Pemisahan Senyawa Proanthocyanidin Menggunakan Metode Dead-End Membran Ultrafiltrasi. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1, 60–64.
- Afifah, A. S., & Damayanti, A. (2016). Filtrasi Limbah Laundry Dengan Membran Zeolit-Silika Untuk Menurunkan COD. *Jurnal Purifikasi*, 16(2), 68–77. <https://doi.org/10.12962/j25983806.v16.i2.38>
- Angesti, W., & Munasir, M. (2021). Fabrication and Characterization of Polysulfone Membrane Based On GO-SiO₂ Composite using Phase Inversion Method. *JCST*, 10, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132801010>
- Apriyani, N. (2017). Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah Laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 37–44. <https://doi.org/10.33084/mitl.v2i1.132>
- Cheng, M., Huang, L., Wang, Y., Zhao, Y., Tang, J., Wang, Y., Zhang, Y., Hedayati, M., Kipper, M. J., & Wickramasinghe, S. R. (2019). Synthesis of graphene oxide / polyacrylamide composite membranes for organic dyes / water separation in water purification. *Journal of Materials Science*, 54, 252–264. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2828-9>
- Du, Y., Huang, L., Wang, Y., Yang, K., Zhang, Z., Wang, Y., Kipper, M. J., Belfiore, L. A., & Tang, J. (2020). Preparation of graphene oxide/silica hybrid composite membranes and performance studies in water treatment. *Journal of Materials Science*, 55, 11188–11202. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04774-5>
- Enten, A. C., Leipner, M. P. I., Bellavia, M. C., King, L. E., & Sulchek, T. A. (2020). Optimizing Flux Capacity of Dead-end Filtration Membranes by Controlling Flow with Pulse Width Modulated Periodic Backflush. *Scientific Reports*, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57649-9>
- Fathanah, U., & Meilina, H. (2021). Karakterisasi dan Kinerja Membran Polyethersulfone Termodifikasi Aditif Anorganik secara Blending Polimer. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2407–2414. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3515>

- Fattin, N., Junaidi, D., Hidayati, N., Syazana, N., Shafiq, M., Shayuti, M., Hashimah, N., Zaman, M., Marpani, F., Jye, W., Fauzi, A., & Diana, N. (2021). Recent development of graphene oxide-based membranes for oil-water separation : A review. *Separation and Purification Technology*, 258(P1), 118000. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118000>
- Feng, L., Gao, Y., Xu, Y., Dan, H., Qi, Y., Wang, S., Yin, F., Yue, Q., & Gao, B. (2021). A dual-functional layer modified GO@SiO₂ membrane with excellent anti-fouling performance for continuous separation of oil-in-water emulsion. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126681>
- Hu, R., Zhao, G., He, Y., & Zhu, H. (2020). The application feasibility of graphene oxide membranes for pressure-driven desalination in a dead-end flow system. *Desalination*, 477, 114271. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114271>
- Japonika, H. (2015). Pemisahan dengan Membran Ultrafiltrasi dalam Industri Bioproses. *Bandung Institute of Technology*, 1–8.
- Jhaveri, J. H., & Murthy, Z. V. P. (2015). Nanocomposite membranes. *Desalination and Water Treatment*, 3994, 1–17. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1120687>
- Jordan, E., Hakeem, M. H., & Suryajaya, T. (2016). A Review Of Nanotechnology Application For Seawater Desalination Process. *Journal of technology*, 1(2), 155–179.
- Kamari, S., & Shahbazi, A. (2019). Biocompatible Fe₃O₄@SiO₂-NH₂ nanocomposite as a green nanofiller embedded in PES–nanofiltration membrane matrix for salts, heavy metal ion and dye removal: Long–term operation and reusability tests. *Chemosphere*, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125282>
- Kang, K. M., Kim, D. W., Ren, C. E., Cho, K. M., Kim, S. J., Choi, J., Nam, Y. T., Gogotsi, Y., & Jung, H. (2017). Selective Molecular Separation on TiCT-Graphene Oxide Membranes during Pressure-Driven Filtration : Comparison with Graphene Oxide and MXenes. *Applied Materials and Interfaces*, 1–27. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b10932>
- Li, C., Lu, Z., Ao, X., Sun, W., & Huang, X. (2022). Degradation kinetics and removal efficiencies of pharmaceuticals by photocatalytic ceramic membranes using ultraviolet light-emitting diodes. *Chemical Engineering Journal*, 427, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130828>
- Li, J., Liu, X., Lu, J., Wang, Y., Li, G., & Zhao, F. (2016). Anti-bacterial properties of ultrafiltration membrane modified by graphene oxide with nano-silver particles. *Journal of Colloid And Interface Science*, 484, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.08.063>
- Liu, Y., Zhang, F., Zhu, W., Su, D., Sang, Z., Yan, X., Li, S., Liang, J., & Dou, S. X. (2020). A multifunctional hierarchical porous SiO₂/GO membrane for high efficiency oil/water separation and dye removal. *Carbon*, 160, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.002>
- Lu, F., & Astruc, D. (2020). Nanocatalysts and other nanomaterials for water remediation from organic pollutants. *Coordination Chemistry Reviews*, 408, 213180. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213180>
- Luo, Z., Fang, Q., Xu, X., Raj, D. V., Zhou, X., & Liu, Z. (2019). Attapulgite Nanofibers and Graphene Oxide Composite Membrane for High-Performance Molecular Separation. *Journal of Colloid And Interface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.03.027>
- Mawaddah, R. (2015). Studi Efektivitas Recovery Enzim Menggunakan Membran Ultrafiltrasi. *Bandung Institute of Technology*, 1–15.
- Mitrouli, S. T., Kostoglou, M., & Karabelas, A. J. (2016). Calcium carbonate scaling of desalination membranes : Assessment of scaling parameters from dead-end filtration experiments. *Journal of Membrane Science*, 510, 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.02.061>
- Mustabsyirah, Shinta, A., Lubis, M. R., Sofyana, Mukramah, Mukhriza, Rinaldi, W., & Fathanah, U. (2022). Peningkatan Kinerja Membran Polietersulfon (PES) dengan Modifikasi Menggunakan Aditif Hidrofilik. *Serambi Engineering*, VII(1), 2656–2662.
- Naseeb, N., Mohammed, A. A., Laoui, T., & Khan, Z. (2019). A Novel PAN-GO-SiO₂ Hybrid Membrane for Separating Oil and Water from Emulsified Mixture. *Materials*, 1–13. <https://doi.org/10.3390/ma12020212>
- Ramadhanur, S., & Sari, A. M. (2015). Pengaruh Konsentrasi Khitosan dan Waktu Filtrasi Membran Khitosan Terhadap Penurunan Kadar Fosfat Dalam Limbah Deterjen. *Konversi*, 4(1), 40–52.
- Setiawan, V. R., Rosnelly, C. M., & Darmadi. (2013). Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Membran Selulosa Diasetat Berbasis Selulosa Pulp Kayu Sengon (Paraserianthes falcataria). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9(3).
- Setiowati, W. O. D., & Kusumawati, N. (2019). Pengaruh Aditif Kalsium Klorida dalam Non Pelarut Terhadap Karakteristik dan Kinerja Membran Polyvinylidene Fluoride. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 106–114.
- Shalahuddin, I., & Utara, C. (2019). Mekanisme Fouling pada Membran Mikrofiltrasi Mode Aliran Searah dan Silang. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 6–15. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.40458>
- Sijabat, E. K., Nuruddin, A., Aditiawati, P., & Purwasasmita, B. S. (2020). Flat sheet membrane composite for desalination applications based on Bacterial Nanocellulose (BNC) from banana peel waste , cellulose , and silica. *Materials Research Express*, 7, 1–9.
- Suwandana, R. F., & Susanti, D. (2015). Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene. *Jurnal Teknik Its*, 4(1), 95–100.
- Wahyuni, S., & Damyanti, A. (2016). Pengaruh Konsentrasi dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Karakteristik

Membran Komposit Chitosan. *Jurnal Purifikasi*, 16(1), 44–53.

- Wang, Q., Tang, X., Liang, H., Cheng, W., Li, G., Zhang, Q., Chen, J., Chen, K., & Wang, J. (2022). Effects of Filtration Mode on the Performance of Gravity Driven Membrane (GDM) Filtration: Cross-Flow Filtration and Dead-End Filtration. *Water*, 14(190), 1–14.
- Zhang, P., Gong, J., Zeng, G., Deng, C., Yang, H., Liu, H., & Huan, S. (2017). Cross-Linking to Prepare Composite Graphene Oxide-Framework Membranes with High-Flux for Dyes and Heavy Metal Ions Removal. *Chemical Engineering Journal*, 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.068>
- Zhao, Y., Yu, W., Li, R., Xu, Y., Liu, Y., Sun, T., Shen, L., & Lin, H. (2019). Electric field endowing the conductive polyvinylidene fluoride (PVDF)-graphene oxide(GO)-nickel(Ni) membrane with high-efficient performance for dye wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 483, 1006–1016. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.054>