

Membran Nanofiltrasi untuk Aplikasi Pemisah Zat

Yohana Ivana Kedang

Kimia, Universitas Timor, Kefamenanu, TTU – NTT, Indonesia, email: 27yogakedang@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 9 Agustus 2018

Received in revised form 18 Desember 2018

Accepted 23 Desember 2018

DOI

<https://doi.org/10.32938/slk.v2i1.444>

Keywords:

Membran nanofiltrasi

Pemisah

Zat warna

Abstrak

Mekanisme pemisahan nanofiltrasi sebagian besar didasarkan pada ukuran dan perbedaan tingkat difusi untuk molekul organik dan efek elektrostatis untuk ion. Namun, karena molekul yang tidak bermuatan lebih banyak, mekanisme berdasarkan ukuran molekul lebih banyak digunakan. Membran nanofiltrasi beroperasi tanpa perubahan fasa dan biasanya memiliki penolakan tinggi terhadap garam anorganik multivalen dan molekul organik kecil pada tekanan sedang. Hal ini membuat proses pemisahan sangat kompetitif dalam hal selektivitas dan biaya bila dibandingkan dengan pemisahan tradisional. Membran nanofiltrasi telah diaplikasikan di berbagai sektor industri yaitu penghilangan zat warna, pengolahan air limbah, proses farmasi dan bioteknologi, serta rekayasa pangan.

1. Pendahuluan

Kekurangan air dan polusi air yang memburuk menjadi masalah di seluruh dunia yang telah membatasi perkembangan masyarakat dan ekonomi manusia (Wu dkk., 2017). Industri tekstil merupakan sektor yang tak terelakkan di antara semua industri dan juga merupakan salah satu konsumen utama serta pencemar sumber air. Sejumlah besar air limbah dihasilkan perusahaan tekstil mengandung berbagai zat warna, garam, zat stabilis, dan lain-lain, yang memiliki potensi besar untuk degradasi lingkungan (Babu & Murthy, 2017). Pengambilan zat perwarna dari tekstil dan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan sangat penting, karena kehadiran zat warna bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah sangat terlihat dan beracun bagi kehidupan akuatik melalui kerusakan sifat estetika air dan mengurangi aktivitas fotosintesis organisme air (Liu dkk., 2017).

Teknologi termasuk pemindahan secara fisik, kimia, dan degradasi biologis telah dikembangkan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah. Dari teknologi ini, proses degradasi biologis dengan menggunakan lumpur aktif tidak dapat sepenuhnya menghilangkan warna karena sulitnya biodegradable pewarna sintetis, proses fisik termasuk adsorpsi dan koagulasi/flokulasi biasanya menghasilkan lumpur toksik dan tidak sesuai untuk skala besar. Aplikasi proses oksidasi lanjutan termasuk oksidasi kimia, degradasi katalitik dan perlakuan elektrokimia masih cukup mahal untuk aplikasi praktis. Baru-baru ini, proses pemisahan membran dengan keuntungan dari struktur instrumen, suhu operasi rendah dan efisiensi tinggi telah menarik perhatian dalam mengatasi limbah zat perwarna (Liu dkk., 2017).

Membran nanofiltrasi (NF) yang pertama kali diperkenalkan pada akhir 1980-an, adalah proses membran antara osmosis balik dan ultrafiltrasi, yang memiliki fluks dan tekanan operasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reverse osmosis (Zhang dkk., 2017). Nanofiltrasi (NF) adalah proses membran yang dioperasikan di bawah 0,2-1,53 MPa. Membran nanofiltrasi dengan penolakan tinggi terhadap molekul organik dengan berat molekul ion 200-2000Da dan multivalen, telah menarik banyak perhatian dalam reklamasi air limbah, pemurnian dan pelunasan air, desalinasi air laut, dan aplikasi lainnya (Wu dkk., 2017).

Peningkatan kinerja pemisahan, terutama fluks dan antifouling untuk memenuhi persyaratan aplikasi praktis, bahan organik dan anorganik telah diterapkan untuk memodifikasi membran nanofiltrasi. Bahan modifikasi organik dengan varietas kaya memiliki kompatibilitas yang baik dengan membran polimer. Namun, stabilitas kimia/termal biasanya tidak mencukupi dan perbandingan antara permeabilitas dan selektivitas masih merupakan isu penting. Pengenalan bahan anorganik pada membran nanofiltrasi polimer untuk membuat membran komposit film tipis (TFC) membuka solusi efektif untuk mengatasi batas penggunaan serta memberikan kekuatan mekanik dan stabilitas termal / termal yang cukup (Wu dkk., 2017). Dalam artikel ini akan dibahas mengenai penelitian yang telah dilakukan dalam aplikasi membran nanofiltrasi sebagai pemisah limbah zat warna.

2. Membran Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi telah disintesis sejak akhir tahun 1980an. Membran nanofiltrasi terus mengalami pengembangan karena memiliki sifat fleksibilitas sebagai alat pemisah. Berbagai aspek membran nanofiltrasi telah diteliti dalam beberapa tahun ini mencakup perawatan, pra-perawatan, pemodelan, kekuatan atom mikroskop, dan beberapa perangkat teknologi nanofiltrasi. Sebagian besar penelitian membahas aplikasi air limbah, namun publikasi tersebut juga mencakup topik lain seperti fabrikasi membran atau studi fouling yang telah diterapkan pada aplikasi air limbah. Aplikasi air limbah berjumlah sekitar 18,30% dari kertas yang ditinjau, trennya adalah: Farmasi dan bioteknologi (14,04%), ekonomi dan desain (13,72%), modifikasi membran (12,83%), nanofiltrasi pelarut (11,25%), fabrikasi membran (10,52%), desalinasi (8,94%), penelitian fouling (7,83%), pemodelan (6,78%), review (5,47%) dan makanan (2,52%) (Oatley-Radcliffe dkk., 2017).

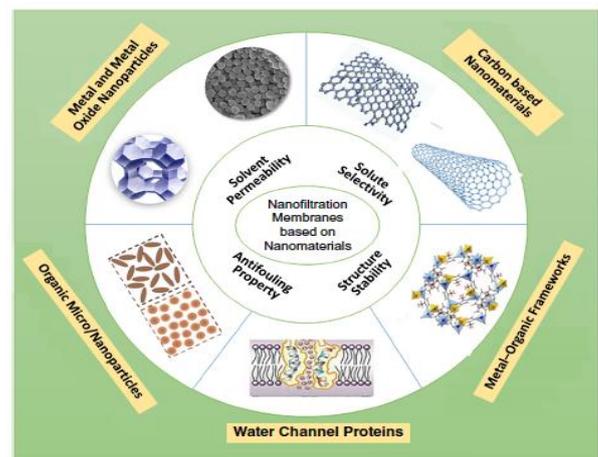
Sejak dua dekade terakhir ini, membran polimer menjadi objek penelitian utama karena sifat pembentuk filmnya yang baik, fleksibilitas dan kekuatan

mekanis yang sesuai. Saat ini, membran nanofiltrasi yang tersedia secara komersial seperti poliamida (PA) dan selulosa asetat (CA). Beberapa polimer lain seperti polieter sulfon (PES), polistiren sulfonat (SPSF), polimida (PI), polivinil alkohol (PVA), dan kitosan (CS) juga dipelajari dan digunakan untuk pembuatan membran nanofiltrasi. Meskipun ada mengalami keberhasilan pesat untuk pengembangan teknologi nanofiltrasi, namun diperlukan membran nanofiltrasi dengan kinerja pemisahan yang sangat baik dan sifat anti-fouling untuk aplikasi yang lebih rumit. Lapisan selektif polimer, yang menolak zat terlarut sekaligus memungkinkan molekul air/pelarut melewatinya, adalah bagian penting yang diharapkan dapat memberikan selektivitas tinggi ditambah dengan sifat anti-fouling (Ji dkk., 2017).

2.1 Jenis-jenis Membran Berdasarkan Nanomaterial

Berdasarkan nano material yang digunakan membrane nano partikel dibagi menjadi beberapa jenis yaitu, oksida logam, nanopartikel karbon, nanokomposit MOF, dan membran protein channel air, seperti terlihat pada Gambar 1 (Ji dkk., 2017).

Kemajuan dalam membran nano berbasis nanofiltrasi telah dibentuk dari berbagai nanomaterial, seperti nanopartikel logam dan oksida logam, nano berbasis karbon, metal organik framework, protein channel air, dan mikro/nanopartikel organik. Secara khusus, superioritas berbasis nanomaterial, termasuk selektivitas tinggi, stabilitas yang baik dan sifat antifouling ditekankan. Sejumlah nanopartikel oksida logam dan logam oksida, yaitu zeolit, silika (SiO₂), titanium dioksida (TiO₂), dan nanopartikel perak (NPAg), telah disubstitusikan ke dalam matriks polimer untuk sintesis membran nanofiltrasi, dan memperbaiki kinerja membran, termasuk fluks dan rejeksi, stabilitas mekanis dan termal, dan sifat antifouling dan antibakteri (Ji dkk., 2017).



Gambar 1. Membran Nanopartikel Berdasarkan Nanomaterial (Ji dkk., 2017)

Nanomaterial berbasis karbon, seperti karbon nanotube (CNT) dan graphene telah dijadikan sebagai alternatif untuk pembuatan membran nanofiltrasi. Karbon nanotube (CNT) sebagai nanomaterial satu dimensi dengan dinding dalam hidrofobik dan halus menampilkan kemampuan pengangkutan air yang unik. Simulasi molekuler telah membuktikan bahwa CNTs *multiwalled* (MWCNTs) dengan diameter pori 7nm dengan fluks air yang jauh lebih cepat daripada nilai teoritis yang diperoleh dari perhitungan fluida konvensional. Membran matriks campuran (MMMs) telah disiapkan dengan penambahan CNT, yang menunjukkan peningkatan pemisahan dan kinerja antifouling (Ji dkk., 2017).

Membran nanokomposit MOF telah menunjukkan kinerja pemisahan gas yang sangat baik, dan telah dirangkum secara komprehensif dalam tinjauan sebelumnya. Membran ini muncul sebagai potensi besar nanomaterial berpori untuk mempersiapkan membran nanofiltrasi dalam dekade ini. Selain luas permukaan dan volume pori yang tinggi, struktur kimianya, sifat permukaan dan ukuran partikel dapat diatur untuk memenuhi persyaratan fabrikasi membran dan aplikasi nanofiltrasi (Ji dkk., 2017).

Kinerja pemisahan membran sintetis telah meningkat pesat, konsumsi energi sekitar 15-20% dari yang digunakan untuk membran awal. Membran sel menunjukkan selektivitas ultrahigh, zat seperti air, ion atau molekul organik kecil dapat dipindahkan melalui membran lipid ganda yang diatur oleh protein channel air. Protein ini pertama kali ditemukan pada tahun 1993 dengan nama *Protein Channel Air Aquaporin-1* (AQP1). Bilayer lipid yang mengandung aquaporins menunjukkan permeabilitas air yang jauh lebih tinggi dan selektivitas substansi daripada semua membran komersial biasa (Ji dkk., 2017).

2.2 Aplikasi Membran Nanofiltrasi

Proses pemisahan membran digunakan untuk memekatkan atau mengfraksinasi cairan untuk menghasilkan dua cairan yang berbeda dalam komposisinya. Hal ini menjadikan nanofiltrasi sebagai alternatif dibandingkan proses konvensional untuk industri kimia, farmasi, bioteknologi dan makanan. Dalam banyak kasus, konsumsi energi yang rendah, pengurangan jumlah langkah pemrosesan, efisiensi pemisahan yang lebih besar dan peningkatan kualitas produk akhir merupakan daya tarik utama proses ini. Sifat membran dapat mengontrol komponen yang akan dialirkan dan yang akan ditahan. Hal ini didasarkan pada sifat selektif molar atau ukuran partikel (Salehi, 2014).

Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan kelangkaan air dan kualitas air yang memburuk menjadi masalah yang berkembang di banyak wilayah di dunia. Nanofiltrasi dan Reverse Osmosis digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pemurnian air untuk menghasilkan air minum (terutama desalinasi air laut dan air payau), rejeksi terhadap pestisida dan produksi air murni untuk industri semikonduktor. Minat dalam penggunaan membran nanofiltrasi telah muncul dalam pengolahan air limbah serta air minum dan proses produksi air bersih. Penelitian ini dinilai dapat terser berkembang akibat meningkatnya permintaan air dengan kualitas tinggi, tekanan yang meningkat untuk menggunakan kembali air limbah, kualitas membran yang lebih baik, penurunan harga membran karena peningkatan penggunaan, dan standar kualitas air yang lebih ketat, misalnya di industri air minum (Salehi, 2014).

Selain itu terdapat industri makanan, dimana merupakan salah satu industri yang menggunakan air. Air yang digunakan dalam industri makanan umumnya dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis: air proses, boiler dan air pendingin, air tujuan umum (air untuk pencucian bahan baku, produk olahan, dan peralatan). Salah satu aplikasi nanofiltrasi yang menjanjikan dalam industri minuman. Ion monovalen kecil dan air akan sampai batas tertentu melewati membran nanofiltrasi, sementara molekul besar seperti gula dipertahankan. Jus buah telah dipekatkan secara tradisional dengan penguapan vakum berbagai tahap, yang berakibat hilangnya aroma jus segar, perubahan warna dan rasa karena efek termal. Perlakuan panas dari jus mempengaruhi warna dan bau. Kemajuan teknologi yang terkait dengan pengembangan membran baru dan perbaikan dalam rekayasa proses telah terbukti dapat mengatasi hal ini. Ini menunjukkan peluang dalam pengolahan suhu rendah untuk jus buah dan tanaman dan ekstrak, stabilisasi mikroba dan konsentrasi dengan konsumsi rendah. Selain itu, proses NF dapat digunakan dalam produksi produk makanan fermentasi, misalnya anggur dan bir. Proses nanofiltrasi akan membawa perubahan besar di industri minuman di masa depan, dengan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Ada pula penggunaan membran nanofiltrasi untuk industri makanan lainnya yaitu, pengolahan gula, susu, dan minyak sayur (Salehi, 2014).

2.3 Limbah Zat Warna

Zat warna adalah senyawa kimia yang bisa berikatan permukaan atau kain untuk memberi warna. Mayoritas zat warna adalah molekul organik kompleks dan tahan terhadap banyak hal seperti pemberian deterjen. Pewarna sintetis banyak digunakan di berbagai bidang, misalnya di berbagai jenis industri tekstil, kertas, penyamakan kulit, industri pengolahan makanan, plastik, kosmetik, karet, dan percetakan. Zat warna sintetis juga digunakan dalam penelitian mengenai air tanah, untuk penentuan luas permukaan spesifik lumpur teraktivasi, limbah dan pengolahan air limbah, dan lain-lain. Limbah zat warna pada lapisan air merupakan sumber polusi yang perlu diperhatikan karena zat tersebut memiliki sifat reaktivitas.

Zat warna ini akan memberi warna yang tidak diinginkan pada permukaan air yang akan mengurangi penetrasi sinar matahari dan menolak fotokimia dan serangan biologis terhadap kehidupan akuatik. Sampai saat ini lebih dari 100.000 zat warna komersial diketahui bahwa diproduksi lebih dari 700.000 ton/tahun. Konsumsi pewarna di industri tekstil di seluruh dunia lebih dari 10.000 ton/tahun dan sekitar 100 ton/tahun pewarna dibuang ke aliran air. Pada dasarnya data yang tepat pada jumlah zat warna yang dikeluarkan dari berbagai proses di lingkungan tidak diketahui. Namun, pelepasan jumlah zat warna sintetis ke lingkungan telah menimbulkan tantangan bagi peneliti lingkungan.

Berbagai metode seperti adsorpsi, koagulasi, oksidasi maju, pemisahan membran, dan lain-lain digunakan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah (Yagub dkk., 2014).

2.3.1 Klasifikasi Zat Warna

Berdasarkan sifat kimia, zat warna dapat dibedakan menjadi 7 jenis yaitu, zat warna langsung, zat warna reaktif, zat warna terdispersi, zat warna asam, zat warna azoik, zat waktu vat, zat pewarna sulfur (Chattopadhyay, 2011).

- Zat pewarna langsung adalah zat pewarna yang paling populer yang digunakan untuk bahan kapas karena memiliki keunggulan luar biasa, seperti rentang warna yang panjang, penetrasi pewarna yang sangat baik, biaya rendah, waktu pencelupan yang singkat, dan sebagainya. Namun, ketahanannya terhadap pengolahan basah terutama tahan luntur sangat buruk terutama karena kelompok sulfon hidrofiliknya dalam struktur molekul. Untuk meningkatkan tahan luntur kapas yang dicelup dengan zat pewarna direct, senyawa kationik, fiksatif resin, garam logam, dan agen penghubung silang polifungsional, dan lain-lain diterapkan secara luas (Liu dkk., 2010).
- Zat pewarna reaktif salah satu pewarna yang menarik karena memiliki warna cerah dan sifat tahan luntur yang sangat baik. Peningkatan penggunaan pewarna ini terjadi saat metode pencelupan batch untuk pewarna ini dikembangkan. Diantaranya merupakan zat pewarna anionik yang dapat larut dalam air dan berbagai bentuk fisik dari pewarna ini tersedia seperti butiran tertuang, bubuk yang dan larutan pekat. Ada juga pewarna reaktif fiber yang tersedia secara komersial untuk protein dan serat poliamida.
- Zat pewarna dispersi pada bahan sintetis memiliki ketahanan luntur yang cukup kuat. Kecepatan pencucian yang lebih baik bisa disebabkan oleh ketidaklarutan dan sifat hidrofobik zat pewarna. Namun, ultraviolet (UV) dari sinar matahari dapat menyebabkan beberapa warna memudar karena pemaparan bahan-bahan yang dicelup dalam sinar matahari berkepanjangan.
- Zat pewarna asam biasanya digunakan untuk mewarnai protein alami (wol dan sutra), poliamida sintetis (nylon) dan akrilik dan campuran dari serat-serat ini. Zat pewarna ini disebut asam karena pengaplikasian zat warna pada kondisi asam atau netral. Sesuai dengan definisi Indeks Warna, pewarna kompleks logam juga termasuk dalam kategori pewarna asam. Pewarna Chrome juga dianggap sebagai pewarna asam.
- Zat pewarna azoik memiliki ketahanan luntur yang sangat baik. Semua kombinasi azoik menahan soaping pada bisul. Seperti banyak pewarna lainnya, kelunturan ringan pada kain dengan pewarna azoik dipengaruhi oleh kelembaban lingkungan. Tidak seperti pewarna sulfur sebagian besar pigmen azoik memiliki sifat pemutihan terhadap klorin.
- Zat pewarna vat tidak larut dalam air dan tersedia dalam bentuk bubuk, cair dan pasta. Pelarut organik digunakan untuk memproduksi bentuk cair. Untuk beberapa merek bubuk pewarna, ukuran partikel berperan penting dalam mengatur penyebaran dan sifat terkait pewarnaan lainnya. Zat pewarna vat terbagi menjadi dua kelompok yang jelas, yaitu indigoid dan antrakuinonoid. Kelompok indigoid meliputi nila, thioindigo dan turunannya, sementara yang kelompok lainnya mencakup turunan antrakuinon dan juga kinetika heterosiklik.
- Zat pewarna sulfur memiliki struktur molekul dengan adanya atom sulfur. Zat pewarna ini memiliki harga yang murah dan memiliki ketahanan yang kuat dan mudah diaplikasikan. Warna gelap seperti hitam, coklat dan biru tua diproduksi secara ekonomis dengan pewarna belerang.

2.4 Penghilangan Zat Warna

Adanya limbah berupa zat pewarna di permukaan air secara estetika tidak diinginkan dan menyebabkan gangguan pada biosfer akuatik karena berkurangnya penetrasi sinar matahari dan penipisan oksigen terlarut. Beberapa pewarna bersifat toksik dan mutagenik dan memiliki potensi untuk melepaskan amina karsinogenik. Zat pewarna terutama pewarna asam dan reaktif dapat lepas dari pengolahan air limbah konvensional karena umumnya dirancang untuk menahan degradasi mikroba, kimiawi dan fotolitik. Pewarna adalah molekul organik yang mengandung kromofor, yaitu struktur aromatik yang menyerap cahaya tampak dan aoksokrom, yaitu suatu kelompok yang menyimpan zat warna ke dalam serat. Selain pewarna, air limbah juga mengandung bahan kimia seperti garam, logam berat, bahan pendispersi, agen penghalusan, surfaktan (misalnya untuk meminimalkan agregasi zat warna) dan lain-lain yang membuat air limbah lebih kompleks untuk diolah dan meningkatkan kebutuhan akan lebih dari satu tahap pengolahan (Zahrim dkk., 2011).

Tabel 1. Parameter Kualitas Air Daur Ulang

Parameter	Industri Tekstil	Industri Karpet
COD (mg/l)	60-80	8-40
Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1000	-
pH	6-8	-
Turbiditas (NTU)	1	15
Warna (Pt-Co)	Tidak ada	0-20
Padatan tersuspensi (mg/l)	5	-
Padatan terlarut (mg/l)	500	500
Total kesadahan ($\text{mg}/\text{l CaCO}_3$)	25-50	6

Industri yang terkait dengan limbah zat warna yaitu tekstil dan kulit yang memerlukan banyak konsumsi air. Meningkatnya biaya air karena kelangkaan air dan peraturan yang lebih ketat disesuaikan dengan limbah cair yang memotivasi industri untuk menggunakan kembali air limbah untuk proses pabrik. Tabel 1 menunjukkan persyaratan umum untuk memanfaatkan kembali air di industri. Selain parameter yang ditunjukkan pada Tabel 1, disarankan agar Al dan Fe masing-masing kurang dari 0,1 mg/l untuk air yang digunakan kembali dari industri tekstil sedangkan hilangnya Fe secara total diperlukan untuk proses pewarnaan kulit (Zahrim *dkk.*, 2011).

3. Kesimpulan

Artikel ini memberikan penjelasan penggunaan polimer yang telah dimodifikasi sebagai maktris membran utama yang diaplikasikan pada membran nanofiltrasi untuk penghilangan zat warna. Artikel ini juga diharapkan dapat memberikan ide dan rekomendasi mengenai inovasi pembuatan membran nanofiltrasi untuk pemisah limbah zat warna.

Pustaka

- Babu, J. & Murthy, Z. 2017. Treatment of textile dyes containing wastewaters with PES/PVA thin film composite nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 183: 66–72.
- Chattopadhyay, D.P. 2011. 4 - Chemistry of dyeing A2 - Clark, M. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*. Woodhead Publishing, hlm.150–183.
- Ji, Y., Qian, W., Yu, Y., An, Q., Liu, L., Zhou, Y. & Gao, C. 2017. Recent developments in nanofiltration membranes based on nanomaterials. *Chinese Journal of Chemical Engineering*.
- Liu, M., Chen, Q., Lu, K., Huang, W., Lü, Z., Zhou, C., Yu, S. & Gao, C. 2017. High efficient removal of dyes from aqueous solution through nanofiltration using diethanolamine-modified polyamide thin-film composite membrane. *Separation and Purification Technology*, 173: 135–143.
- Liu, X., Wang, W. & Xu, P. 2010. *Improving the Wash Fastness of Direct Dyes on Cotton by Si/Ti Composite Nanosol*.
- Oatley-Radcliffe, D.L., Walters, M., Ainscough, T.J., Williams, P.M., Mohammad, A.W. & Hilal, N. 2017. Nanofiltration membranes and processes: A review of research trends over the past decade. *Journal of Water Process Engineering*, 19: 164–171.
- Salehi, F. 2014. Current and future applications for nanofiltration technology in the food processing. *Advances in Bioseparations for Food and Bioprocessing*, 92(2): 161–177.
- Yagub, M.T., Sen, T.K., Afroze, S. & Ang, H.M. 2014. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209(Supplement C): 172–184.
- Zahrim, A.Y., Tizaoui, C. & Hilal, N. 2011. Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. *Desalination*, 266(1): 1–16.
- Zhang, Q., Fan, L., Yang, Z., Zhang, R., Liu, Y., He, M., Su, Y. & Jiang, Z. 2017. Loose nanofiltration membrane for dye/salt separation through interfacial polymerization with in-situ generated TiO₂ nanoparticles. *Applied Surface Science*, 410: 494–504.