(2025), 3 (3): 148–168

Scientica
Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi

3021-8209

PEMANFAATAN NANOTEKNOLOGI (NANOFILTRASI MEMBRAN) SEBAGAI SOLUSI KRISIS AIR BERSIH UNTUK KEBUTUHAN DOMESTIK

Diva Delfiani Setiawan[1], Muthi Hannindyah[2], Suci Wulandari[3], Riny Yolandha Parapat[4]
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional
Jl. PH.H. Mustofa No. 23 – Bandung
Email: rinyyolandha@itenas.ac.id

Abstract (English)
The clean water crisis is an increasingly pressing global challenge, with projections that by 2024, around 1.8 billion people will face water access issues. Nanotechnology, specifically membrane nanofiltration, offers an innovative solution to domestic clean water needs. This technology uses nanometer-porous membranes that are able to efficiently filter contaminants such as bacteria, viruses, and heavy metals. In addition, nanofiltration also has the potential to desalinate seawater, making it a sustainable source of freshwater for areas with shortages. Nanofiltration can use several types of nanomaterials such as carbon nanoparticles, carbon nanotubes, nanocomposite-based polymer membranes, metal and metal oxide nanoparticles, cellulose-based membranes and their derivatives, silicate nanoparticles, polyamide and polypropylene-based nanomembranes, ceramic and nanoceramic-based membranes, polyethylene-based membranes.
Nanofiltration is not only effective in treating water but is also in line with the Sustainable Development Goals (SDGs), especially in providing access to clean water and safe sanitation. Despite challenges such as high membrane production costs and the need for further research to improve membrane durability, support from the government and industry can encourage the application of this technology. Thus, membrane nanofiltration can be a sustainable solution to the clean water crisis at the domestic level and support environmental conservation.

Article History
Submitted: 30 Desember 2024
Accepted: 7 January 2025
Published: 8 January 2025

Key Words
nanotechnology, nanofiltration, nanoparticles.

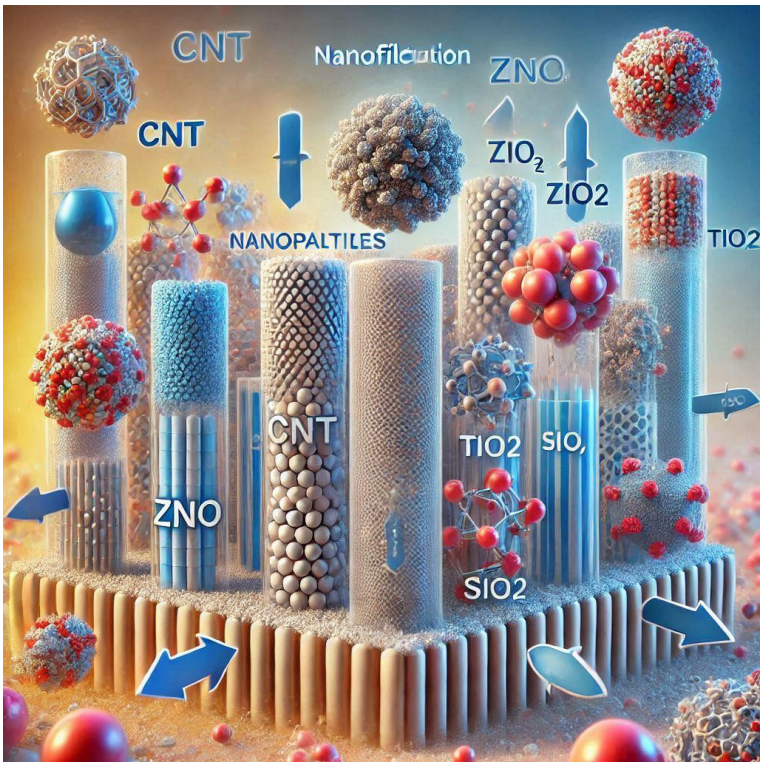
Abstrak (Indonesia)
Krisis air bersih merupakan tantangan global yang semakin mendesak, dengan proyeksi bahwa pada tahun 2024, sekitar 1,8 miliar orang akan menghadapi masalah akses air. Nanoteknologi, khususnya nanofiltrasi membran, menawarkan solusi inovatif untuk kebutuhan air bersih domestik. Teknologi ini menggunakan membran berpori nanometer yang mampu menyaring kontaminan seperti bakteri, virus, dan logam berat secara efisien. Selain itu, nanofiltrasi juga berpotensi untuk desalinasi air laut, menjadikannya sumber air tawar yang berkelanjutan bagi daerah yang kekurangan. Pada nanofiltrasi dapat menggunakan beberapa jenis nanomaterial seperti nanopartikel karbon, nanotube carbon, membran polimer berbasis nanokomposit, nanopartikel logam dan oksida logam, membran berbasis selulosa dan derivatifnya, nanopartikel silikat, nanomembran berbasis poliamida dan polipropilen, membran berbasis keramik dan nanokeramik, membran berbasis polietilen.
Nanofiltrasi tidak hanya efektif dalam mengolah air tetapi juga sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama dalam menyediakan akses air bersih dan sanitasi yang aman. Meskipun menghadapi tantangan seperti biaya produksi membran yang tinggi dan kebutuhan akan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan daya tahan membran, dukungan dari pemerintah dan industri dapat mendorong penerapan teknologi ini. Dengan demikian, nanofiltrasi membran dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk krisis air bersih di tingkat domestik dan mendukung pelestarian lingkungan.

Sejarah Artikel
Submitted: 30 Desember 2024
Accepted: 7 January 2025
Published: 8 January 2025

Kata Kunci
teknologi nano, nanofiltrasi, nanopartikel.

1. Pendahuluan

Krisis air bersih adalah salah satu tantangan besar yang dihadapi masyarakat dunia, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya air. Peningkatan populasi, urbanisasi, dan perubahan iklim semakin memperburuk masalah ini, mengakibatkan permintaan akan air bersih semakin tinggi. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif yang efektif dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan air bersih, khususnya untuk keperluan rumah tangga seperti minum, memasak, dan sanitasi. Pada Gambar 1 mengilustrasikan nanofilter dengan beberapa jenis nanomaterial yang digunakan.



Gambar 1 Ilustrasi yang menggambarkan penggunaan nanomaterial dalam nanofiltrasi

Nanoteknologi telah menjadi salah satu metode terdepan untuk mengatasi masalah ini. Dengan teknologi nanofiltrasi membran, air yang terkontaminasi dapat diolah menjadi air bersih yang layak dikonsumsi. Nanoteknologi adalah cabang ilmu yang fokus pada penelitian dan pengembangan material, perangkat, dan sistem berskala nanometer, yaitu sekitar satu miliar kali lebih kecil dari satu meter. Dalam skala ini, struktur dan sifat material seringkali berbeda signifikan dibandingkan dengan skala makroskopik, memungkinkan inovasi dalam bidang medis, elektronika, dan energi. Nanoteknologi penting karena kemampuannya meningkatkan efisiensi, kinerja, dan menciptakan solusi baru untuk tantangan global, seperti pengobatan penyakit, pemrosesan informasi, dan keberlanjutan lingkungan.

Nanoteknologi berhubungan erat dengan mekanika kuantum, karena sifat-sifat kuantum mulai mendominasi pada skala nanometer (1–100 nanometer). Pada skala ini, fenomena kuantum yang tidak terlihat dalam dunia makroskopik menjadi sangat relevan dan sering menentukan sifat material. Nanoteknologi tidak hanya memanfaatkan prinsip-prinsip kuantum tetapi juga membuka peluang eksplorasi baru dalam fisika kuantum, dengan penerapan praktis dalam bidang energi, komunikasi, dan kesehatan. Hubungan ini

menjadikan nanoteknologi sebagai jembatan antara dunia kuantum dan inovasi teknologi modern.

Nanofiltrasi menggunakan membran dengan pori-pori sangat kecil, biasanya berukuran 1-10 nanometer, yang dapat menyaring partikel mikroskopis, ion, serta polutan organik dan anorganik. Teknologi ini unggul dalam pemisahan zat berbahaya dengan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional lainnya.

Penggunaan nanofiltrasi membran untuk pengolahan air menjadi solusi yang sangat relevan, terutama dalam konteks kebutuhan rumah tangga. Teknologi ini tidak hanya efektif dalam menghilangkan kontaminan seperti logam berat, bakteri, dan virus, tetapi juga dapat mempertahankan mineral penting yang diperlukan oleh tubuh. Ini menjadikan nanofiltrasi sebagai teknologi dengan potensi tinggi untuk memberikan akses air bersih yang lebih aman dan berkelanjutan bagi masyarakat, terutama di daerah yang mengalami krisis air bersih.

Teknologi nano memiliki berbagai aplikasi penting di bidang teknik kimia, memungkinkan pengembangan proses dan material yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan inovatif. Pertama, dalam bidang katalis, material nano dapat meningkatkan aktivitas katalisator, mempercepat reaksi kimia, dan mengurangi penggunaan bahan baku. Kedua, dalam pengolahan air, teknologi nano digunakan untuk mengembangkan filter yang dapat menghilangkan polutan berbahaya dengan efisiensi tinggi. Ketiga, dalam pengembangan material komposit, material nano meningkatkan kekuatan, daya tahan, dan sifat termal dari bahan yang digunakan. Keempat, dalam industri energi, teknologi nano membantu dalam pengembangan baterai dan sel surya yang lebih efisien dan tahan lama. Kelima, di sektor farmasi, teknologi nano memungkinkan pengembangan sistem penghantaran obat yang lebih tepat sasaran dan efektif. Aplikasi-aplikasi ini menunjukkan pentingnya teknologi nano dalam mengoptimalkan berbagai proses di bidang teknik kimia.

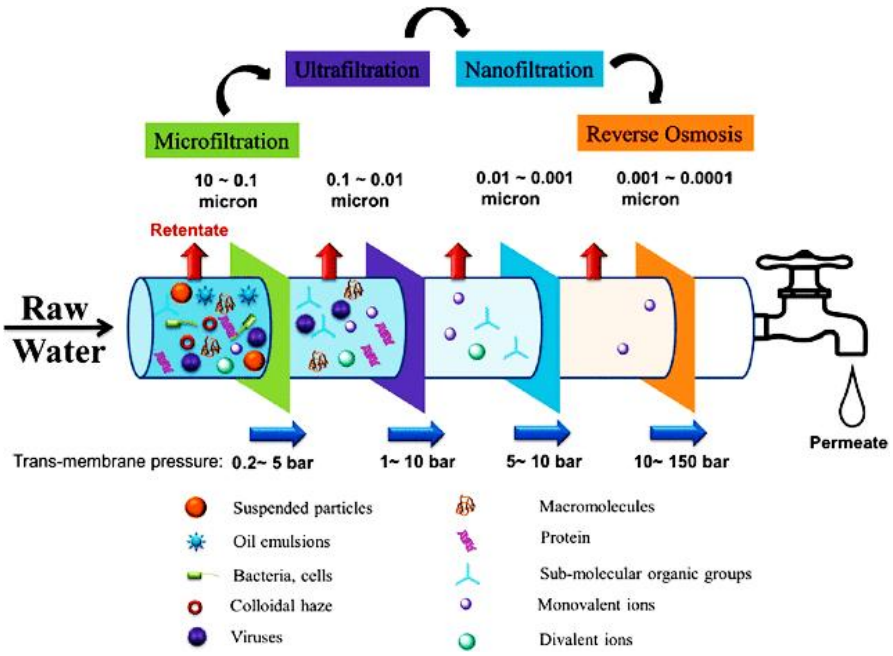
Seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan kebutuhan akan solusi yang ramah lingkungan, pemanfaatan nanoteknologi, khususnya nanofiltrasi membran, menjadi langkah penting dalam mengatasi krisis air bersih yang dihadapi dunia saat ini. Teknologi ini memungkinkan penyaringan air dengan tingkat presisi tinggi, menghilangkan partikel, mikroorganisme, dan kontaminan berbahaya lainnya, sehingga dapat menyediakan sumber air bersih yang lebih aman dan terjangkau untuk berbagai kebutuhan masyarakat global.

2. Nanofiltrasi membran

Nanofiltrasi membran merupakan teknologi pemisahan berbasis membran yang menggunakan pori-pori sangat kecil, biasanya berukuran antara 1 hingga 10 nanometer. Teknologi ini berada di antara ultrafiltrasi dan reverse osmosis dalam hal kemampuan menyaring partikel dan ion. Nanofiltrasi digunakan untuk menyaring partikel yang lebih kecil daripada yang dapat disaring oleh ultrafiltrasi, namun tidak seketat reverse osmosis, sehingga menawarkan keseimbangan antara selektivitas dan efisiensi energi.

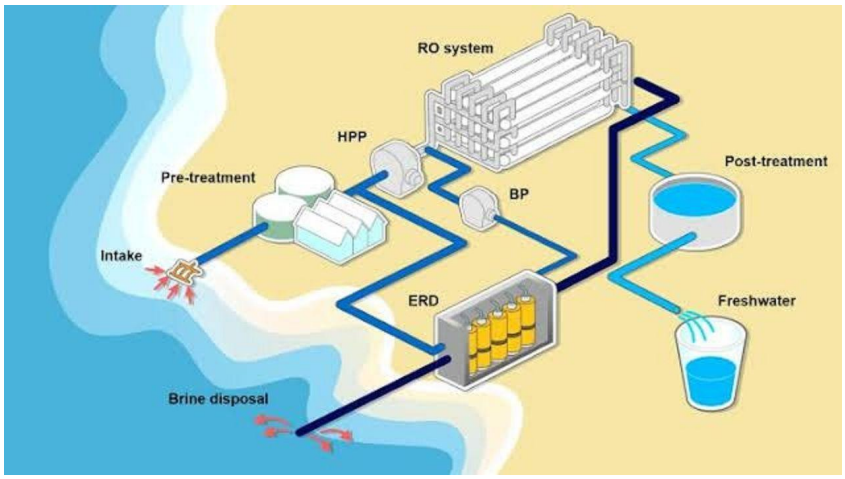
Membran nanofiltrasi bekerja dengan prinsip gaya tolak-menolak dan tekanan hidrolik untuk memisahkan kontaminan dari air. Membran ini mampu menyaring berbagai molekul organik, ion multivalen seperti kalsium dan magnesium, serta partikel mikroskopis seperti bakteri dan virus. Salah satu keunggulan utama dari nanofiltrasi membran adalah kemampuannya menyaring kontaminan berbahaya tanpa menghilangkan mineral penting yang dibutuhkan tubuh, seperti ion natrium dan kalium.. Pada Gambar 2 menjelaskan mengenai proses nanofiltrasi dengan berbagai membran.

(2025), 3 (3): 148–168
Scientica
Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi
3021-8209



Gambar 2 Proses nanofiltration
(Sumber: Wahab Md Abdul. 2022)

Teknologi nanofiltrasi sering diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pengolahan air minum, desalinasi air laut, dan pengolahan limbah industri. Dalam pengolahan air minum, nanofiltrasi terbukti efektif dalam menghilangkan kontaminan berbahaya seperti logam berat, senyawa organik beracun, dan mikroorganisme, sehingga menghasilkan air yang aman untuk dikonsumsi. Selain itu, teknologi ini juga dikenal lebih hemat energi dibandingkan dengan reverse osmosis, menjadikannya solusi yang lebih efisien untuk pengolahan air dalam skala besar. Nanofiltrasi salah satunya diterapkan dalam desalinasi air laut dimana prosesnya dijelaskan pada Gambar 3



Gambar 3 Proses desalinasi air laut

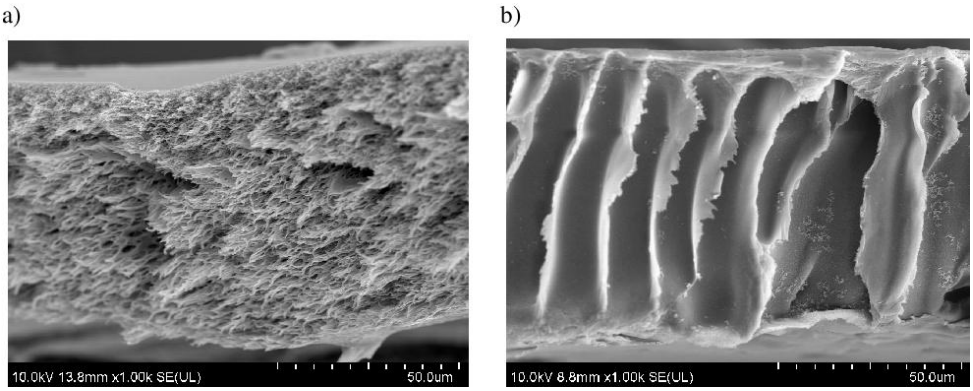
(Sumber: Faisal B. 2023)

Dengan kemajuan dalam nanoteknologi, nanofiltrasi membran terus meningkat dalam hal efisiensi, ketahanan, dan biaya produksi, membuat penerapannya dalam kehidupan sehari-

hari semakin mudah. Nanofiltrasi menjadi bagian penting dari solusi inovatif untuk mengatasi krisis air bersih di berbagai belahan dunia, terutama dalam memenuhi kebutuhan rumah tangga di wilayah yang mengalami keterbatasan sumber daya air. 2.1 Struktur nanofiltrasi membran

Saat ini, membran nanofiltrasi yang tersedia secara komersial meliputi poliamida (PA) dan selulosa asetat (CA). Beberapa polimer lain seperti polietersulfon (PES), polistiren sulfonat (SPSF), polimida (PI), polivinil alkohol (PVA), dan kitosan (CS) juga dipelajari dan digunakan dalam pembuatan membran nanofiltrasi. Meskipun telah ada kemajuan pesat dalam pengembangan teknologi nanofiltrasi, masih diperlukan membran nanofiltrasi dengan kinerja pemisahan yang sangat baik serta sifat anti-fouling untuk aplikasi yang lebih kompleks. Lapisan polimer selektif, yang mampu menolak zat terlarut dan mengizinkan molekul air atau pelarut melewatinya, merupakan bagian penting yang diharapkan dapat memberikan selektivitas tinggi dan sifat anti-fouling.

Nanofiltrasi memiliki struktur nano yang digambarkan dalam Gambar 4, yang menunjukkan membran nanofiltrasi dengan pembesaran 1.000 kali menggunakan SEM. Gambar (a) memperlihatkan struktur permukaan bagian dalam membran dengan pori-pori kecil dan distribusi yang tidak merata. Struktur ini mempengaruhi efisiensi proses filtrasi dalam memisahkan partikel berukuran nano dari lingkungannya.



Gambar 4 Struktur dari nano membran untuk proses nanofiltrasi

Gambar (a) : Struktur Spongy atau Asimetris, Gambar (b): Struktur Finger-Like (Jari-Jari)

(Sumber: M. Gradkowski, dkk. 2016.)

Struktur spongy atau asimetris memiliki lapisan padat di bagian atas (permukaan aktif) dan pori-pori lebih besar atau struktur berongga seperti spons di bagian bawah (lapisan pendukung). Ini khas untuk membran thin-film composite (TFC), di mana lapisan atas bertindak sebagai filter selektif, sementara lapisan bawah memberikan kekuatan mekanik. Fungsi dari struktur spongy atau asimetris ini adalah sebagai lapisan selektif yang memisahkan molekul kecil, ion, atau partikel berdasarkan ukuran atau muatan, serta sebagai lapisan pendukung yang memastikan permeabilitas air tetap tinggi dengan mengurangi hambatan aliran.

Struktur Finger-Like (Jari-jari) menampilkan rongga memanjang seperti "finger-like pores" yang tersusun secara vertikal. Struktur ini biasanya terbentuk selama proses phase inversion (pembentukan membran dengan teknik pengendapan). Di bagian atas mungkin terdapat lapisan padat (lapisan permukaan aktif) yang sulit terlihat dalam gambar ini. Fungsi

dari struktur jari-jari ini memberikan jalur langsung untuk aliran air (permeate), mengurangi hambatan aliran, serta meningkatkan stabilitas mekanis membran, terutama saat digunakan di bawah tekanan tinggi.

2.2 Peran nanofiltrasi membran

Nanofiltrasi adalah teknologi membran yang digunakan untuk memisahkan zat berdasarkan ukuran molekul dan sifat kimianya. Secara umum, nanofiltrasi berperan penting dalam berbagai aplikasi karena kemampuan selektifnya untuk menghilangkan ion divalen, molekul organik, dan partikel kecil lainnya, sambil memungkinkan molekul seperti air dan ion monovalen tertentu untuk melewatinya. Terdapat beberapa contoh peran dari nanofiltrasi membran antara lain ialah pada pengolahan air. Proses desalinasi air laut dan proses penghilangan kontaminan seperti pestisida, nitrat dan logam berat dilakukan dengan memanfaatkan nanofiltrasi membran.

1. Pengolahan air:
   Digunakan untuk desalinasi air laut, penghilangan kekerasan air (hardness), dan penghilangan kontaminan seperti pestisida, nitrat, dan logam berat. Efektif dalam memproduksi air minum dan air untuk keperluan industri.
2. Industri makanan dan minuman:
   Memungkinkan pemekatan jus buah tanpa kehilangan rasa dan warna asli. Digunakan untuk demineralisasi parsial produk seperti susu.
3. Industri farmasi dan kimia:
   Membantu dalam pemisahan senyawa aktif farmasi dan pengolahan air limbah dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Membran nanofiltrasi juga digunakan untuk memurnikan bahan kimia yang sensitif terhadap panas.
4. Efisiensi energi dan lingkungan:
   Proses ini membutuhkan tekanan yang lebih rendah dibandingkan reverse osmosis, sehingga konsumsi energinya lebih rendah. Membran nanofiltrasi juga menghasilkan limbah yang lebih sedikit dibandingkan metode konvensional.

Teknologi nanofiltrasi terus berkembang untuk meningkatkan efisiensi pemisahan, ketahanan membran terhadap fouling, dan adaptabilitas dalam berbagai industri. Pemanfaatannya juga didorong oleh kebutuhan akan teknologi pengolahan yang ramah lingkungan dan hemat energi.

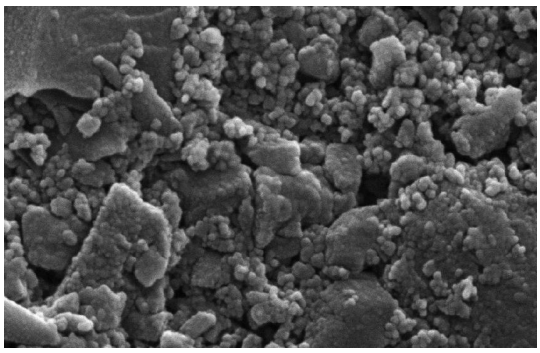
3. Jenis - jenis nanomaterial yang digunakan dalam nanofiltrasi

Nanofiltrasi adalah salah satu teknologi pemurnian air yang menggunakan material dengan pori-pori berukuran nanometer untuk menyaring partikel, kontaminan, dan molekul tertentu dari air atau cairan lainnya. Nanofiltrasi memiliki kemampuan untuk menghilangkan kontaminan dengan ukuran yang lebih besar daripada molekul air, namun masih memungkinkan molekul air dan ion-ion kecil untuk melewati membran. Teknologi ini banyak digunakan dalam pengolahan air, desalinasi, pengolahan air limbah, dan bahkan pemurnian bahan kimia.

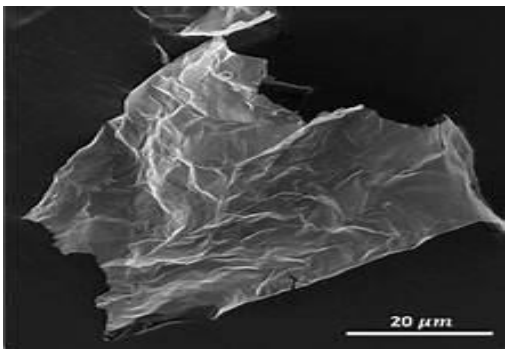
Untuk nanofiltrasi, berbagai jenis nanomaterial digunakan sebagai bahan pembuat membran atau filter, yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi filtrasi dan ketahanan terhadap fouling (penumpukan kotoran pada permukaan membran). Berikut adalah beberapa jenis nanomaterial yang digunakan dalam nanofiltrasi:

3.1 Nanopartikel karbon (Karbon Aktif dan Grafena)

Karbon aktif atau karbon porus adalah salah satu nanomaterial yang sering digunakan dalam membran untuk filtrasi air. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar, yang memungkinkan penyerapan dan penghilangan molekul organik dan kontaminan lainnya. Grafena adalah material yang terdiri dari lapisan atom karbon yang terorganisir dalam struktur dua dimensi. Grafena dan komposit berbasis grafena memiliki potensi besar dalam nanofiltrasi karena kemampuannya untuk menyaring molekul dan ion berdasarkan ukuran dan sifat kimianya. Membran berbasis grafena dapat digunakan untuk desalinasi air dan penyaringan berbagai kontaminan. Pada Gambar 5 dan 6 merupakan gambar dari SEM karbon aktif dan SEM Grafena



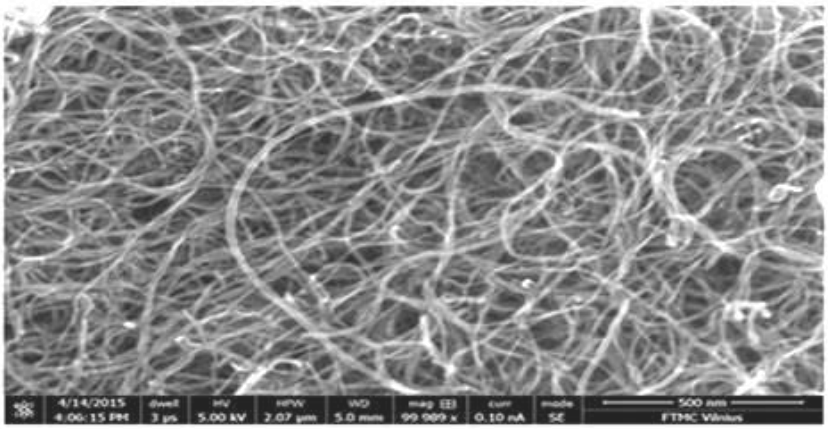
Gambar 5 Hasil SEM dari karbon aktif
(Sumber: Naghizadeh.2018)



Gambar 6 SEM grafena
(Sumber: Zhang.2014)

3.2 Nanotube karbon (CNTs)

Nanotube Karbon (CNTs) adalah struktur berbentuk tabung yang terdiri dari lapisan atom karbon yang melingkar. Membran yang menggunakan CNTs sangat efisien dalam proses nanofiltrasi karena nanotube memiliki diameter yang sangat kecil (sekitar 1-2 nanometer), sehingga hanya molekul atau ion tertentu yang bisa melewatinya. Selain itu, CNTs memiliki sifat mekanik yang sangat kuat dan konduktivitas yang baik, sehingga membuatnya sangat ideal untuk berbagai aplikasi filtrasi, termasuk pemurnian air dan pengolahan limbah. Gambar 7 merupakan SEM dari nanotube karbon atau CNTs.

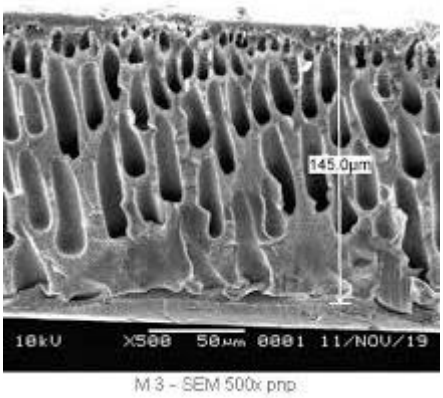


Gambar 7 Hasil SEM dari nanotube karbon
(Sumber: Tumkevicius,.2022)

3.3 Membran polimer berbasis nanokomposit

Polimer Nanokomposit: Membran nanokomposit adalah campuran antara polimer dan nanopartikel untuk meningkatkan karakteristik membran. Misalnya, polimer seperti polietilen (PE), polipropilen (PP), atau poliamida sering dikombinasikan dengan nanopartikel seperti

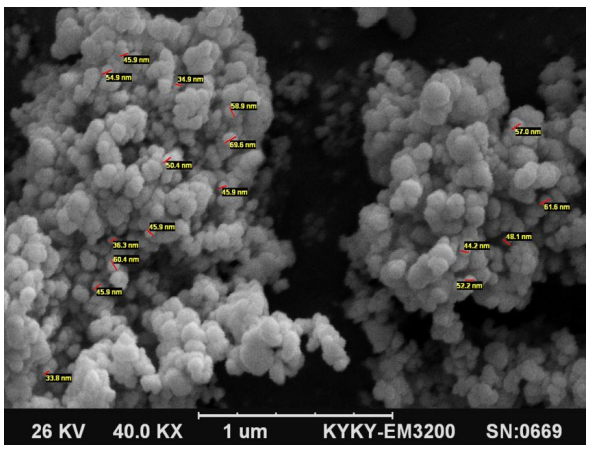
silika atau oksida logam (seperti titanium dioksida atau aluminium oksida). Penambahan nanopartikel ini memperbaiki sifat mekanik, stabilitas termal, dan kemampuan membran untuk mengatasi fouling serta meningkatkan selektivitas dalam proses nanofiltrasi. Pada gambar 8 merupakan SEM dari nanokomposit.



Gambar 8 Hasil SEM dari nanokomposit
(**Sumber :** Muhammad Fadli,2021**)**

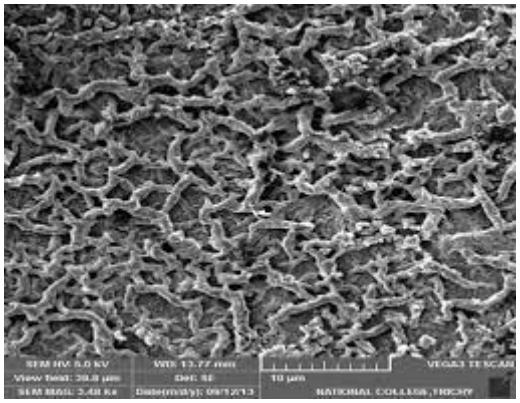
3.4 Nanopartikel logam dan oksida logam

1. Titanium Dioxide (TiO_2): Titanium dioksida adalah nanopartikel oksida logam yang sering digunakan dalam membran nanofiltrasi. TiO_2 memiliki sifat fotokatalitik dan antibakteri, sehingga efektif dalam memurnikan air dengan menghilangkan kontaminan organik dan mikroorganisme. TiO_2 juga dapat meningkatkan kinerja membran dalam mengatasi fouling dan mengurangi pembentukan biofilm..
2. Zinc Oxide (ZnO): Zinc oxide juga digunakan sebagai nanopartikel dalam membran nanofiltrasi, terutama untuk aplikasi yang melibatkan penyaringan partikel atau mikroorganisme tertentu. ZnO memiliki sifat antibakteri dan antifungi yang efektif, serta mampu memecah kontaminan organik melalui fotokatalisis. Pada Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan gambar dari SEM TiO_2 dan SEM ZnO



Gambar 9 Hasil SEM dari titanium dioxide (TiO_2)

(Sumber: Haeder Saud,2016)

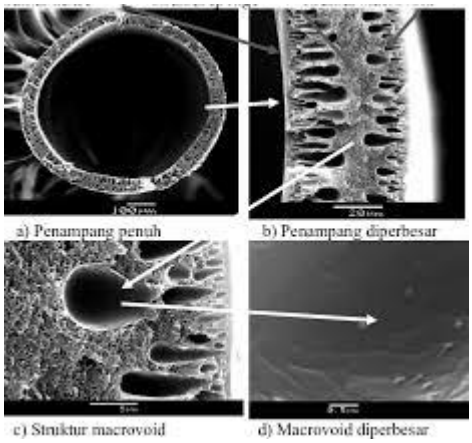


Gambar 10 Hasil SEM dari zinc oxide (ZnO)

(Sumber : P. Ramesh,2014)

3.5 Membran berbasis selulosa dan derivatifnya

Selulosa adalah polimer alami yang sering digunakan dalam pembuatan membran nanofiltrasi. Membran selulosa dan derivatifnya (seperti selulosa asetat) memiliki kemampuan penyaringan yang baik dan ramah lingkungan. Untuk meningkatkan efisiensi membran selulosa, sering kali dilakukan modifikasi dengan nanopartikel untuk meningkatkan daya tahan terhadap fouling dan meningkatkan kinerja filtrasi. Pada Gambar 11 menjelaskan (SEM). Gambar (a) Penampang penuh, Gambar (b) Penampang diperbesar, Gambar (c) Struktur makrovoid, Gambar (d) Macrovoid diperbesar. Analisis morfologi ini penting untuk memahami kinerja membran, seperti permeabilitas, selektivitas, dan stabilitas mekanis dalam aplikasi pengolahan air bersih menggunakan teknologi nanofiltrasi.

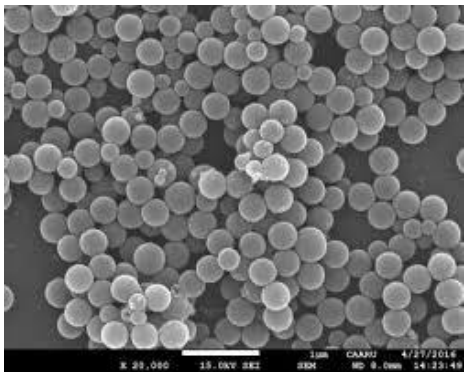


Gambar 11 Hasil SEM membran berbasis selulosa dan derivatifnya

(**Sumber:** Nasrul Ar Rahman, 2017**)**

3.6 Nanopartikel silika (SiO_2)

Silika adalah nanopartikel yang banyak digunakan untuk memperbaiki kekuatan mekanik, stabilitas termal, dan ketahanan kimia membran. Silika juga dapat digunakan untuk meningkatkan permeabilitas membran dalam nanofiltrasi, memungkinkan air untuk melewati lebih cepat sementara tetap menyaring partikel atau ion tertentu dengan efisien. Pada Gambar 12 merupakan gambar SEM nanopartikel silika

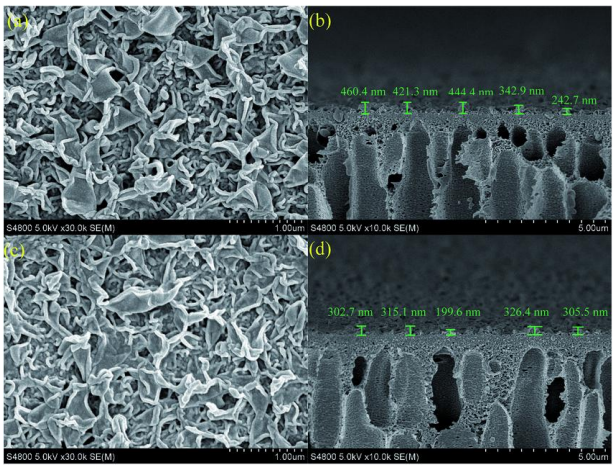


Gambar 12 Hasil SEM nanopartikel silika

(**Sumber** : Dewi G,2016)

3.7 Membran berbasis poliamida dan polipropilen

1. Poliamida adalah polimer sintetis yang digunakan dalam membran nanofiltrasi, terutama karena sifatnya yang tahan terhadap degradasi kimia dan tahan lama. Poliamida sering digunakan dalam kombinasi dengan nanopartikel untuk meningkatkan kemampuan penyaringan dan ketahanan terhadap fouling.
2. Polipropilen (PP) juga digunakan dalam pembuatan membran filtrasi karena kekuatan mekaniknya yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuannya untuk memfilter mikroskopik partikel. Pada Gambar 13 merupakan SEM dari membran berbasis poliamida dan polipropilen.

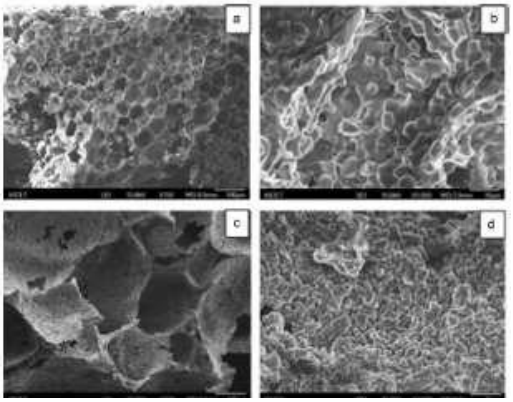


Gambar 13 Hasil SEM membran berbasis poliamida dan polipropilen

(**Sumber :** Zhang Kaisong,2017)

3.8 Membran berbasis keramik dan nano keramik

Membran keramik adalah jenis membran yang terbuat dari bahan keramik seperti alumina dan zirconia yang diproses menggunakan teknologi nano. Membran ini sering digunakan dalam nanofiltrasi karena memiliki ketahanan tinggi terhadap suhu dan korosi, serta kemampuan untuk memfilter partikel-partikel halus dan mikroorganisme dengan efisien. Nano keramik juga memiliki ketahanan terhadap fouling dan lebih tahan lama dibandingkan membran polimer. Pada Gambar 14 merupakan SEM dari membran berbasis keramik dan nano keramik.

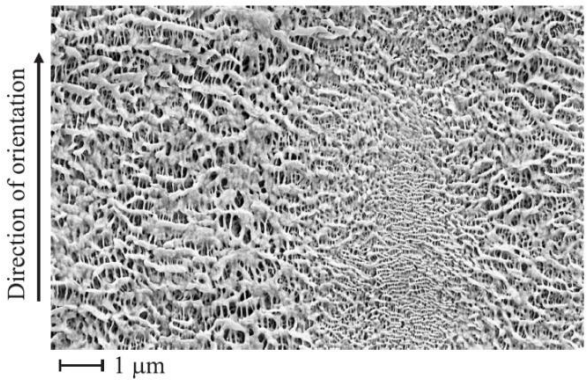


Gambar 14 Hasil membran berbasis keramik dan nanokeramik

(**Sumber :** Riskaviania, 2017)

3.9 Membran berbasis polietilen dan polipropilen nano

Polietilen (PE) dan polipropilen (PP) adalah polimer yang umum digunakan dalam membran filtrasi karena sifatnya yang fleksibel dan tahan terhadap banyak bahan kimia. Membran berbasis PE atau PP dengan modifikasi nanoteknologi dapat meningkatkan selektivitas dan efisiensi proses nanofiltrasi, serta mengurangi pembentukan biofilm atau fouling pada membran. Pada gambar 15 merupakan gambar SEM membran berbasis polietilen dan polipropilen nano.



Gambar 15 Hasil SEM membran berbasis polietilen dan polipropilen nano

(**Sumber** : Alexander A,2016)

4. Keuntungan Menggunakan Nanofiltrasi Membran

Membran nanofiltrasi menawarkan keunggulan signifikan dalam teknologi pengolahan air. Teknologi nanofiltrasi membran memberikan berbagai manfaat yang membedakannya dari metode penyaringan lainnya. Sifat uniknya memungkinkan mereka untuk mengatasi berbagai masalah kualitas air sambil tetap menjaga efisiensi dan keberlanjutan. Berikut adalah keuntungan menggunakan nanofiltrasi membran.

a. Efisiensi energi

Salah satu keunggulan utama dari membran nanofiltrasi adalah kebutuhan energi yang rendah. Dibandingkan dengan metode penyaringan tradisional seperti reverse osmosis, nanofiltrasi beroperasi pada tekanan yang lebih rendah, yang mengakibatkan konsumsi energi lebih sedikit. Efisiensi energi ini tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga mengurangi jejak karbon, menjadikan nanofiltrasi sebagai pilihan ramah lingkungan untuk pengolahan air.

b. Penghapusan kontaminan yang efektif

Menurut Mahmoud dan Mostafa (2023), nanofiltrasi membran mampu menyaring logam berat yang ada dalam tubuh air. Ini merupakan keunggulan yang sangat signifikan, terutama karena masalah umum dalam penggunaan air domestik adalah kontaminasi air tanah oleh logam berat, yang mengakibatkan air berwarna kuning dan berbau menyengat. Kontaminasi ini dapat merusak saluran air dan peralatan yang digunakan untuk mengalirkan air.

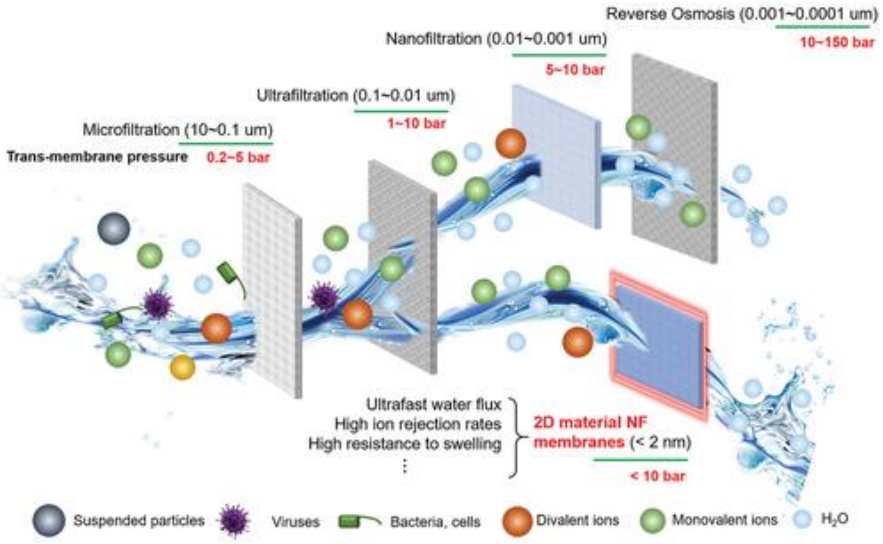
Membran nanofiltrasi terbukti sangat efektif dalam menghilangkan berbagai kontaminan dari air, termasuk padatan terlarut, bakteri, virus, dan mikroorganisme lainnya, sehingga memastikan air yang dihasilkan bersih dan aman. Kemampuan ini sangat penting di wilayah yang memiliki masalah kualitas air, karena membantu menjaga kesehatan masyarakat.

c. Penghapusan ion divalen

Menurut Helmenstine (2019), ion divalen adalah kation dengan valensi 2+, yang dapat membentuk dua ikatan kimia dengan anion. Ion divalen inilah yang menyebabkan kesadahan air. Salah satu fitur penting dari membran nanofiltrasi adalah kemampuannya untuk menghilangkan ion divalen seperti kalsium dan magnesium yang bertanggung jawab atas kesadahan air. Dengan menghilangkan ion-ion tersebut secara efektif, nanofiltrasi membantu meningkatkan kualitas air dan mengurangi pembentukan kerak pada sistem dan peralatan pipa. Hal ini tidak hanya memperpanjang umur sistem ini, tetapi juga meningkatkan kualitas estetika dan fungsional air secara keseluruhan.

Gambar 16 menjelaskan mengenai bagaimana efisiensi filtrasi berdasarkan tingkatan membrannya. Dapat diperhatikan bahwa setiap ukuran membran akan memiliki hasil yang berbeda pula. Pada nanofiltrasi, ion divalen, virus, bakteri, dan partikel pengotor dapat tertahan pada membran. Namun, ion monovalen masih dapat melewati membran. Maka dari itu ada tahapan yang dianggap lebih baik dari nanofiltrasi, yaitu reverse osmosis.

(2025), 3 (3): 148–168 Scientica Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi 3021-8209



Gambar 16 Ilustrasi penyaringan pada filtrasi

Adapun keuntungan menggunakan nanofiltrasi membran pada air domestik ialah:

1. Penghilangan Kontaminan yang Efisien: Membran nanofiltrasi mampu secara efisien menghilangkan padatan terlarut, bakteri, virus, dan mikroorganisme lainnya dari air, sehingga memastikan produksi air minum yang bersih dan aman.
2. Penghilangan Kekerasan Air: Membran nanofiltrasi efektif dalam menghilangkan ion divalen seperti kalsium dan magnesium, yang menyebabkan kesadahan air. Hal ini meningkatkan kualitas air dan mengurangi penumpukan kerak pada sistem dan peralatan pipa.
3. Konsumsi Energi Rendah: Membran nanofiltrasi beroperasi pada tekanan yang lebih rendah, yang mengurangi konsumsi energi dan berkontribusi terhadap jejak karbon yang lebih kecil.
4. Efisiensi Biaya: Penggunaan membran nanofiltrasi sebagai alternatif pelunakan air merupakan solusi yang lebih murah dibandingkan dengan teknologi pelunakan tradisional.

Nanofiltrasi membran sendiri terdiri atas berbagai macam bahan. bahan bahan penyusun nanofiltrasi membran ini memiliki fungsi maupun kegunaannya masing-masing. Adapun kegunaan pada setiap bahan nanofiltrasi membran ialah:

Tabel 1.1 Kegunaan Nanofiltrasi

Bahan Nanofiltrasi	Kegunaan	Referensi
PA-Si02	Penambahan nanopartikel SiO2 ke dalam membran poliamida (PA) dapat meningkatkan permeabilitas membran.	Jin,dkk.2012
S-Ti02	Penambahan S-TiO2 ke dalam membran,	Valeen Rashmi Pereira. 2015

	seperti membran poliamida atau polifenil sulfon, meningkatkan sifat hidrofilik membran. Ini membantu dalam meningkatkan interaksi dengan udara, yang berkontribusi pada aliran permeat yang lebih baik dan mengurangi pengotoran	
NaNO3	NaNO3 dapat berfungsi sebagai penguji stabilitas membran selama proses nanofiltrasi. Dengan menggunakan larutan NaNO3, peneliti dapat memancarkan daya tahan membran terhadap fouling dan degradasi, serta mengukur kinerja jangka panjang membran di bawah kondisi operasi yang berbeda	S, ilyas. 2015

Adapun sifat luar biasa yang dimiliki dari masing-masing nanomaterial yang digunakan, diantaranya :

1. Nanofiltrasi. PA-SiO_2 (Poliamida-Silikon Dioksida)

   Dengan sifat-sifat luar biasa, material ini menjadi unggulan dalam nanoteknologi nanofiltrasi. Kombinasi poliamida (PA) dan silikon dioksida (SiO_2) memberikan membran kekuatan mekanik yang tinggi dan ketahanan terhadap tekanan serta kondisi ekstrem, sehingga meningkatkan daya tahannya. Silikon dioksida juga meningkatkan selektivitas membran, memungkinkan penyaringan partikel mikroskopis dengan efisiensi tinggi sambil mempertahankan aliran air yang besar. Selain itu, PA-SiO_2 memiliki ketahanan lebih baik terhadap fouling atau penyumbatan, karena SiO_2 mengurangi adhesi partikel pada permukaan membran. Material ini juga sangat stabil secara kimia, tahan terhadap degradasi meskipun terpapar lingkungan keras seperti air dengan kadar garam tinggi atau pH ekstrem. Terakhir, PA-SiO_2 mendukung efisiensi energi yang lebih baik, mengurangi konsumsi energi dalam proses filtrasi tanpa mengorbankan kinerja. Sifat-sifat ini membuat PA-SiO_2 menjadi pilihan ideal untuk aplikasi nanofiltrasi seperti pemurnian air dan pemisahan bahan kimia.

2. Nano filtrasi S-TiO_2

emampuan TiO_2 untuk memperluas penyerapan cahaya dari spektrum ultraviolet (UV) ke wilayah cahaya tampak disebabkan oleh doping sulfur yang mengurangi celah energi (bandgap) TiO_2, sehingga meningkatkan efisiensinya dalam aplikasi fotokatalitik di bawah sinar matahari. Aplikasinya meliputi degradasi polutan organik, pengolahan air limbah, dan pemurnian udara. S-TiO_2 sangat efektif untuk fotodegradasi kontaminan organik seperti pewarna, fenol, dan senyawa berbahaya lainnya dalam air limbah. Dengan sifat fotokatalitiknya, S-TiO_2 menghasilkan radikal bebas seperti hidroksil (OH•) dan superoksida (O_2^-) di bawah paparan cahaya, yang dapat menghancurkan mikroorganisme seperti bakteri dan virus. Penggunaannya dalam pengolahan limbah dan lingkungan membantu mengurangi jejak karbon dan polusi.

3. Nano filtrasi $NaNO_3$ (Natrium Nitrat)

$NaNO_3$ memiliki beberapa sifat luar biasa yang membuatnya sangat relevan dalam aplikasi nanoteknologi nanofiltrasi, terutama dalam pemisahan dan pengolahan air. Sebagai senyawa garam, $NaNO_3$ meningkatkan konduktivitas ionik, yang penting dalam memisahkan ion-ion tertentu selama proses filtrasi. Selain itu, $NaNO_3$ dapat digunakan dalam pengembangan solusi berbasis membran untuk meningkatkan efisiensi transfer massa dalam sistem nanofiltrasi. Sifatnya yang mudah larut dalam air juga memungkinkannya digunakan dalam berbagai aplikasi filtrasi, di mana proses pemisahan dapat dioptimalkan dengan memanfaatkan perubahan konsentrasi ion dalam larutan. Selain itu, $NaNO_3$ meningkatkan stabilitas membran dan mengurangi fouling, karena dapat membantu menjaga permukaan membran tetap bersih dan mencegah pembentukan lapisan penghalang yang mengganggu aliran. Sifat-sifat ini menjadikan $NaNO_3$ sebagai komponen penting dalam pengembangan teknologi nanofiltrasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Penggunaan nanomaterial dalam nanofiltrasi memberikan sejumlah keunggulan signifikan dibandingkan dengan sistem nanofiltrasi tanpa nanomaterial. Pertama, sistem nanofiltrasi dengan nanomaterial umumnya memiliki pori-pori lebih kecil dan permeabilitas lebih tinggi, memungkinkan aliran permeat yang lebih efisien. Nanomaterial juga meningkatkan selektivitas membran, memungkinkan pemisahan partikel dengan ukuran atau muatan serupa secara lebih presisi. Selain itu, nanomaterial dapat meningkatkan ketahanan membran dengan mengurangi fouling dan korosi, yang memperpanjang umur membran dan mengurangi frekuensi perawatan. Dari segi efisiensi energi, penggunaan nanomaterial dapat mengurangi kebutuhan energi karena membran yang ditingkatkan memiliki permeabilitas lebih tinggi dan memerlukan tekanan lebih rendah untuk menghasilkan aliran permeat yang sama.

Nanomaterial juga memungkinkan pemurnian yang lebih baik dengan memisahkan kontaminan yang lebih kecil, seperti ion atau partikel terlarut dalam air, dengan tingkat presisi yang lebih tinggi. Aplikasi nanofiltrasi dengan nanomaterial juga lebih fleksibel, membuka peluang untuk aplikasi spesifik seperti pemisahan kontaminan organik atau gas dalam industri energi. Selain itu, beberapa nanomaterial memiliki sifat yang lebih aman dan ramah lingkungan, meningkatkan biokompatibilitas dan keberlanjutan proses filtrasi. Secara keseluruhan, penggunaan nanomaterial dalam nanofiltrasi memberikan keuntungan yang jelas dalam hal efisiensi, daya tahan, dan aplikasi yang lebih luas dibandingkan dengan sistem tanpa nanomaterial.

5. Aplikasi penggunaan nanofiltrasi membran pada kebutuhan domestik

Membran nanofiltrasi semakin banyak digunakan dalam pengolahan air rumah tangga untuk menyediakan air minum yang bersih dan aman. Salah satu aplikasi utamanya adalah menghilangkan kesadahan dan karbon organik total (TOC) dari air permukaan. Dengan menggunakan membran nanofiltrasi, pemilik rumah dapat secara efektif menghilangkan

kotoran dan kontaminan dari pasokan air mereka, memastikan sumber air minum yang bersih dan andal.

Contoh penerapan nanofiltrasi dalam pengolahan air domestik adalah Elemen FilmTec™ NF, sejenis membran nanofiltrasi yang digunakan untuk memurnikan air minum di daerah-daerah di mana penolakan natrium tingkat tinggi tidak diperlukan, tetapi pengurangan garam-garam seperti kalsium dan magnesium diperlukan. Dibandingkan dengan teknologi pelunakan kapur dan pelunakan zeolit natrium klorida (NaCL), pelunakan dengan membran nanofiltrasi adalah alternatif yang lebih murah. Membran nanofiltrasi FilmTec™ NF270, misalnya, menawarkan penolakan garam yang rendah, konsumsi energi yang rendah, dan kinerja stabil setelah pembersihan berulang kali, menjadikannya pilihan utama untuk air permukaan yang terkontaminasi. Salah satu nanofiltrasi yang banyak diterapkan dengan alat pada Gambar 17

Gambar 17 Penerapan nanofiltration pada reverse osmosis

6. Pemasangan sistem nanofiltrasi di pabrik air minum dalam kemasan (AMDK)

Nanofiltrasi adalah salah satu teknologi membran yang digunakan dalam sistem pengolahan air, selain reverse osmosis. Dalam bidang pengolahan air, reverse osmosis lebih dikenal dibandingkan nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi umumnya digunakan untuk menurunkan TDS (Total Dissolved Solids) dengan efisiensi energi listrik yang lebih baik.Sebagai contoh, sistem nanofiltrasi dipasang di Pabrik AMDK di Jawa Timur pada Februari hingga Maret 2022. Sistem ini memiliki kapasitas 30 m^3/jam dengan tingkat recovery 75%. Karena sumber air baku memiliki TDS yang cukup tinggi, pemasangan membran nanofiltrasi diperlukan untuk mendapatkan air dengan TDS yang lebih rendah dan efisiensi energi yang lebih baik. Selain itu, penggunaan nanofiltrasi juga mempertimbangkan biaya operasional yang lebih rendah terkait konsumsi listrik.

Proses nanofiltrasi mirip dengan reverse osmosis. Proses dimulai dengan pompa bertekanan yang mendorong air umpan ke membran nanofiltrasi. Membran ini kemudian memisahkan air umpan menjadi air produk dan air konsentrat. Pengaturan tekanan dengan valve concentrate menentukan persentase recovery dan rejection. Tekanan pompa pada nanofiltrasi biasanya lebih rendah dari 100 psi, sedangkan pada reverse osmosis biasanya lebih tinggi dari 100 psi. Sumber air baku untuk nanofiltrasi harus menggunakan air yang lembut dengan kadar kapur rendah. Jika tidak menggunakan softener, sistem antiscalant dosing dapat digunakan sebagai alternatif. Membran nanofiltrasi memiliki ukuran pori 0,001 mikron dan hanya membutuhkan tekanan sedang, sehingga konsumsi listrik lebih rendah dibandingkan reverse osmosis. Nanofiltrasi juga dapat digunakan dalam proses daur ulang

limbah. Membran nanofiltrasi memiliki tingkat rejeksi antara 50% hingga 90%, tergantung pada kualitas air baku. Karena kemampuannya untuk menghilangkan ion "di" dan "trivalen," nanofiltrasi sering digunakan untuk mengurangi kesadahan air. Gambar 18 menunjukkan alat nanofiltrasi yang diterapkan di pabrik AMDK.

Gambar 18 Penerapan nanofiltration pada pabrik AMDK

7. Tantangan dan batasan dalam menggunakan nanofiltrasi membran

Membran nanofiltrasi menawarkan banyak manfaat dalam pengolahan air, namun juga menghadapi sejumlah tantangan dan batasan yang perlu diperhatikan. Berikut beberapa tantangan utama dalam penggunaan membran nanofiltrasi:

1. **Penyumbatan Membran (Membrane Fouling)**: Penyumbatan membran merupakan salah satu tantangan terbesar dalam penggunaan nanofiltrasi. Akumulasi partikel, mikroorganisme, dan bahan organik di permukaan membran dapat menurunkan efisiensi filtrasi dan meningkatkan kebutuhan akan pembersihan. Proses pembersihan ini seringkali memerlukan penggunaan bahan kimia yang dapat merusak membran.
2. **Keterbatasan dalam Menghilangkan Ion Monovalen**: Nanofiltrasi lebih efektif dalam menghilangkan ion divalen (seperti kalsium dan magnesium) dibandingkan dengan ion monovalen (seperti natrium dan klorida). Hal ini menjadi batasan dalam aplikasi di mana pengurangan ion monovalen juga diperlukan untuk mencapai kualitas air yang diinginkan.
3. **Biaya Awal dan Pemeliharaan**: Sistem nanofiltrasi memiliki biaya yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan akan peralatan khusus, termasuk membran berkualitas tinggi dan sistem pemompaan yang dapat beroperasi pada tekanan tinggi. Biaya pembelian dan pemasangan peralatan ini bisa cukup tinggi. Peralatan khusus ini tentu membutuhkan pemeliharaan yang juga khusus. Membran nanofiltrasi memerlukan pemeliharaan rutin untuk mencegah fouling. Proses pembersihan ini seringkali melibatkan penggunaan bahan kimia yang menambah biaya operasional. Jika penyumbatan terjadi, membran harus dibersihkan. Membran nanofiltrasi memiliki umur pakai tertentu dan perlu diganti secara berkala. Biaya penggantian ini bisa signifikan, terutama jika sistem digunakan dalam kondisi keras atau dengan air yang sangat terkontaminasi. Meskipun nanofiltrasi lebih efisien dibandingkan dengan proses seperti reverse osmosis, sistem ini masih memerlukan energi untuk memompa air melalui membran pada tekanan yang dibutuhkan. Biaya energi ini dapat bertambah seiring waktu.
    - **Pra-perlakuan**: Dalam banyak kasus, air yang akan difiltrasi memerlukan pra-perlakuan untuk mengurangi kontaminan yang dapat menyebabkan penyumbatan membran. Proses ini juga memerlukan investasi tambahan dalam peralatan dan bahan kimia.
    - **Skala Kecil**: Untuk aplikasi skala kecil, biaya per unit air yang diolah bisa lebih tinggi dibandingkan dengan sistem yang lebih besar. Hal ini membuat

nanofiltrasi kurang ekonomis untuk penggunaan domestik atau di daerah dengan anggaran terbatas.

4. **Kualitas Air Masukan**: Kualitas air masukan sangat mempengaruhi kinerja nanofiltrasi. Air yang sangat kotor atau terkontaminasi dapat mempercepat penyumbatan membran dan mengurangi umur pakai membran. Oleh karena itu, pra-perlakuan mungkin diperlukan untuk memastikan kinerja optimal.

Semoga parafrase ini sesuai dengan yang Anda harapkan!

8. Contoh pemanfaatan nanoteknologi

Salah satu contoh pemanfaatan nanoteknologi adalah nanofiber. Nanofiber merupakan serat sintetis yang sangat tipis, bahkan lebih tipis dari sehelai rambut manusia. Ukurannya yang sangat kecil memberikannya sifat-sifat unik yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai bidang, termasuk pengolahan air.

Nanofiber bekerja dalam pengolahan air seperti :

1. Luas permukaan yang sangat besar: Karena ukurannya yang sangat kecil, nanofiber memiliki luas permukaan yang sangat besar. Ini memungkinkan nanofiber untuk menyerap polutan dan zat kontaminan dalam jumlah yang sangat banyak.
2. Porositas tinggi: Struktur nanofiber yang berpori memungkinkan air mengalir melaluinya dengan mudah, namun mampu menahan partikel dan molekul yang lebih besar, seperti bakteri dan virus.
3. Sifat mekanik yang baik: Nanofiber memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan fleksibilitas yang baik, sehingga dapat digunakan untuk membuat membran yang kuat dan tahan lama.
4. Kustomisasi: Sifat nanofiber dapat disesuaikan dengan berbagai aplikasi dengan cara memodifikasi jenis polimer, diameter serat, dan struktur pori.

Keunggulan penggunaan nanofiber diantaranya :

1. Efisiensi tinggi: Nanofiber mampu menyaring polutan dengan ukuran sangat kecil, bahkan lebih kecil dari teknologi filtrasi konvensional.
2. Konsumsi energi rendah: Proses filtrasi menggunakan nanofiber umumnya membutuhkan energi yang lebih rendah.
3. Ramah lingkungan: Nanofiber dapat dibuat dari bahan-bahan alami dan proses produksinya dapat dirancang agar lebih ramah lingkungan.

9. Prospek masa depan

Membran nanofiltrasi memiliki prospek cerah dalam berbagai aplikasi, termasuk pengolahan air, industri minuman, dan pengolahan limbah. Dalam pengolahan air, membran nanofiltrasi dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan seperti logam berat, pestisida, dan bakteri, serta meningkatkan kualitas air.

Keunggulan Teknologi Nanofiltrasi

1. **Efisiensi Energi**: Nanofiltrasi menggunakan tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan osmosis balik, sehingga mengurangi konsumsi energi hingga 50%. Ini menjadikannya pilihan yang lebih hemat biaya dalam aplikasi pemurnian udara.
2. **Penolakan Tinggi**: Membran nanofiltrasi mampu menolak 90-98% dari total padatan terlarut (TDS), sehingga efektif dalam menghilangkan kontaminan seperti logam berat dan pestisida.

3. **Fleksibilitas Aplikasi**: Teknologi ini dapat digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pengolahan air limbah, desalinasi air laut, dan produksi air minum. Selain itu, nanofiltrasi sering digunakan sebagai langkah pra-perlakuan untuk sistem osmosis balik, yang meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.
4. **Efisiensi Penyaringan yang Lebih Baik**: Teknologi nano membran dapat meningkatkan efisiensi penyaringan air limbah domestik dengan kemampuan untuk menghilangkan partikel mikroskopis, patogen, dan kontaminan kimia. Dengan ukuran pori yang sangat kecil, nano membran dapat menyaring zat berbahaya yang tidak dapat diatasi oleh teknologi konvensional.
5. **Desalinasi dan Pemulihan Air**: Dengan meningkatnya kebutuhan akan air bersih, nano membran dapat digunakan dalam proses desalinasi dan pemulihan air dari sumber yang tidak konvensional, seperti air limbah domestik. Ini memungkinkan pemanfaatan kembali sumber daya air yang ada.
6. **Pengurangan Limbah**: Teknologi ini dapat membantu mengurangi limbah dengan memungkinkan pemulihan zat berharga dari limbah domestik, seperti nutrisi yang dapat digunakan dalam pertanian atau energi dari biogas.
7. **Sistem Terintegrasi**: Pengembangan sistem pengolahan air yang terintegrasi, yang menggabungkan nano membran dengan teknologi lain seperti reaksi biologis atau sistem filtrasi lainnya, untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemisahan air limbah.
8. **Inovasi dalam Material**: Penelitian lebih lanjut tentang material nano membran, seperti penggunaan polimer cerdas yang dapat beradaptasi dengan kondisi air, akan meningkatkan kinerja membran dalam menghadapi variasi kualitas air.
9. **Penerapan dalam Skala Besar**: Pengembangan teknologi nano membran untuk aplikasi skala besar di instalasi pengolahan air akan menjadi penting, dengan fokus pada peningkatan daya tahan dan penurunan biaya operasional.
10. **Peningkatan Teknologi Monitoring**: Integrasi sistem monitoring cerdas yang menggunakan sensor untuk mendeteksi kualitas air secara real-time akan memungkinkan pengelolaan sistem yang lebih efisien dan responsif.
11. **Regulasi dan Kebijakan**: Perkembangan kebijakan dan regulasi yang mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan akan mendorong investasi dalam teknologi nano membran untuk pengolahan air limbah domestik.
12. **Industri Minuman**: Nanofiltrasi membran dapat digunakan untuk menghilangkan kotoran dan meningkatkan kualitas air dalam industri minuman. Penelitian menunjukkan nanofiltrasi membran mampu menghilangkan kotoran dengan efisiensi tinggi.
13. **Pengolahan Limbah**: Nanofiltrasi membran dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan dan meningkatkan kualitas air dalam pengolahan limbah. Penelitian menunjukkan nanofiltrasi membran mampu menghilangkan kontaminan dengan efisiensi tinggi.

10. Kesimpulan

Teknologi nano membran adalah inovasi yang memanfaatkan struktur nano untuk meningkatkan efisiensi dalam pemisahan, filtrasi, dan penyaringan. Dengan kemampuan untuk menyaring partikel kecil dan meningkatkan laju aliran, teknologi ini memiliki berbagai aplikasi dalam bidang lingkungan, kesehatan, dan energi. Pada akhirnya, nano membran dapat membantu mengatasi tantangan sumber daya air dan energi, menjadikannya solusi yang menjanjikan untuk masa depan.

Krisis air bersih adalah tantangan global yang semakin mendesak, terutama di wilayah dengan sumber daya air terbatas. Pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perubahan iklim

memperburuk masalah ini, meningkatkan kebutuhan akan solusi inovatif dan berkelanjutan. Teknologi nanofiltrasi membran muncul sebagai salah satu solusi efektif, mampu mengolah air tercemar menjadi air bersih dengan efisiensi energi yang rendah. Nanofiltrasi tidak hanya menghilangkan kontaminan berbahaya seperti logam berat dan mikroorganisme, tetapi juga mempertahankan mineral penting. Penerapannya di wilayah yang menghadapi krisis air, seperti Desa Tinggiran 2 Luar, menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan kualitas air secara signifikan. Meski ada tantangan seperti penyumbatan membran dan biaya pemeliharaan, potensi nanofiltrasi sebagai solusi dalam pengolahan air domestik sangat menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan air bersih yang aman dan berkelanjutan.

Dengan perkembangan nanoteknologi, nanofiltrasi membran diharapkan menjadi bagian integral dari solusi untuk mengatasi krisis air bersih di berbagai belahan dunia. Masyarakat, terutama di daerah yang paling terpengaruh, akan mendapatkan manfaat signifikan dari akses air bersih yang lebih aman dan berkelanjutan. Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai teknologi ini dan upaya terus-menerus untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya, nanofiltrasi dapat menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan air bersih di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul, Wahab Md. (2022). *Pembuatan Membran Berbasis Oksida Grafena dan Aplikasinya dalam Pengolahan Air*.

Anna Kowalik-Klimczak, Anita Bednarska, Marian Gradkowski and Pawel

Alaa El Din Mahmoud. (2023). Membran Nanofiltrasi untuk Menghilangkan Logam Berat dari Larutan Air: Persiapan dan Aplikasi.

Arrahman, Nasrul. 2017. *Teknologi Membran*. Syiah Kuala University Press : Banda Aceh

B, Faisal. (2023). Desalinasi Air Laut Berbiaya Tinggi, Tidak Sebanding Jumlah Produksi.

Dewi LR, Widanarto W, Effendi M. 2016, Pengaruh temperatur sintering terhadap komposisi, sifat magnetik dan absorpsi gelombang mikro komposit nano zinc-ferit 2016. https://jos.unsoed.ac.id/index.php/tf/article/view/1514

Elham Derakhshani, Ali Naghizadeh. 2018. *Optimization of humic acid removal by adsorption onto bentonite and montmorillonite nanoparticles*.

Fadli Haris M, Ibadurrohman M, Slamet 2021 *Microplastic Pollutant Degradation in Water Using Modified TiO2 Photocatalyst under UV-irradiation* https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=muhamad+fadli+2021&btnG=#d=gs_qabs&t=1734500380949&u=%23p%3DuKtSvBw4tDIJ

Fadli M, Khautsar A, Sofyana, Fathanah U, 2021 Karakteristik Membran Komposit Polietersulfon, Polivinilpirolidon dan Kitosan. https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/3476

Gierycz. 2016. *Analysis of polymeric nanofiltration membranes by modern techniques*. Industrial Chemistry Research Institute.

Hao Guo,dkk. (2021). Nanofiltrasi untuk pengolahan air minum.

Mohammad AW, Teow YH, Ang WL, Chung YT, Oatley-Radcliffe DL, Hilal N. *Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects*. Desalination. 15 Januari 2015;356:226–54.https://www.pengolahanair.co.id/membran-ultrafiltrasi/

Nazriati, Rahmawati E R, 2022 Biosintesis dan karakterisasi nanopartikel tembaga oksida (CuO) menggunakan ekstrak rimpang kencur (Kaempferia galanga L.) https://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/JTK/article/view/1232

Ph.D., Anne Marie Helmenstine,. (2019). *Definisi Kation Divalen dalam Kimia*.

Rizkaviana K 2017 REVIEW KARAKTERISASI ANALISIS TERMAL DAN MORFOLOGI Ag-TiO2 https://www.researchgate.net/publication/317328986_REVIEW_KARAKTERISASI_ANALISIS_TERMAL_DAN_MORFOLOGI_Ag-TiO2

Ramesh, P., Rajendran, A. and Meenakshisundaram, M. (2014) Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Flower Extract Cassia Auriculata. Journal of Nano-Science and Nanotechnology, 2, 41-45 https://www.researchgate.net/publication/260146256_Green_Syntheis_of_Zinc_Oxide_Nanoparticles_Using_Flower_Extract_Cassia_Auriculata

Sari Hasnah Dewi, Ridwan Ridwan. 2016. *Synthesis and Characterization Nanoparticles of Magnetic Fe3o4 for Adsorption of Chromium*

Tumkevicius S, Januskevisius J, Inkrataite G. Chemistry and Chemical Technology https://www.researchgate.net/figure/SEM-image-of-carbon-nanotube-based-nanostructure_fig2_360656110

Su Zhang, Lingxiang Zhu, Huaihe Song, Xiaohong Chen. 2014. *Enhanced electrochemical performance of MnO nanowire graphene composite during cycling as the anode material for lithium-ion batteries*.