

Aplikasi Membran Nanofiltrasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Pewarna Tekstil Industri Batik: Tinjauan Literatur

Lidya Tesalonika¹, Tety Wahyuningsih Manurung^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya

Kata kunci

membran, nanofiltrasi, limbah cair pewarna tekstil, parameter COD, BOD, TSS

Abstrak

Pencemaran lingkungan akibat limbah industri, khususnya limbah cair dari proses pewarnaan tekstil, menjadi masalah yang signifikan di berbagai wilayah. Industri batik, sebagai salah satu penyumbang utama limbah cair berwarna, memerlukan solusi yang efektif untuk mengurangi dampak pencemaran. Tinjauan ini bertujuan untuk menganalisis penerapan teknologi membran nanofiltrasi dalam pengolahan limbah cair batik. Metode yang digunakan berupa studi pustaka dari berbagai artikel ilmiah dan jurnal bereputasi. Hasil telaah menunjukkan bahwa membran nanofiltrasi memiliki kemampuan tinggi dalam menurunkan parameter kualitas air seperti Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biochemical Oxygen Demand (BOD), serta efektif dalam menyisihkan logam berat seperti Pb. Kinerja membran dipengaruhi oleh ukuran pori, tekanan operasi, interaksi elektrostatis, serta durasi operasional. Dengan efisiensinya yang tinggi dan kebutuhan energi yang relatif rendah, nanofiltrasi berpotensi menjadi solusi teknologi ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair industri batik.

Keywords

membrane, nanofiltration, textile dye wastewater, COD, BOD, TSS

Abstract

Environmental pollution caused by industrial waste, particularly liquid waste from textile dyeing processes, is a significant concern in many regions. The batik industry, as one of the major contributors of colored wastewater, requires effective solutions to reduce pollution. This review aims to analyze the application of nanofiltration membrane technology in the treatment of batik wastewater. The method used is a literature review of various scientific articles and reputable journals. The results indicate that nanofiltration membranes have high capabilities in reducing key water quality parameters such as Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), and Biochemical Oxygen Demand (BOD), as well as effectively removing heavy metals like Pb. The membrane's performance is influenced by pore size, operating pressure, electrostatic interactions, and operation duration. Due to its high efficiency and relatively low energy requirements, nanofiltration presents a promising and environmentally friendly technological solution for treating wastewater from the batik industry.

Email korespondensi: tety.manurung@mipa.upr.ac.id

Sejarah Artikel

Diterima : (16-04-2025)

Disetujui : (24-05-2025)

Dipublikasi : (24-05-2025)

© 2025 Bohr: Jurnal Cendekia Kimia. This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

PENDAHULUAN

Perkembangan industri industri batik semakin meningkat dari masa ke masa. Dalam industri batik, pewarnaan adalah tahapan utama yang tidak dapat diabaikan. Proses ini melibatkan penggunaan pewarna tekstil yang menghasilkan limbah dan berdampak buruk terhadap lingkungan [1]. Industri batik menghasilkan limbah cair melalui proses pewarnaan, ditandai dengan tingginya kandungan zat warna. Limbah dari industri batik juga mengandung bahan-bahan sintetis yang sulit untuk diuraikan. Setelah proses pewarnaan selesai, hasilnya adalah limbah cair yang memiliki tingkat kekeruhan dan kepekatan yang bervariasi, tergantung pada jenis zat warna yang digunakan. Limbah cair batik yang berwarna pekat dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan [2].

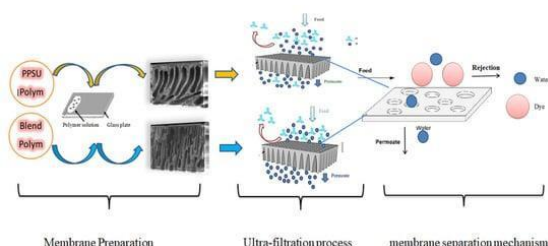
Limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri batik umumnya terdiri dari senyawa organik non-biodegradable yang dapat mencemari lingkungan. Industri batik umumnya menggunakan zat warna seperti remazol black, red, dan golden yellow, biasanya hanya menggunakan sekitar 5% dari senyawa-senyawa tersebut dalam proses pewarnaan sementara sisanya 95% dibuang sebagai limbah. Senyawa-senyawa ini memiliki stabilitas yang tinggi, sehingga mereka sulit terdegradasi di alam dan dapat membahayakan lingkungan, terutama ketika terdapat dalam konsentrasi yang besar karena dapat meningkatkan kadar COD [2].

Umumnya zat warna dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu zat warna alami dan zat warna buatan (sintetik). Pewarna sintetik seringkali menjadi pilihan yang umum digunakan karena ketersediaannya yang mudah serta kemampuannya dalam menghasilkan warna-warna yang terang. Berdasarkan struktur kimianya, zat warna dapat diklasifikasikan lagi ke dalam berbagai kelompok seperti nitroso, nitro, azo, stilben,

difenil metana, trifenil metana, akridin, kinolin, indigoida, aminokinon, anin, dan indofenol [3]. Penyebab utama rendahnya kualitas air limbah dari sektor industri tekstil adalah adanya beragam senyawa kimia berupa bahan pewarna dengan berbagai konsentrasi yang berbeda-beda. Beberapa jenis bahan pewarna ini termasuk dalam kategori beracun dan memiliki potensi efek karsinogenik serta mutagenik pada lingkungan perairan dan manusia [4].

Dalam peraturan KepMen LH No. 51/MENLH/10/1995 menetapkan nilai COD maksimal sebesar 150 mg/L. Sementara pada umumnya kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dalam limbah tekstil berkisar antara 150 hingga 12,000 mg/L. Kadar tersebut cenderung melebihi batas maksimal yang telah ditetapkan untuk limbah cair industri tekstil [5]. Limbah tekstil yang terdapat dalam lingkungan dapat menghambat sinar matahari masuk dan meningkatkan nilai COD sehingga miskinnya kandungan oksigen dalam badan. Hal ini dapat mengganggu proses kehidupan organisme di dalam air dan membahayakan kelangsungan ekosistem perairan [6].

Membran adalah sebuah film/lapisan tipis, bersifat permeable atau semipermeable yang berfungsi menghalangi unsur-unsur dengan ukuran tertentu untuk melaluinya. Membran bertindak sebagai penghalang yang mengendalikan pergerakan molekul, sehingga terbentuk permeat yang bebas dari molekul pengotor. Kinerja suatu membran dapat diukur dengan dua faktor sederhana, yaitu fluks (kecepatan aliran permeat) dan selektivitas membran [7]. Mekanisme cara kerja membran dapat dilihat pada **gambar 1** berikut,



Gambar 1. Mekanisme Kerja Membran Memfiltrasi Zat Warna [8]

Limbah zat pewarna tekstil jika tidak diolah secara tepat maka akan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan dan manusia. Oleh karena itu, Pengolahan yang sederhana dan efisien terhadap limbah tersebut sangat diperlukan. Saat ini, pemanfaatan teknologi membran semakin berkembang secara signifikan dalam pengolahan air limbah domestik karena kemampuannya mengurangi tingkat kontaminan dalam air limbah dengan efisiensi yang tinggi [9].

Membran dapat memisahkan zat pewarna dan kontaminan lainnya dari air limbah melalui proses filtrasi. Membran memiliki pori-pori yang menahan zat pewarna dan partikel besar sehingga zat pewarna terakumulasi di membran. Metode tidak memerlukan tambahan bahan kimia dalam pengoperasiannya sehingga tidak menghasilkan limbah lain dan minim energi. Salah satu jenis membran yang kerap digunakan dalam pengolahan limbah adalah membran nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi dapat digunakan dalam proses penghilangan zat warna, COD, BOD, TSS, kekeruhan, logam berat, dan padatan terlarut pada air limbah yang mengandung zat pewarna [10].

METODOLOGI PENELITIAN

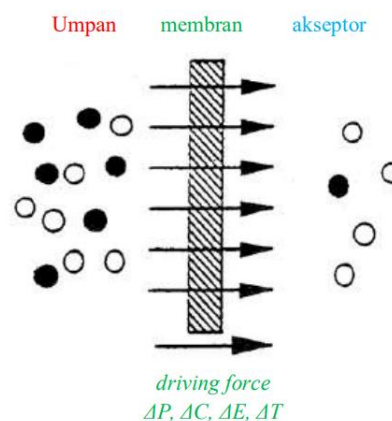
Tahapan yang akan dilakukan pada studi review ini dengan mengumpulkan dan mengulas studi pustaka yang telah dipublikasikan. Sumber informasi dan data yang digunakan bersumber dari artikel dan jurnal penelitian. Pencarian jurnal dan artikel dilakukan pada beberapa platform

seperti *Google Scholar* dan *Science direct*. Selanjutnya penelusuran secara manual berdasarkan daftar pustaka yang relevan, hingga akan mengarah pada sumber-sumber lain e-book dan e-journal yang berhubungan dengan literatur yang terkait.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi membran

Membran adalah suatu media berpori berupa lapisan tipis yang memiliki sifat semipermeabel, berfungsi untuk melakukan pemisahan partikel-partikel berukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Proses pemisahan yang menggunakan membran dapat terjadi karena perbedaan dalam ukuran pori, bentuk, struktur kimia, dan selektivitas [11]. Proses pemisahan dengan menggunakan membran dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut,



Gambar 2. Pemisahan Dengan Menggunakan Membran [12].

Fasa umpan terdiri dari berbagai komponen yang akan dipisahkan dalam sistem larutan, sementara fasa akseptor adalah sisi permeat yang merupakan hasil pemisahan atau permeasi. Proses pemisahan dalam membran terjadi karena perbedaan dalam tingkat transportasi zat kimia melalui membran. Tingkat transportasi ini dipengaruhi oleh gaya dorong atau gaya yang beroperasi, mobilitas, dan konsentrasi dari setiap komponen [11].

Karakterisasi Limbah Cair Pewarna Tekstil

Zat pewarna adalah senyawa kimia yang dapat mengikat ke permukaan atau kain untuk memberikan warna. Sebagian besar zat warna adalah molekul organik yang kompleks dan memiliki ketahanan terhadap berbagai kondisi. Zat warna ini dapat mengurangi penetrasi sinar matahari dan menghambat proses fotokimia serta dapat mengganggu kehidupan akuatik dengan serangan biologis [13]. Karakteristik beberapa limbah cair zat pewarna tekstil yang di hasilkan dari insutri baik di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut,

Tabel 1. Karakterisasi Limbah Cair Tekstil Industri Batik di Beberapa Wilayah [14]

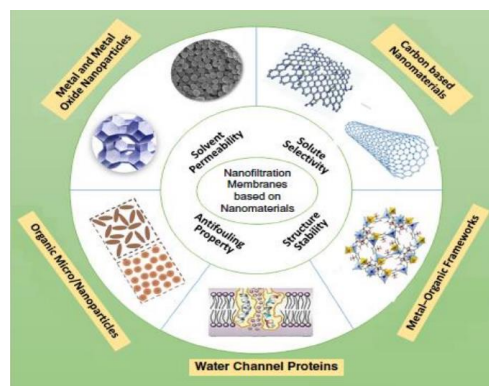
Sumber Limbah	Parameter	Konsentrasi
Pekalongan [15]	Warna (Pt-Co)	29721,7
	COD	12063,33
	BOD	3739,53
	TSS	8420
	Pb	3,015
Yogyakarta	TDS	1857
	COD	2200
	BOD	869
	TSS	243
	pH	9,7
Palembang	Fe	2,0587
	COD	4230,366
	Zn	54,7175
	TSS	535
	Pb	0,2349
Sidoarjo	Warna (Pt-Co)	3050
	COD	1066
	BOD	261,25
	pH	8,77

Saat ini, terdapat lebih dari 100.000 zat warna komersial diketahui diproduksi dalam jumlah lebih dari 700.000 ton per tahun. Konsumsi zat warna dalam industri tekstil global mencapai lebih dari 10.000 ton per tahun dan sekitar 100 ton per tahun zat warna dibuang ke dalam aliran air. Pelepasan zat warna sintetis ke lingkungan

menjadi perhatian karena sifat reaktifitasnya. Limbah zat warna yang masuk ke perairan adalah salah satu sumber polusi air [13].

Karakterisasi Membran Nanofiltrasi

Perkembangan teknologi membran berbasis nanofiltrasi telah dihasilkan melalui pemanfaatan beragam nanomaterial, seperti nanopartikel logam dan oksida logam, nanomaterial berbasis karbon, rangkaian metal organik, kanal protein air, serta mikro/nanopartikel organik. Ilustrasi berbagai jenis membran dapat dilihat pada **Gambar 3** Keunggulan dari penggunaan nanomaterial mencakup tingkat selektivitas yang tinggi, stabilitas yang baik, dan kemampuan untuk menghindari antifouling [16].



Gambar 3. Membran Nanopartikel Berdasarkan Jenis Nanomaterial [16]

Membran nanofiltrasi dapat digunakan dalam pengolahan limbah yang berasal dari tahap pencelupan dalam industri tekstil. Salah satu jenis membran nanofiltrasi yang cukup efektif dan efisiensi untuk menyaring zat pewarna pada industri tekstil adalah membran NF-270 [17]. Karakterisasi dari membran nanofiltasi NF-270 dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut,

Tabel 2. Karakterisasi Membran Nanofiltrasi NF270 [15]

No	Material	Komposit Poliamida
----	----------	--------------------

1	Tekanan Maksimum (bar)	41
2	Suhu Maksimum (°C)	45
3	Rentang pH	2-11
4	Rejeksi MgSO ₄ (%)	>97% (2000 ppm MgSO ₄ , T = 25°C)

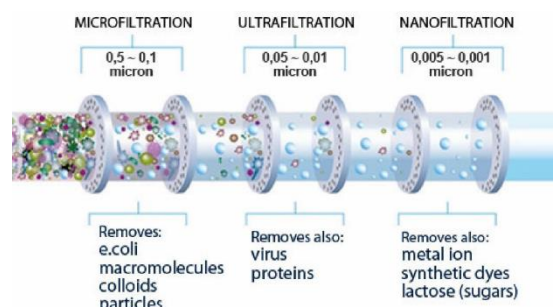
Efektifitas Aplikasi Membran Nanofiltrasi Terhadap Zat Pewarna Tekstil

Membran nanofiltrasi memiliki pori dengan ukuran sekitar 0,001 µm, yang memungkinkannya untuk menyaring limbah yang mengandung kadar organik yang sangat tinggi [18]. Membran nanofiltrasi memiliki kemampuan untuk mengurangi TSS dengan tingkat rejeksi mencapai 100% pada berbagai tekanan operasi [19].

Membran nanofiltrasi dapat memisahkan kandungan Pb dalam limbah cair pewarna tekstil. Pemisahan berdasarkan ukuran pori berperan penting dalam pemisahan logam Pb pada limbah tekstil [15]. Pemisahan logam Pb oleh membran nanofiltrasi disebabkan karena adanya interaksi elektrostatis antara ion dan permukaan membran. Ketika membran berkontak dengan ion Pb, muatan permukaan membran menjadi positif. Selain itu, membran nanofiltrasi memiliki kemampuan untuk membuat membran bermuatan positif, negatif, atau netral [20].

Proses penyaringan dapat terjadi jika ukuran partikel melebihi ukuran pori membran. Membran Nanofiltrasi memiliki rejeksi COD dan BOD yang lebih tinggi dibandingkan dengan membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Hal ini disebabkan oleh ukuran pori membran Nanofiltrasi yang sangat lebih kecil sehingga meningkatkan kemampuan rejeksi parameter COD dan BOD. Fenomena ini terjadi karena zat organik yang lebih besar daripada ukuran pori membran tidak dapat melewati membran

dan tertahan di dalamnya, mengakibatkan penurunan kandungan zat organik dalam permeat [21].



Sumber: <https://www.lubron.co.uk/demineralisation/nano-filtration/>

Gambar 4. Perbandingan Antara Membran Mikrofiltrasi, Ultrafiltrasi, dan Nanofiltrasi.

Peningkatan tekanan memiliki potensi untuk meningkatkan kecepatan aliran umpan melalui membran, seiring berjalannya waktu, akan terjadi akumulasi *fouling* pada permukaan membran. Akumulasi *fouling* pada akhirnya dapat mengakibatkan penyumbatan pori terjadi lebih cepat dibandingkan dengan saat tekanan rendah [22].

Lamanya waktu operasi juga memengaruhi jumlah fluks yang dihasilkan. Semakin lama waktu operasi, fluks yang dihasilkan cenderung menurun. Beberapa faktor yang menyebabkan penurunan fluks meliputi konsentrasi polarisasi, adsorpsi, pembentukan lapisan gel, dan penyumbatan pori [12].

Selain itu, tekanan juga memengaruhi tingkat rejeksi parameter COD dan BOD. Peningkatan tekanan pada membran Nanofiltrasi dapat menyebabkan pembentukan *fouling* pada permukaan membran menjadi lebih cepat. Akibatnya, ukuran pori membran menyusut dan meningkatkan kemampuan rejeksi parameter COD [23].

KESIMPULAN

Teknologi membran nanofiltrasi merupakan solusi efektif untuk pengolahan limbah cair dari industri batik. Teknologi ini

mampu menurunkan parameter utama pencemar seperti TSS, COD, BOD, dan logam berat dengan efisiensi tinggi. Keunggulannya meliputi selektivitas terhadap polutan, operasi tanpa bahan kimia tambahan, serta jejak lingkungan yang lebih kecil. Namun, keberhasilan aplikasi teknologi ini sangat tergantung pada kondisi operasi seperti tekanan, durasi, dan desain sistem filtrasi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan performa dan mengatasi tantangan seperti fouling dan efisiensi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Apriyani, "Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya," 2018.
- [2] N. D. Lestari and A. Tuhu, "Penurunan TSS Dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi," *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 6, no. 1, pp. 37–38, 2017.
- [3] A. Al-Kdasi, A. Idris, K. Saed, and C. Teong Guan, "Treatment Of Textile Wastewater By Advanced Oxidation Processes-A Review," 2004.
- [4] S. Rodríguez Couto, "Dye removal by immobilised fungi," *Biotechnology Advances*, vol. 27, no. 3, pp. 227–235, May 2009. doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.12.001.
- [5] M. Haryono, D. Faizal, C. Liamita, and A. Rostika, "Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi Dengan Metode Elektroflotasi," vol. 3, no. 1, 2018.
- [6] B. Lellis, C. Z. Fávaro-Polonio, J. A. Pamphile, and J. C. Polonio, "Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms," *Biotechnology Research and Innovation*, vol. 3, no. 2, pp. 275–290, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.biori.2019.09.001.
- [7] K. Khoiruddin, "Pengantar Teknologi Membran," 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/287489468>
- [8] M. Y. Ghadhbhan *et al.*, "Removal of dye from a leather tanning factory by flat-sheet blend ultrafiltration (UF) membrane," *Membranes (Basel)*, vol. 10, no. 3, Mar. 2020, doi: 10.3390/membranes10030047.
- [9] S. M. K. Sadr and D. P. Saroj, "Membrane technologies for municipal wastewater treatment," in *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications*, Elsevier Inc., 2015, pp. 443–463. doi: 10.1016/B978-1-78242-121-4.00014-9.
- [10] K. D. Bhuyar, K. A. Loharkar, and R. Solanki, "Design & Fabrication of Nanofiltration Unit: A Review."
- [11] R. A. Lusiana and N. B. A. W. Prasetya, "Membran dan Aplikasinya".
- [12] M. Mulder, *Basic Principles of Membrane Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. doi: 10.1007/978-94-009-1766-8.
- [13] Y. I. Kedang, "Membran Nanofiltrasi untuk Aplikasi Pemisah Zat," *Jurnal Saintek Lahan Kering*, vol. 2, no. 1, pp. 27–29, Jun. 2019, doi: 10.32938/slk.v2i1.444.
- [14] N. Apriyani, "Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya," 2018.
- [15] Kiswanto, L. N. Rahayu, and Wintah, "Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi Di Kota Pekalongan," *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, vol. 17, 2019.
- [16] Y. Ji *et al.*, "Recent developments in nanofiltration membranes based on nanomaterials," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 25, no. 11. Chemical Industry Press, pp. 1639–

- 1652, Nov. 01, 2017. doi: 10.1016/j.cjche.2017.04.014.
- [17] E. Kurt, D. Y. Koseoglu-Imer, N. Dizge, S. Chellam, and I. Koyuncu, "Pilot-scale evaluation of nanofiltration and reverse osmosis for process reuse of segregated textile dyewash wastewater," *Desalination*, vol. 302, pp. 24–32, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.desal.2012.05.019.
- [18] A. Damayanti, Z. Ujang, and M. R. Salim, "The influenced of PAC, zeolite, and Moringa oleifera as biofouling reducer (BFR) on hybrid membrane bioreactor of palm oil mill effluent (POME)," *Bioresour Technol*, vol. 102, no. 6, pp. 4341–4346, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.12.061.
- [19] L. M. Ortega, R. Lebrun, J. F. Blais, and R. Hausler, "Removal of metal ions from an acidic leachate solution by nanofiltration membranes," *Desalination*, vol. 227, no. 1–3, pp. 204–216, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.06.026.
- [20] N. Phuong Tu, "Role of charge effects during membrane filtration," 2012.
- [21] K. Boussu, C. Kindts, C. Vandecasteele, and B. Van der Bruggen, "Applicability of nanofiltration in the carwash industry," *Sep Purif Technol*, vol. 54, no. 2, pp. 139–146, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.seppur.2006.08.024.
- [22] N. Zhou and A. G. A. Nnanna, "Parametric Study of Ultrafiltration," in *Volume 9: Heat Transfer, Fluid Flows, and Thermal Systems, Parts A, B and C*, ASME/EDC, Jan. 2009, pp. 233–240. doi: 10.1115/IMECE2009-11696.
- [23] M. Widyasmara and C. K. Dewi, "Potensi Membran Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Limbah Cair Berminyak," *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 295–307, 2013.