

## REVIEW : PROFIL *HYBRID MEMBRANE* DALAM PROSES REDUKSI AIR LIMBAH

Ian Kurniawan<sup>1)</sup>, Pra Dian Mariadi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknologi Laboratorium Medik, Unika Musi Charitas Palembang  
iankurniawan019@gmail.com

**ABSTRACT.** *Water use very high frequency along with the development of technology and population growth. Improvement of human living standards higher environmental problems related to water quality due to chemicals, nutrition, leachate, oil spills, hazardous waste disposal, as well as the use of materials dispossable and non-biodegradable. The development of technology resources produced a revolution resulting in more material and chemical compounds. identified a number of compounds that have the potential threats to environmental organisms. The purpose of this study is to identify the waste water treatment techniques by combining two properties in reducing wastewater membrane. The method used is a review of some of the sources of literature by studying the literature prior to the few studies that have been done. Conclusions from the study suggest that the membrane technology as one of the installation of a waste processing unit developments and progress has been very promising and a lot to do in the process with the principle of the separation and purification of water. Membrane technology could be a solution in wastewater treatment, along with the development of membrane can be combined (Hybrid Process) using various types of membrane, namely Ultrafiltration, Microfiltration, Nanofiltration and Reverse Osmosis, but be aware of the operational conditions of the process.*

*Keywords: wastewater, hybrid membrane, reduction*

**ABSTRAK.** *Frekuensi penggunaan air sangat tinggi seiring dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan jumlah penduduk. Peningkatan standar hidup manusia yang semakin tinggi menimbulkan permasalahan lingkungan terkait dengan kualitas air akibat bahan kimia, nutrisi, lindi, tumpahan minyak, pembuangan limbah bahan berbahaya, serta penggunaan bahan dispossable dan non-biodegradable. Perkembangan sumber daya teknologi menghasilkan suatu revolusi sehingga menghasilkan lebih banyak bahan dan senyawa kimia. sejumlah senyawa yang diidentifikasi memiliki ancaman potensial terhadap organisme lingkungan hidup. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi teknik pengolahan air limbah dengan menggabungkan dua sifat membran dalam mereduksi air limbah. Metode yang digunakan adalah review dari beberapa sumber pustaka dengan melakukan studi literatur terdahulu terhadap beberapa penelitian yang pernah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian menghasilkan bahwa teknologi membran sebagai salah satu instalasi unit pengolahan limbah perkembangan dan kemajuannya sangat menjanjikan dan banyak dilakukan dalam proses dengan prinsip pemisahan dan pemurnian air. Teknologi membran bisa menjadi solusi dalam pengolahan air limbah, seiring dengan perkembangannya membran dapat dikombinasikan (Hybrid Process) dengan menggunakan berbagai jenis membrane yaitu Ultrafiltrasi, Mikrofiltrasi, Nanofiltrasi dan Reverse Osmosis, akan tetapi harus diperhatikan kondisi operasional dari proses tersebut.*

*Kata kunci: air limbah, hybrid membrane, reduksi*

---

## PENDAHULUAN

*World Health Statistic* yang dilaporkan oleh WHO tahun 2015 menunjukkan bahwa sekitar 85 % populasi yang ada di Indonesia membutuhkan akses air bersih untuk dikonsumsi. Sesuai dengan hal tersebut, dalam beberapa dasawarsa terakhir masyarakat semakin menyadari pentingnya upaya mengatasi masalah-masalah lingkungan hidup khususnya ketersediaan sumber air bersih, apabila masalah tersebut tidak segera diatasi dapat mengancam kelangsungan dan kelestarian sumber daya alam.

*International Water Institute* memprediksi pada Tahun 2025 Jawa dan beberapa pulau lainnya termasuk dalam wilayah krisis air bersih. Kelangkaan air secara global mengalami peningkatan dan diperlukan sumber yang lain untuk menyeimbangkan kebutuhan dikarenakan sumber air yang sudah ada sudah mulai ditinggalkan, akibat dari polusi dan air limbah. Masalah dari sumber air adalah mengandung komponen pencemar dalam konsentrasi yang tinggi seperti logam berat, senyawa beracun dan mikroba patogen.

Pusat Teknologi Lingkungan melalui Badan Penerapan dan Pengembangan Teknologi (BPPT) pada tahun 2010 melaporkan bahwa potensi dan ketersediaan air di Indonesia saat ini diperkirakan sebesar 15.000 meter kubik perkapita pertahun. Pada tahun 2020 total potensinya diperkirakan tinggal 1200 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Dari potensi alami ini, yang layak dikelola secara ekonomi hanya 35%, sehingga potensi nyata hanya tinggal 400 m<sup>3</sup>/kapita/tahun, jauh dari angka minimum PBB, yaitu sebesar 1.000 m<sup>3</sup>/kapita/tahun. Laporan berikutnya oleh Badan Penerapan dan Pengembangan Teknologi (BPPT) pada tahun 2015 menyatakan bahwa permasalahan penurunan kualitas lingkungan perairan di Indonesia semakin

meningkat.

Kegiatan dari beberapa aktivitas manusia yang tidak terkontrol misalnya industri, transportasi, pertanian dan urbanisasi merupakan faktor penyebab terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Industri, pertanian dan kegiatan masyarakat umum memainkan peranan penting dalam masalah polutan air karena penggunaan air dan menghasilkan banyak senyawa dalam air limbah. Proses yang menghasilkan berbagai jenis polutan menyebabkan perubahan pada siklus air dan menjadikan permasalahan global akibat dampak yang diterima pada kehidupan dan kesehatan organisme (Deblonde et al. 2011).

Data yang dikeluarkan oleh organisasi dunia WWF dalam laporannya Toxic Chemical mengungkapkan data antara tahun 1930 sampai 2000, produksi bahan kimia yang diakibatkan oleh kegiatan manusia meningkat dari 1 juta menjadi 400 juta/tahun. Data statistik yang diterbitkan oleh Euro Stat pada 2013 mengungkapkan bahwa antara tahun 2002 dan 2011 lebih dari 50 % total produksi bahan kimia menghasilkan senyawa berbahaya dan 70 % diantaranya memiliki dampak terhadap lingkungan yang signifikan. Selain itu, aktivitas manusia telah mengakibatkan kontaminasi sumber daya air dengan micropollutants biologis, seperti virus dan bakteri yang bersifat toksik (Sui et al. 2015). Upaya pengolahan effluent serta peningkatan kualitas buangan yang dibuang ke badan air perlu dilakukan. Upaya ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kualitas effluent sehingga dapat dimanfaatkan sebagai air bersih dan tidak membebani lingkungan. IPAL merupakan instrumen yang umumnya merupakan gabungan dari ketiga proses pengolahan air limbah baik secara fisik-mekanik, biologis maupun kimia. Pengolahan secara fisik-mekanik dan kimia pada dasarnya sama dengan pengolahan

air limbah untuk mendapatkan air bersih. Pengolahan air limbah secara biologis yang banyak dijumpai adalah proses lumpur aktif.

Realitas keadaan di lingkungan, IPAL masih menyisakan banyak persoalan dan hambatan. Besarnya lokasi tempat instrumen pengolahan dan biaya yang diperlukan baik untuk instalasi ataupun perawatan dapat menyebabkan beban ekonomi dan biaya akan semakin meningkat. Effluent yang dihasilkan dari IPAL masih membutuhkan pengolahan lebih lanjut, sehingga akan memakan energi dan biaya yang cukup tinggi. Polutan yang memerlukan pengolahan lanjut mencakup berbagai bahan kimia buatan manusia (pestisida, kosmetik, produk perawatan rumah tangga dan obat-obatan) yang penggunaannya di seluruh dunia untuk memenuhi kebutuhan masyarakat modern (Aamand et al. 2014).

Teknologi membran sebagai salah satu instalasi unit pengolahan limbah, perkembangan dan kemajuannya sangat menjanjikan dan banyak dilakukan dalam proses dengan prinsip pemisahan dan pemurnian air (Bodzek et al. 2012). Membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan beberapa komponen dari aliran fluida, membran berfungsi sebagai barrier yang sangat selektif diantara dua fasa dan dapat menahan komponen tertentu. (Mulder, 1996). Membran berdasarkan ukuran partikel yang difiltrasi terbagi menjadi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan reverse osmosis (Fane et al. 2011).

Bennedsen (2014) menyatakan bahwa teknologi membran memiliki kemampuan yang baik sebagai filter penghalang bagi kontaminan atau senyawa pencemar, sehingga dapat dipisahkan dari limbah. Model kerja membran memiliki konsep yang baik dikarenakan hanya senyawa yang memiliki ukuran diameter lebih kecil

dari pori yang bisa melewati filter membran. Membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional, antara lain proses dapat berjalan kontinyu, tidak memerlukan bahan kimia tambahan, konsumsi energi rendah, proses dapat berjalan pada temperatur rendah, mudah untuk ditingkatkan kapasitasnya, tidak membutuhkan kondisi yang ekstrim, material membran bervariasi sehingga mudah beradaptasi dan dikombinasi oleh proses pemisahan lainnya. Madaeni et al. (2015) menjelaskan bahwa proses membran menawarkan keuntungan yang signifikan dikarenakan kesederhanaan operasional, fleksibilitas, efektivitas biaya, kehandalan, konsumsi energi yang rendah, stabilitas yang baik, kompatibilitas lingkungan, kontrol yang mudah, penanganan dan peningkatan skala dengan kondisi operasi seperti suhu, tekanan, dan pH.

Nanofiltrasi merupakan teknologi yang relatif baru yang diperkenalkan dalam sistem pengolahan air limbah (Shon et al. 2013), begitu juga pada proses dengan menggunakan prinsip tekanan pada membran yang disebut dengan reverse osmosis, merupakan penyesuaian dari industri pengolahan air minum dan penyedia bahan baku air proses industri (utilitas). Walaupun proses tersebut menggunakan biaya operasional dan konsumsi yang relatif tinggi, namun proses tersebut merupakan teknologi terkini dari proses filtrasi dalam mengurangi kontaminan pencemar dengan konsentrasi yang tinggi dan merupakan tantangan untuk dapat dilakukan pada kontaminan dengan karakteristik yang khas (Oller et al. 2014).

Membran berada dalam suatu proses menjadi sebuah filter pemisah selektif dengan beberapa zat yang bisa melewati membrane, sedangkan zat yang lainnya dipertahankan. Membran filtrasi dapat digunakan sebagai teknologi alternatif

pemurnian air limbah selain flokulasi, teknik pemurnian sedimen, adsorpsi, filter pasir dan filter karbon aktif, penukar ion, ekstraksi, dan distilasi. Kemampuan membran dalam selektivitas dan produktivitas ditentukan oleh efisiensi proses filtrasi membran. Walaupun teknologi filtrasi yang sudah ada dapat digunakan untuk mengurangi komponen pencemar air limbah, namun ketidakmampuan mereduksi 100% dari polutan tersebut melatarbelakangi dikembangkannya metode membran. Teknologi ini sudah dikembangkan dan digunakan untuk pengolahan air selama beberapa dekade terakhir, akan tetapi pengembangan lanjutan terus dikembangkan selama 10 tahun terakhir dalam meningkatkan kinerja membran (Gupta et al. 2009).

Proses pengolahan air dibedakan menjadi beberapa jenis membran yaitu mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), reverse osmosis (RO), dan nanofiltrasi (NF) membran. Frenkel (2015) menjelaskan bahwa membran MF yang memiliki ukuran pori terbesar dan biasanya mereduksi partikel besar dan berbagai mikroorganisme. Membran UF memiliki pori-pori lebih kecil dari membran MF, oleh karena itu selain partikel besar dan mikroorganisme, mereka bisa menahan bakteri dan makromolekul larut seperti protein. Membran RO merupakan jenis filter non-berpori dan sangat selektif dalam filtrasi partikel termasuk unsur dengan massa molar rendah seperti ion garam, organik. Membran NF relatif baru sebagai membran berpori, tapi karena pori-pori berada pada urutan sepuluh angstrom atau kurang, mereka menunjukkan kinerja antara bahwa RO dan UF membran.

Nasir et al. (2010) juga mengklasifikasi membran menjadi 4 jenis berdasarkan ukuran diameter pori membran, yaitu :

#### 1. Mikrofiltrasi (MF)

Membran mikrofiltrasi berfungsi untuk menyaring makromolekul lebih dari 500.000 g/mol atau partikel yang memiliki ukuran 0,1 – 10  $\mu\text{m}$  dengan kadar padatan terlarut tidak lebih dari 100 ppm. Aplikasi di industri banyak dilakukan pada proses sterilisasi air dengan tujuan untuk memisahkan mikroorganisme (bakteri, jamur) dan filtrasi emulsi minyak dan air dengan tekanan operasi 0,5 – 2 atm.

#### 2. Ultrafiltrasi (UF)

Membran ultrafiltrasi berfungsi untuk menyaring makromolekul lebih dari 5.000 g/mol atau partikel yang memiliki ukuran 0,001 – 0,1  $\mu\text{m}$ . Tekanan operasi yang digunakan adalah 1,0 – 3,0 atm, ukuran pori membran yang dipakai lebih kecil dan rapat dari MF maka proses UF sudah diaplikasikan dalam industri pemekatan susu, pemekatan protein dan pengolahan limbah tekstil.

#### 3. Reverse Osmosis (RO)

Membran reverse osmosis berfungsi untuk menyaring partikel yang memiliki ukuran 0,0001 – 0,001  $\mu\text{m}$ . Tekanan yang digunakan 8,0 – 120 atm.

#### 4. Nanofiltrasi (NF)

Proses nanofiltrasi mengurangi kesadahan, reduksi bakteri dan virus serta zat organik. Nanofiltrasi cocok untuk pengolahan air dengan padatan total terlarut yang rendah. Membran juga memiliki berbagai bentuk sebagai konfigurasi dari proses pemisahannya, Charcosset (2012) membagi klasifikasi dari modul (bentuk) membran menjadi 4 jenis bentuk modul, yaitu :

##### 1. *Hollow fibre*

Modul jenis membran ini memiliki serat berongga dengan diameter yang sempit dan memiliki lapisan yang padat sehingga dapat mendukung selektifitas dari membran. Dapat digunakan untuk kapasitas yang besar untuk menyaring

kotoran dengan konsumsi daya yang rendah, akan tetapi sangat mudah mengalami *fouling* oleh partikulat.

## 2. Tubular devices

Modul didesain seperti hollow fiber akan tetapi menggunakan tabung diameter yang lebih besar, biasanya Antara 0,3 – 2,3 cm. Bagian tabung terlihat berbentuk bundar dan sedikit lebih rumit dengan bahan terbuat dari fiberglass, keramik, plastik, stainless steel.

## 3. Flat Plate Modul

Modul membran yang komersil dalam jumlah yang besar dan merupakan konfigurasi pertama yang dikembangkan. Membran menggunakan beberapa lembaran yang disusun secara datar dilengkapi jalur aliran sebagai pemisah.

## 4. Spiral Wound

Membran jenis Spiral Wound digunakan secara intensif dalam pengolahan air limbah dan air proses seperti reduksi logam berat, pengolahan air payau dan desalinasi. Dewasa ini dikembangkan dalam pengolahan limbah yang berbasis farmasi dan bioteknologi.

Menurut Mulder (1996) bahwa kondisi optimal kinerja membran pada umumnya dinyatakan oleh besarnya permeabilitas dan selektivitas membran terhadap suatu spesi kimia tertentu yang dinyatakan dalam fluks permeat dan rejeksi kandungan dalam umpan. Semakin besar nilai permeabilitas dan selektivitas membran, maka suatu membran memiliki kinerja yang semakin baik. Fenomena yang terjadi dalam suatu proses pemisahan dengan membran ditemukan bahwa permeabilitas membran berbanding terbalik dengan selektivitasnya.

Apabila permeabilitas membran besar, maka selektivitasnya akan rendah dan demikian pula sebaliknya jika selektivitasnya besar maka

permeabilitasnya juga akan rendah.

Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi menembus membran. Parameter yang mempengaruhi kinerja membran diantaranya jumlah dan ukuran pori, interaksi membran dan spesi, viskositas larutan serta tekanan di luar sistem. Secara kuantitas, permeabilitas membran dinyatakan sebagai fluks atau koefisien permeabilitas adalah jumlah volume permeat yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Noble dan Stern (2006) menyatakan Fluks ( $J_v$ ) dalam bentuk persamaan berikut ini :

$$J_v = v / A \quad (1)$$

Keterangan :  $J_v$  = fluks (ml/cm<sup>2</sup> . kgf/ cm<sup>2</sup> . det),  $V$  = volume permeat (ml),  $A$  = luas permukaan membran (cm<sup>2</sup>),  $t$  = waktu (jam).

Sedangkan selektivitas suatu membran merupakan ukuran kemampuan suatu membran untuk menahan suatu spesi tertentu. Faktor yang harus diperhatikan adalah ukuran partikel, interaksi membran dan spesi, ukuran pori membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien rejeksi ( $R$ ). Noble dan Stern (2006) menyatakan bahwa koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran dan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$R = (1 - C_p/C_f) \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :  $R$  = koefisien rejeksi,  $C_p$  = konsentrasi permeat dan  $C_f$  = konsentrasi umpan.

## HYBRID MEMBRANE PROCESS

Pada umumnya proses *hybrid membran*

merupakan gabungan antara dua atau lebih proses filtrasi membran dalam mereduksi air limbah. (Stoquart et al. 2012). Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mencapai kinerja membran proses yang lebih baik, kelemahan dari proses ini dapat dihindari dengan mengintegrasikan proses lain seperti koagulasi. *Fouling* merupakan masalah dalam proses filtrasi membran. *Fouling* dihasilkan dari distribusi ukuran dan komponen ukuran partikel inlet. Penyumbatan pada pori membran menghasilkan penyempitan pori dan *pore blocking* (Fane dan Chang, 2009).

Teknologi tingkat lanjut yang menggabungkan dua proses membran dilakukan oleh Zakrzewska-Trznadel (2013) menggunakan membran UF dan RO dalam penerapannya untuk mengolah air limbah radioaktif dari partisi aktinida. Plakas et al. (2012) mampu melakukan reduksi menggunakan NF dan RO terhadap air limbah pestisida. Abid et al. (2012) melakukan pengolahan air limbah industri tekstil di Irak dengan menggunakan NF dan RO menunjukkan hasil pada kondisi operasi konsentrasi zat warna = 65 mg / L, suhu umpan = 39 ° C dan tekanan = 8 bar menunjukkan reduksi kontaminan yang terjadi pada akhir proses dengan RO masing – masing sebesar 97,2%, 99,58% dan 99,9% untuk warna, hitam dan biru. Dengan NF membran, reduksi kontaminan yang terjadi pada akhir proses masing – masing sebesar 93,77%, 95,67%, dan 97% untuk merah, hitam dan biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode membran memiliki kemampuan mereduksi yang lebih tinggi dengan biaya yang efektif yang lebih rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan NF membran dalam pengurangan kualitas limbah warna dari limbah pabrik tekstil di Irak sangat baik. Kyrycuk et al. (2014) melakukan pengolahan limbah rumah tangga menggunakan NF dan RO yang bertekanan rendah mendapatkan kualitas

permeat yang lebih tinggi adalah diperoleh dengan membran RO.

Bodzek et al. (2015) mengembangkan teknologi pengolahan membran bertekanan tinggi (RO dan NF) untuk menghilangkan senyawa *Soluble organic compounds* (DOC), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH), *Trihalomethanes volatile* (THM), *Haloacetic Acid* (HAA), *Pharmaceutical Active Compounds* (PhACs) dan *Endocrine Disrupting Compounds* (EDCs). EDCs mencakup berbagai *micropollutants*, yaitu *xenoestrogens*, *phthalates*, *alkilfenol*, *polychlorinated biphenyls*, hormon, obat-obatan sintetis dan bahan kimia lainnya yang dihasilkan oleh manusia kemudian masuk ke dalam lingkungan. Wang et al. (2009) menghasilkan teknologi NF dan RO yang mampu mereduksi Cyclophosphamide > 90 %.

Perbandingan antara kombinasi proses *Hybrid membran* yang dapat digunakan dalam reduksi kontaminan air limbah terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hybrid Process

Proses	MF/UF	NF/RO
<b>Penggunaan</b>	Partikel, mikroorganisme	air laut, mikropolutan, Natural organic matter (NOM)
<b>Reduksi Modul</b>	Partikel Hollow fibre	Dissolved solutes Spiral wound
<b>Alliran Materi</b>	Dead end Polimer, Keramik	Cross-flow Polimer

## KESIMPULAN

Air limbah memiliki potensi pencemar yang sangat berbahaya bagi lingkungan, sehingga harus direduksi kontaminan tersebut oleh suatu teknologi terbaru yang efektif, efisien dan mampu mereduksi kontaminan tersebut secara maksimal. Perlu dikembangkan penggunaan teknologi terbaru instalasi pengolahan air limbah untuk mengganti teknologi yang ada saat

ini dikarenakan masih ditemukannya beberapa senyawa micropollutans setelah melewati proses pengolahan limbah. Sistem pengolahan air limbah dengan menggunakan teknologi *Hybrid membrane* sangat baik untuk dikembangkan dan dilakukan dalam mereduksi kadar pencemar yang persisten di lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aamand, J., Gavrilesco, M., Agathos, S., & Fava, F. 2014. *Emerging Pollutants in the Environment: Present and Future Challenges in Biomonitoring, Ecological Risks and Bioremediation*. New Biotechnology, 1–10. <http://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.01.001>.
- Abid, M. F., Zablouk, M. A., & Abid-Alameer, A. M. 2012. *Experimental study of dye removal from industrial wastewater by membrane technologies of reverse osmosis and nanofiltration*, Environmental Health 9(1), 1. <http://doi.org/10.1186/1735-2746-9-17>
- Bennedsen, L. R. 2014. *Chemistry of Advanced Environmental Purification Processes of Water*. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-53178-0.00002-X>.
- Bodzek, M., Konieczny, K., & Kwieci, A. 2012. *Application of membrane processes in drinking water treatment – state of art. Desalination and Water Treatment. Taylor and Francis*, (December), 37–41.
- Bodzek, M. 2015. 15 - *Membrane technologies for the removal of micropollutants in water treatment. Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier Ltd*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00015-0>.
- BPPT. 2012. *Pengelolaan Limbah Rumah Sakit Menuju Green Hospital* (diakses tanggal 20 Januari 2013).
- Charcosset, C. 2012. *Principles on membrane and membrane processes. Membrane Processes in Biotechnologies and Pharmaceutics*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-56334-7.00001-0>.
- Deblonde, T., Cossu-leguille, C., & Hartemann, P. 2015. *Hygiene and Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature*. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 214(6), 442–448. <http://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.08.002>.
- Fane, A.G., Chang, S., 2009. *Techniques to enhance performance of membrane process. In Handbook of Membrane Separations, Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp. 193–232.
- Fane, a G., Tang, C. Y., & Wang, R. 2011. *Membrane Technology for Water: Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, and Reverse Osmosis*. Treatise on Water Science, 301–335. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00091-9>.
- Frenkel, V. S. 2015. *Planning and design of membrane systems for water treatment. Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00010-1>.
- Gupta, P., Mathur, N., Bhatnagar, P., Nagar, P., & Srivastava, S. 2009. *Genotoxicity evaluation of hospital*

- wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(7), 1925–32.  
<http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.012>.
- Plakas, K. V., & Karabelas, A. J. 2012. *Removal of pesticides from water by NF and RO membranes — A review*. *Desalination*, 287, 255–265.  
<http://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.003>.
- Kyrychuk, I., Zmievskii, Y., & Myronchuk, V. 2014. *Treatment of dairy effluent model nanofiltration and reverse osmosis solutions by Processes and Equipment of Food Productions*, 3(2), 280–287.
- Madaeni, S. S., Ghaemi, N., & Rajabi, H. 2015. *Advances in polymeric membranes for water treatment*. *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*. Elsevier Ltd.  
<http://doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00001-0>
- Mulder, M., 1996, *Basic Principles of Membrane Technology*, Edisi 2, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nasir, S. Dahlan, H. Bahrin, D. 2010. *Perancangan Sistem Limbah dengan Metode Filtrasi menggunakan membrane keramik berbahan tanah liat dan abu terbang batu bara*. Penelitian Hibah Strategis Nasional Unsri Nomor ; 0460.a/H9/PL/2010.
- Noble, R., Stern, A. 2006. *Membrane Separations*. *Materials and Manufacturing Processes*, 4(4), 483–503.  
<http://doi.org/10.1080/10426918908956311>.
- Oller, I., Polo-I, I., & Miralles-cuevas, S. 2014. *Advanced Technologies for Emerging Contaminants Removal in Urban Wastewater*. Springer International Publishing Switzerland.  
<http://doi.org/10.1007/698>.
- Sui, Q., Cao, X., Lu, S., Zhao, W., Qiu, Z., & Yu, G. 2015. *Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the groundwater: A review*. *Emerging Contaminants*, 1(1), 14–24.  
<http://doi.org/10.1016/j.emcon.2015.07.001>.
- Shon, H. K., Phuntsho, S., Chaudhary, D. S., Vigneswaran, S., & Cho, J. 2013. *Nanofiltration for water and wastewater treatment – a mini review*. *Drinking Water Engineering and Science*, 6(1), 47–53.  
<http://doi.org/10.5194/dwes-6-47-2013>.
- Stoquart, C. P. Servais, P.R. Bérubé, B. Barbeau, *Hybrid membrane processes using activated carbon treatment for drinking water: a review*, *J. Membr. Sci.* 411–412 (2012) 1–12
- Wang, L., Albasi, C., Faucet-marquis, V., Pfohl-leszkowicz, A., Dorandeu, C., Marion, B., Sabatier, P. 2009. *Cyclophosphamide removal from water by nanofiltration and reverse osmosis membrane*. *Water Research*, 43(17), 4115–4122.  
<http://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.007>.
- World Health Organization. 2015. *Indonesia : WHO Statistical Profile*.
- WWF, 2013. *Toxic Chemical*.
- Zakrzewska-trznadel, G. 2013. *Advances in membrane technologies for the treatment of liquid radioactive waste*

*nuclear activities decommissioning of  
nuclear, Desalination, 321, 119–130.  
[http://doi.org/10.1016/j.desal.2013.02.  
022](http://doi.org/10.1016/j.desal.2013.02.022).*

