

DAUR ULANG AIR LIMBAH MENGGUNAKAN *REVERSE OSMOSIS* UNTUK *MAKE UP WATER COOLING TOWER* DI PT NUTRICIA INDONESIA SEJAHTERA

Taufik Hidayat Ramadhon¹, Zakijah Irfin¹, Agung Nugroho²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT Nutricia Indonesia Sejahtera Jl. Raya Jakarta-Bogor No.KM. 26.6, DKI Jakarta 13710, Indonesia
ttaufikramadhan@gmail.com ; [zakijah.irfin@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Penggunaan air bersih di PT Nutricia Indonesia Sejahtera berkisar antara 35-40 m³ sepanjang tahun 2022. Penggunaan air bersih yang berasal dari PDAM dan sumur harus ditekan penggunaannya untuk mengurangi biaya produksi di perusahaan tersebut. Unit cooling tower adalah unit yang paling besar menyerap penggunaan air bersih hingga mencapai 21 m³/hari. Salah satu inovasi yang memberikan dampak secara langsung terhadap upaya pengurangan penggunaan air bersih adalah mendaur ulang air limbah yang akan digunakan sebagai *make up water cooling tower* menggunakan *reverse osmosis*. Spesifikasi air sebelum masuk proses *reverse osmosis* memiliki parameter yang harus dipenuhi terutama kandungan TDS dari air limbah tersebut. Air limbah PT Nutricia Indonesia Sejahtera memiliki kandungan TDS sebesar 1225 mg/L. Jika spesifikasi air tersebut langsung diaplikasikan maka akan menyebabkan proses *reverse osmosis* mengalami permasalahan seperti *fouling* yang menyebabkan membran menjadi mampat, banyak aliran *reject*, periode proses *cleaning* yang cepat, sehingga proses menjadi tidak efisien dan air yang didaur ulang tidak maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mencegah *fouling* dengan *pretreatment* tambahan sebelum memasuki *reverse osmosis* dengan menggunakan membran *Ultra Filtration* (UF) jenis *hollow fiber*. Inovasi ini mampu menurunkan penggunaan air bersih di PT Nutricia Indonesia Sejahtera hingga 5.46 m³/hari.

Kata kunci: air limbah, cooling tower, reverse osmosis, ultra filtration

ABSTRACT

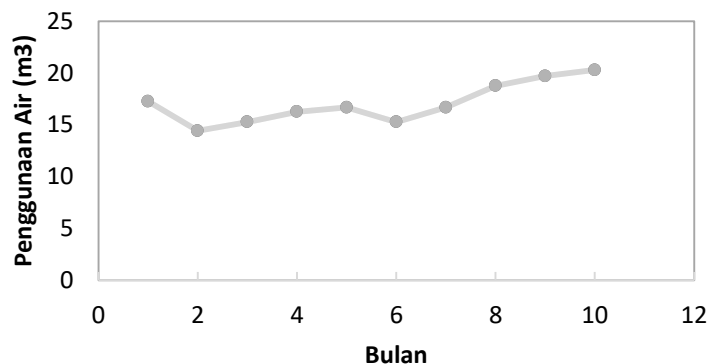
The usage of clean water in PT Nutricia Indonesia Sejahtera ranges from 35 to 40 m³ throughout a year in 2022. Clean water usage from PDAM and well must be pressed to reduce production costs for the companies. Cooling tower units are the largest of all units to absorb clean water use up to 21 m³ a day. Innovation that directly affect water-reduction is recycle wastewater that will be used as make up water cooling tower using reverse osmosis. Water specifications prior to entry to the reverse osmosis process have a parameters to be met especially the TDS content of the wastewater. Wastewater at PT Nutricia Indonesia Sejahtera has 1225 mg/L TDS content. If the water specifications are applied directly, it will cause a reverse osmosis problems such as fouling that causes the membrane to be clogged, many flows of cleaning, a rapid cleaning process period, leaving the process inefficient and the maximum recycling of water. The purpose of this research is to prevent fouling with extra pretreatment before entering reverse osmosis by using the ultra filtration membrane with a type of hollow fiber. This innovation is able to reduce the consumption of clean water in the Indonesian nutricia prospering to 5.46 m³/day.

Keywords: waste water effluent, cooling tower, reverse osmosis, ultra filtration

1. PENDAHULUAN

Reverse Osmosis merupakan salah satu teknologi membran yang banyak digunakan saat ini. Membran *reverse osmosis* didefinisikan sebagai membran semipermeabel yang dapat melakukan pemisahan air tawar dari larutan garam dengan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan osmosa larutan garam. Membran ini mampu memisahkan komponen terlarut berukuran 0,001 sampai 0,01 μm dan partikel yang berat molekulnya rendah [1]. Keunggulan dari teknologi *reverse osmosis* ini dibandingkan dengan teknologi yang lain antara lain adalah energi yang dibutuhkan relatif rendah, minimnya permasalahan korosi alat, kemudahan dalam penggantian, pemasangan dan pengintegrasian dengan sistem yang ada [2].

Membran *reverse osmosis* digunakan untuk meningkatkan kualitas air yang akan digunakan [3]. PT Nutricia Indonesia Sejahtera memiliki permasalahan tentang manajemen penggunaan air bersih yang merupakan salah satu tantangan yang harus diterapkan pada perusahaan. Untuk menekan penggunaan air bersih diperlukan sebuah inovasi yang memberikan dampak secara langsung terhadap upaya pengurangan penggunaan air bersih. Inovasi yang dilakukan oleh PT Nutricia Indonesia Sejahtera adalah melakukan daur ulang air limbah untuk digunakan sebagai *make up water cooling tower*. Penggunaan air bersih pada perusahaan meliputi *social building* yang mencakup kantin, toilet, laboratorium dan mushola dan unit *cooling tower*. Menurut data dari pihak perusahaan, unit *cooling tower* memberikan kontribusi terbesar dalam hal penggunaan air bersih. Gambar 1, menjelaskan penggunaan air bersih pada unit *cooling tower* selama kurun waktu bulan Januari-Oktober 2022.



Gambar 1. Penggunaan air pada *cooling tower* pada bulan Januari-oktober 2022

Gambar 1 menjelaskan pemakaian air bersih tertinggi bisa mencapai 21 m^3/hari . Pemakaian ini sudah mengambil sekitar 45% dari batas kebutuhan air bersih harian. Berdasarkan kondisi ini maka pihak perusahaan berupaya untuk mengurangi kebutuhan air bersih terutama di bagian *cooling tower* dengan mengolah kembali air limbah menggunakan *reverse osmosis*. Proses ini diterapkan sebagai upaya untuk memenuhi salah satu parameter yang wajib dipenuhi dari *standard water grading Danone* yaitu nilai kandungan *total hardness* maksimal 0,1 mg/L CaCO_3 .

Spesifikasi air sebelum masuk proses *reverse osmosis* memiliki parameter yang harus dipenuhi terutama kandungan TDS dari air limbah tersebut. Air limbah PT Nutricia Indonesia Sejahtera memiliki kandungan TDS sebesar 1225 mg/L . Jika spesifikasi air tersebut langsung diaplikasikan maka akan menyebabkan proses *reverse osmosis* mengalami permasalahan

seperti *fouling* yang menyebabkan membran menjadi mampat , banyak aliran *reject*, periode proses *cleaning* yang cepat, sehingga proses menjadi tidak efisien dan air yang didaur ulang tidak maksimal. Berdasarkan kondisi tersebut maka dilakukan *pretreatment* menggunakan ultra filtrasi sebelum aliran proses memasuki membran *reverse osmosis*.

Penggunaan membran *reverse osmosis* sudah banyak diterapkan pada beberapa industri. Salah satu penggunaannya adalah industri PLTU. Untuk mencegah *fouling* pada membran *reverse osmosis* perusahaan tersebut melakukan *cleaning* dengan menggunakan *chemical* sebelum memasuki *sea water reverse osmosis* (SWRO) dengan melakukan *inject biocide* sebagai pengendali mikroorganismenya yang ada di air laut [3]. Pada penelitian ini memiliki keterbaruan untuk mencegah *fouling* selain penggunaan *chemical cleaning* juga ditambahkan ultra filtrasi menggunakan membran jenis *hollow fiber*. Penggunaan membran ini karena memiliki keuntungan yaitu area membran yang lebih besar per volume modul, fleksibilitas tinggi serta kemudahan dalam perawatan [4].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian pada jurnal berjudul “Daur Ulang Air Limbah Menggunakan *Reverse Osmosis* Untuk Make Up Water Cooling Tower di PT Nutricia Indonesia Sejahtera” diawali dengan studi literatur sebagai tahap persiapan untuk menganalisis proses pada WWTP dengan *effluent* yang akan digunakan sebagai *input reverse osmosis* meliputi proses pengolahan limbah pada unit *waste water treatment plant*, proses pada sistem utilitas sebagai *inject make up water output* dari *reverse osmosis*, dan proses filtrasi pada *reverse osmosis*. Setelah melakukan studi literatur dilanjutkan dengan melakukan observasi data melalui supervisor unit utilitas untuk mengetahui kondisi operasi unit *cooling tower*, operator *waste water treatment plant* yang membantu sampling air limbah untuk dilakukan uji baku mutu di laboratorium, dan vendor *reverse osmosis* yang telah melakukan running aplikasi *Dupont : Wave Water Treatment Design Software*” menggunakan data parameter air umpan hasil uji laboratorium dan data debit air *effluent* WWTP untuk mengetahui %*Recovery* dengan perhitungan menggunakan rumus :

$$\% Recovery = \frac{\text{Permeate flow}}{\text{Feed flow rate}} \times 100\% \quad [5]$$

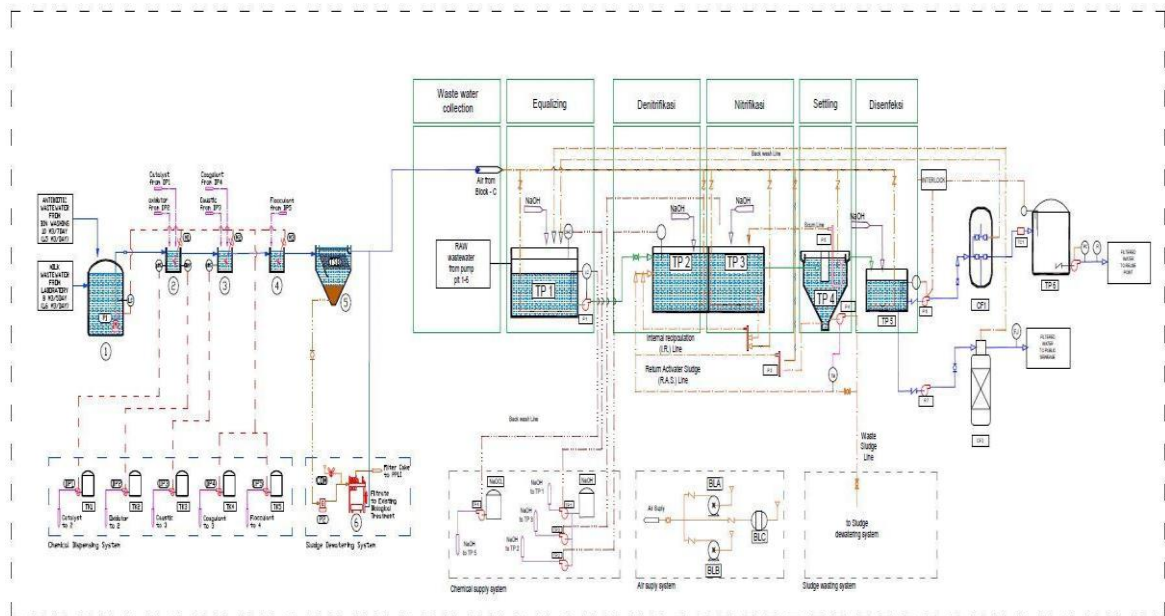
Data yang diperoleh dibandingkan dengan *Standard Water Grading Danone*. Jika belum memenuhi, maka akan dilakukan evaluasi dan tindakan agar standard tersebut terpenuhi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Awal Proses Pengolahan *Waste Water Treatment Plant* PT Nutricia Indonesia Sejahtera

Unit pengelolaan limbah pada PT Nutricia Indonesia Sejahtera mencakup *chemical treatment* untuk menetralkan bahan kimia yang dapat mematikan bakteri pada proses dekomposisi dalam *biological treatment* [6]. Air limbah yang telah diproses pada *chemical* dan *biological treatment* sebelum dibuang akan melalui *sand filter*, *carbon filter*, dan *softener* untuk menyaring partikel-partikel kotoran yang masih terdapat di dalam air. Sebelum adanya upaya pengurangan penggunaan air bersih, air limbah secara keseluruhan akan dialirkan menuju sungai cipinang. Setelah adanya inovasi perusahaan

untuk melakukan instalasi *reverse osmosis* membuat air limbah dimanfaatkan menjadi air umpan untuk *reverse osmosis*.



Gambar 2. Process flow diagram waste water treatment plant

3.2 Hasil Analisa Laboratorium Kandungan *Effluent Waste Water Treatment Plant* dan Upaya Untuk Menurunkan Parameter Terkait

Tabel 1. Hasil uji laboratorium *effluent waste water treatment plant*

No	Deskripsi Analisa	Unit	Batas Metode Pemeriksaan	Metode Tes	Hasil Tes
1	pH (25°C)		-	APHA 4500-H-B	8.11
2	Conductivity	Umhos	-	APHA 2510B	2450
3	*P-Alkalinity	mg/L CaCO ₃	2	AP-59	25
4	*Sulfate	mg/L CaCO ₃	2	AP-08	94
5	*Chloride HL	mg/L SO ₄	2	AP-59	434
6	*Ammonia	mg/L Cl ⁻	0.04	AP-73	0.67
7	*Turbidity	NTU	0.02	APHA 2130B	2.82
8	*Color	PtCo	15	APHA 2120C	<15
9	*TDS	mg/L Solid	5	APHA 2540C	1225
10	*TSS	mg/L Solid	5	8006	<5
11	*COD	mg/L O ₂	5	APHA 5220D	54
12	*BOD	mg/L O ₂	5	DIN 38409-HS2	<5
13	*TOC	mg/L O ₂	5	APHA 5220D	<5
14	Chlorine			APHA 3120B	
15	Fe			APHA 3120B	
16	Manganese	mg/L Mn	0.015	APHA 3120B	0.03
17	Total Hardness	mg/L CaCO ₃	0.05	APHA 3120B	86.48

Tabel 2. Spesifikasi parameter air umpan *reverse osmosis*

No	Parameter	Spesifikasi	Unit
1	Konduktivitas	< 40	uS/cm
2	<i>Total Hardness</i>	< 0.01	ppm
3	<i>Free Chlorine</i>	< 0.02	ppm
4	Fe	< 0.01	ppm
5	<i>Manganese</i>	< 0.01	ppm
6	TOC	< 0.5	ppm

Masalah terbesar dalam proses desalinasi RO adalah terjadinya *fouling*. *Fouling* adalah akumulasi endapan yang tidak diinginkan pada permukaan membran atau di dalam pori-pori membran, menyebabkan penurunan fluks permeasi [7]. Industri dengan proyek RO menggunakan daur ulang air limbah meningkatkan potensi air umpan dengan kandungan fosfat yang tinggi mengakibatkan operasi pabrik yang buruk dan tinggi biaya pembersihan dan pemeliharaan [8]. Pengotoran membran dapat secara signifikan mengurangi produktivitas dan menyerap kualitas sambil meningkatkan biaya operasi karena peningkatan permintaan energi, tambahan pretreatment, penghilangan *foulant* dan pembersihan membran, pemeliharaan, serta pengurangan masa pakai membran sehingga proses *pretreatment* sangat diperlukan sebelum melewati membran RO. *Pretreatment* menggunakan membran sebagai penyaringan awal lebih banyak digunakan dibanding konvensional yang menggunakan bahan *chemical* [9]. *Pretreatment* ini memiliki keuntungan untuk meningkatkan kualitas air umpan secara signifikan untuk memastikan operasi *reverse osmosis* yang handal serta untuk memperpanjang umur membran. Metode *pretreatment* dapat dipilih berdasarkan komposisi sumber air. Misalnya untuk *feed water* yang memiliki tingkat kesadahan tinggi, diperlukan *pretreatment* untuk menurunkan kesadahan sehingga dapat mengurangi resiko membran *scaling*. Ultra filtrasi (UF), koagulasi/flokulasi dan mikro filtrasi (MF) adalah tiga teknologi yang paling banyak dipelajari oleh para peneliti sebagai metode *pretreatment* RO [7].

Setelah dilakukan evaluasi, dapat dilihat bahwa beberapa parameter *effluent* WWTP tidak sesuai dengan parameter air umpan untuk *reverse osmosis* yang akan diinstalasikan pada PT Nutricia Indonesia Sejahtera. Untuk menurunkan frekuensi *cleaning* membran akibat *fouling* pada permukaan membran maka diperlukan tambahan Ultra Filtrasi (UF) sebelum memasuki membran *reverse osmosis* untuk meningkatkan kuantitas air *permeate* pada *reverse osmosis*.

3.3 Penggunaan Aplikasi Dupont: *Wave Water Treatment Design Software* Untuk Menentukan Modifikasi Proses yang Akan Dilakukan

Perhitungan %*Recovery* pada proses *reverse osmosis* memberikan informasi seberapa besar aliran yang mampu lolos dari unit filtrasi atau biasa disebut *permeate stream* dan aliran yang tertahan pada unit filtrasi atau *reject stream*. Perhitungan ini berdasarkan Kandungan padatan suatu umpan mempunyai *range* dari presentase kecil sampai persentase yang besar [10]. Perhitungan %*Recovery* RO yang dilakukan menggunakan Aplikasi "*Dupont : Wave Water Treatment Design Software*" menggunakan data parameter air umpan hasil uji lab dan data debit air *effluent* WWTP. Selain itu aplikasi ini

dapat memberikan saran instalasi tambahan yang diperlukan untuk memenuhi *standard water grading Danone*.

Berikut adalah data yang didapatkan dari *trial* aplikasi “*Dupont : Wave Water Treatment Design Software*” menggunakan data parameter air umpan hasil uji lab dan data debit air *effluent* WWTP pada tahun 2022 :

Tabel 3. Data Hasil Trial Aplikasi Dupont : *wave water treatment design software*

No	Description	Flow (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw feed to RO system	0.46	1.649	0.0
2	Net feed to pass 1	0.46	1.650	5.6
3	Total concentrate from pass 1	0.23	3.254	4.2
4	Net product from RO system	0.23	39.32	0.0
5	Output from UF	0.45	-	-
6	Permeate flow	0.21	-	-
7	Reject stream	0.23	-	-

Setelah mengetahui nilai *permeate flow* dan *feed flow* menggunakan aplikasi *Dupont : wave water treatment design software*, kemudian dilakukan perhitungan %*Recovery* dan diketahui nilainya sebesar 50.3% dengan air hasil *recycle effluent* WWTP yang dapat dimanfaatkan sebagai *make up water cooling tower* adalah 5.46 m³/hari.

3.4 Standard Water Grading Danone

Tabel 4 berikut menjelaskan spesifikasi *standard water grading Danone* yang akan digunakan sebagai acuan dalam mengolah air limbah menjadi air yang digunakan sebagai *make up water cooling tower*

Tabel 4. Spesifikasi masing-masing grade pada *standard water grading Danone*

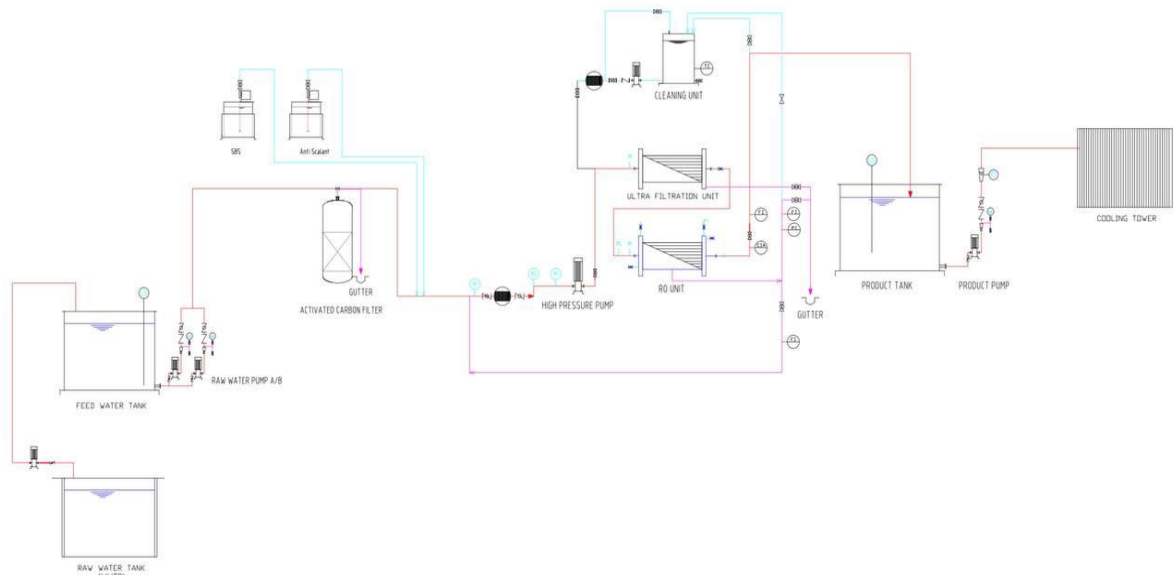
Parameter	Unit	Grade H	Grade C	Grade I	Grade O
Turbidity	NTU	1	1	0.1	-
Total TDS	Ppm	-	-	10	-
Conductivity	Us/c	1000	1000	15	-
	m				
	(20°C)				
Hardness	Mg/L	15	0.1	-	-
	CaCO ₃				
pH	-	6.5-8.5	8.0-10.0	5.5-8.5	-
Temperature	°C	Ambient	-	Ambient	-

Penguapan air pada *cooling tower* berkontribusi untuk pendinginan dengan jumlah yang sama dengan panas laten air penguapan. Penguapan air dapat mengandung konsentrat berupa padatan terlarut, yang dapat menyebabkan pembentukan *scaling* pada permukaan perpindahan panas [11]. Kesadahan ion, Ca²⁺ dan Mg²⁺, dan silika terlarut (misalnya, Si(OH)₄) adalah spesimen pembentuk kerak yang paling bermasalah pada *cooling tower* [12]. Untuk mencegah hilangnya efisiensi perpindahan panas,

konsentrasi Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan silika harus dijaga di bawah level yang dihasilkan pembentukan skala pada permukaan perpindahan panas dengan melakukan *blow down* terus menerus [13]. Penggunaan kembali air *cooling tower* yang dibuang pada proses *blow down* secara substansial dapat menurunkan penggunaan *fresh water* pada industri [14]. Air *blow down* cocok digunakan sebagai make up water apabila sudah melalui *treatment* yang tepat seperti nano filtrasi (NF) dan *reverse osmosis* untuk menghilangkan zat-zat organik dan anorganik yang berpotensi menyebabkan *scalling* pada *cooling tower* jika air *blow down* digunakan kembali sebagai make up water [15].

Untuk menghindari frekuensi *cleaning cooling tower* akibat *scalling*, maka diterapkanlah dasar penggunaan air dengan *grade C* pada *standard water grading danone* untuk unit *cooling tower* karena semakin kecil kandungan *hardness* pada *feed water*, maka akan mengurangi potensi pembentukan kerak pada *cooling tower*.

3.5 Kondisi Terbaru Proses Pengolahan Waste Water Treatment Plant PT Nutricia Indonesia Sejahtera



Gambar 3. Process flow diagram unit cooling tower terbaru

Skema proses diawali dari *treatment* pada unit pengolahan limbah / WWTP air yang sebelumnya langsung dialirkan menuju sungai cipinang akan langsung ditampung pada *storage tank* untuk sebagai air umpan *reverse osmosis*. Sistem yang akan dilakukan adalah *batch* karena debit *effluent* terlalu kecil sehingga tidak memenuhi standard untuk melakukan sistem kontinyu. Setelah *storage tank* terisi hingga ambang batas maka *effluent* akan mengalir menuju ultra filtrasi yang merupakan membran, dimana tekanan hidrostatik membuat cairan menembus lapisan semipermeabel dengan padatan serta air yang memiliki berat molekul lebih besar akan tertahan pada membran [16]. Ultra filtrasi adalah sistem filtrasi untuk menyaring zat padat atau partikel menggunakan membran jenis *hollow fiber*. Penggunaan membran jenis *hollow fiber* memiliki keuntungan karena membran jenis ini memiliki area membran yang lebih besar per volume modul, fleksibilitas tinggi serta kemudahan perawatan [4]. Skema proses dilanjutkan menuju *catridge filter* untuk menyaring air dari kandungan pasir, lumpur, tanah dan partikel

kotoran zat padat terlarut lainnya sehingga menghasilkan air bersih, jernih dan bebas dari pencemaran zat padat terlarut. Selanjutnya aliran proses akan melalui membran semipermeabel pada *reverse osmosis* dengan kekuatan seperti tekanan atau gradien konsentrasi untuk memisahkan mineral terlarut dari air. Padatan tersuspensi dan zat terlarut dengan berat molekul tinggi dipertahankan dalam bentuk *concentrate stream*, sedangkan air dan zat terlarut dengan berat molekul rendah melewati membran disebut *permeate* (filtrat). Penambahan *pH adjuster* dan *antiscallant* sebelum memasuki membran *reverse osmosis* bertujuan untuk mengatur tingkat pH karena semakin tinggi pH akan menghasilkan lebih banyak air *permeate* dari pada pH lebih rendah [17]. Penambahan *antiscallant* bertujuan untuk mencegah efek *biofouling* termasuk penurunan fluks air membran dan peningkatan tekanan transmembran serta tekanan saluran umpan. Setelah melalui membran, air *permeate* akan ditampung dalam tangki sebelum digunakan sebagai *make up water cooling tower* dengan *reject stream* akan langsung dibuang menuju saluran pembuangan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Solusi untuk menekan penggunaan air bersih pada PT Nutricia Indonesia Sejahtera adalah dengan melakukan *recycle effluent waste water treatment plant* (WWTP) menggunakan *reverse osmosis* yang digunakan sebagai *make up water cooling tower*. Upaya untuk meningkatkan kualitas *effluent* WWTP agar sesuai dengan *standard Water Grading Danone* untuk unit *cooling tower* yaitu dengan menambahkan tahap *pretreatment* sebelum proses melewati membran *reverse osmosis* menggunakan ultra filtrasi dengan membran berjenis hollow fiber sebagai penyaringan awal untuk memisahkan kandungan organik yang berpotensi menyebabkan *fouling* pada membran *reverse osmosis* dengan debit air yang dapat digunakan sebagai *make up water cooling water* sebesar 5.46 m³/hari.

REFERENSI

- [1] V. R. Maulida, W. Zamrud, dan A. Mustofa, "Pengaruh Dosis Anti Reduktan Sodium Bisulfit Terhadap Umur Catridge Filter Pada Sea Water Reverse Osmosis (Swro) I Di Pt Pjb Ubj O&M Paiton," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 36–40, 2020, doi: 10.33795/distilat.v6i2.78.
- [2] A. Sefentry dan R. Masriatini, "Pemanfaatan Teknologi Membran Reverse Osmosis (RO) Pada Proses Pengolahan Air Laut menjadi Air Bersih," *J. Redoks*, vol. 5, no. 1, hal. 58, 2020, doi: 10.31851/redoks.v5i1.4128.
- [3] I. Sukmawati dan F. Afidati, "Pada Pengendalian Biofouling Di Feed Water SWRO," vol. 7, no. 9, hal. 190–195, 2021.
- [4] A. Razmjou, A. Resosudarmo, R. L. Holmes, H. Li, J. Mansouri, dan V. Chen, "The Effect of Modified TiO₂ Nanoparticles on the Polyethersulfone Ultrafiltration Hollow Fiber Membranes," *Desalination*, vol. 287, hal. 271–280, 2012, doi: 10.1016/j.desal.2011.11.025.
- [5] J. Kucera, *Reverse Osmosis Industrial Processes and Applications*, 2 ed., vol. 4, no. 1. Beverly, MA: www.scrivenerpublishing.com., 2015.
- [6] M. B. Ahmed, J. L. Zhou, H. H. Ngo, W. Guo, N. S. Thomaidis, dan J. Xu, "Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal

- from wastewater: A critical review," *J. Hazard. Mater.*, vol. 323, hal. 274–298, 2017, doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.04.045.
- [7] S. Jiang, Y. Li, dan B. P. Ladewig, "A Review of Reverse Osmosis Membrane Fouling and Control Strategies," *Sci. Total Environ.*, vol. 595, hal. 567–583, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.235.
- [8] S. P. Chesters, "Innovations in the Inhibition and Cleaning of Reverse Osmosis Membrane Scaling and Fouling," hal. 238:22–29, 2009, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.01.031>.
- [9] V. Kochkodan, D. J. Johnson, dan N. Hilal, "Polymeric Membranes: Surface Modification for Minimizing (Bio)colloidal Fouling," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 206, hal. 116–140, 2014, doi: 10.1016/j.cis.2013.05.005.
- [10] M. Sahruromdon dan S. Irene, "Filtrasi CaCO₃ Menggunakan Filter Plate & Frame Dengan Variasi Konsentrasi Dan Variasi Jumlah Plate & Frame," *Jur. Tek. Kim. Univ. Sultan Ageng Tirtayasa*, 2015.
- [11] S. F. E. Boerlage, *Scaling and Particulate Fouling in Membrane Filtration Systems*. Delft, Netherlands, 2001.
- [12] A. J. Mathie, *Chemical Treatment for Cooling Water*. Georgia, USA: Fairmont Press, Lilburn, 1998.
- [13] Z. Liao, Z. Gu, M. C. Schulz, J. R. Davis, J. C. Baygents, dan J. Farrell, "Treatment of cooling tower blowdown water containing silica, calcium and magnesium by electrocoagulation," *Water Sci. Technol.*, vol. 60, no. 9, hal. 2345–2352, 2009, doi: 10.2166/wst.2009.675.
- [14] P. Saha, H. Bruning, T. V. Wagner, dan H. H. M. Rijnaarts, "Removal of Organic Compounds from Cooling Tower Blowdown by Electrochemical Oxidation: Role of Electrodes and Operational Parameters," *Chemosphere*, vol. 259, hal. 127491, 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127491.
- [15] M. H. D. A. Farahani, S. M. Borghei, dan V. Vatanpour, "Recovery of cooling tower blowdown water for reuse: The investigation of different types of pretreatment prior nanofiltration and reverse osmosis," *J. Water Process Eng.*, vol. 10, hal. 188–199, 2016, doi: 10.1016/j.jwpe.2016.01.011.
- [16] N. A. Winata, "Teknologi Membran untuk Purifikasi Air," hal. 1–10, 2016, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/301694675>
- [17] A. Sweity, T. Zere, I. David, S. Bason, Y. Oren, Z. Ronen, dan M. Herzberg, "Side Effects of Antiscalants on Biofouling of Reverse Osmosis Membranes in Brackish Water Desalination," *J. Memb. Sci.*, vol. 481, hal. 172–187, 2015, doi: 10.1016/j.memsci.2015.02.003.