

Kajian Instalasi Pengolahan Air Demineralisasi dari Nalco Water an Ecolab Company

Dita Dwi Setya Putri dan Alfian Purnomo

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: alfianpurnomo@gmail.com

Abstrak—Air merupakan hal utama untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, baik domestik maupun industri. Industri akan selalu membutuhkan kualitas air dengan standar yang tinggi untuk kebutuhan prosesnya, biasanya air digunakan adalah air demineralisasi. Air demineralisasi atau bisa disebut sebagai air murni merupakan air tanpa mineral yang diproses dengan cara mengurangi atau menghilangkan ion-ion mineral yang terkandung dalam air. Demineralisasi air dapat dilakukan dengan beberapa teknologi, antara lain pertukaran ion (*ion exchange*) dan membran *reverse osmosis* (RO). Teknologi *ion exchange* maupun RO memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk menghilangkan kontaminan berupa partikel ion yang ada dalam air, namun kedua teknologi tersebut tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kajian dilakukan dengan mengetahui efisiensi *removal* kualitas air dengan parameter pH, kesadahan, alkalinitas, silika (SiO_2), Fe (besi) dan konduktivitas pada setiap unit instalasi. Selain itu, akan dilakukan analisis operasional dan *maintenance*, biaya penggunaan bahan kimia, serta beban pencemar lingkungan yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air dengan teknologi *ion exchange* dan teknologi membran. Hasil yang didapatkan berdasarkan efisiensi *removal* dari kedua instalasi adalah nilai konduktivitas masih di atas $10 \mu\text{s}/\text{cm}$, namun instalasi dengan teknologi membran lebih baik dalam *removal* parameter. Instalasi dengan teknologi membran membutuhkan waktu lebih lama untuk satu kali *cleaning in place* (CIP) dibandingkan teknologi *ion exchange* yang membutuhkan waktu lebih singkat untuk satu kali regenerasi resin. Sedangkan, instalasi dengan teknologi *ion exchange* membutuhkan lebih banyak bahan kimia dan air untuk *maintenance*, sehingga biaya yang dikeluarkan akan lebih mahal. Berdasarkan dari beban pencemar yang dihasilkan, teknologi dengan *ion exchange* menghasilkan lebih banyak beban pencemar dibandingkan dengan teknologi membran.

Kata Kunci—Demineralisasi, *Ion Exchange*, Membran, Pengolahan Air, *Reverse Osmosis*.

I. PENDAHULUAN

AIR merupakan hal utama untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Tidak hanya untuk kebutuhan pokok, air juga diperlukan bagi suatu industri. Umumnya, air yang digunakan untuk proses industri tersebut merupakan air demineralisasi.

Air demineralisasi atau bisa disebut sebagai air murni adalah air tanpa mineral yang diproses dengan cara mengurangi atau menghilangkan ion-ion mineral yang terkandung dalam air. Kontaminan atau ion yang terkandung pada air tersebut, jika digunakan untuk industri dan tidak dihilangkan, maka akan menyebabkan terjadinya korosi dan pembentukan kerak (*fouling*), sehingga akan mengganggu proses yang akan terjadi selanjutnya [1].

Industri akan selalu membutuhkan kualitas air dengan standar yang tinggi untuk kebutuhan prosesnya. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi yang dapat mendukung pengolahan air agar dihasilkan air dengan kualitas yang diinginkan.

Sudah banyak perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan air, nasional maupun internasional, salah satunya adalah Nalco Water an Ecolab Company yang sudah menjadi anak perusahaan dari Ecolab Inc. sejak tahun 2011. Nalco Water sudah menjadi perusahaan global yang terpercaya dalam menyediakan sistem pengolahan air bersih dan limbah, bahan kimia, maupun servis untuk pemeliharaan sistem pengolahannya.

Nalco Water selalu ingin menjaga kepercayaan *customer* dengan menerapkan prinsip minimisasi penggunaan air, hasil yang maksimal, dan biaya yang optimal. Salah satu dari banyaknya *customer* Nalco Water membutuhkan air demineralisasi untuk umpan *boiler*, proses produksi, dan *cooling tower* di industri. Air baku yang akan diolah menjadi air demineralisasi bersumber dari Sungai Bengawan Solo (Babat-Lamongan) dan Sungai Gununganyar (Surabaya) yang telah melewati *pre-treatment* dari Instalasi Pengolahan Air (IPA) sebelumnya. Terdapat dua instalasi pengolahan air demineralisasi dari Nalco Water, yaitu instalasi dengan teknologi *ion exchange* (pertukaran ion) yang berkapasitas $\pm 1.450 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan instalasi dengan teknologi membran yang berkapasitas $\pm 2.000 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Ion exchange merupakan teknologi yang digunakan dalam demineralisasi air untuk menghilangkan kontaminan positif maupun negatif dengan menggunakan zat yang dapat menukar ion-ion dalam air tersebut, biasanya digunakan resin sebagai penukar ion [2]. Resin penukar ion suatu saat akan mengalami kejenuhan, sehingga perlu dilakukan regenerasi resin dengan bantuan bahan kimia untuk mengembalikan performa resin. Sedangkan, *reverse osmosis* (RO) adalah teknologi untuk memisahkan antara pelarut dan dari larutan garam melalui membran semi permeabel dan tekanan hidrostatis [3]. RO memerlukan lebih sedikit bahan kimia, namun membutuhkan energi yang lebih besar untuk menghasilkan tekanan tinggi agar dapat melewati pori membran yang berukuran kecil.

Secara umum, teknologi *ion exchange* maupun membran memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk menghilangkan kontaminan berupa partikel ion yang ada dalam air, namun kedua teknologi tersebut tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, baik dalam operasional maupun biaya. Oleh karena itu, kajian ini akan dibahas mengenai efisiensi *removal*, operasional dan *maintenance*, biaya penggunaan bahan kimia, dan beban pencemar yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air demineralisasi yang menggunakan teknologi pertukaran ion (*ion exchange*) dan membran RO dari Nalco Water an Ecolab Company.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pri-

mer dan sekunder. Data primer yang digunakan adalah parameter kualitas air demineralisasi untuk mengetahui efisiensi *removal* dari setiap unit. Parameter yang diukur adalah pH, kesadahan, alkalinitas, silika (SiO_2), besi (Fe), dan konduktivitas yang didapatkan dari pengambilan sampel di 6 titik sampel untuk instalasi dengan *ion exchange* dan 8 titik sampel untuk instalasi dengan membran pada lokasi penelitian. Kemudian akan dilakukan uji laboratorium untuk mendapatkan kualitas air demineralisasi. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data prosedur *maintenance* instalasi pengolahan air demineralisasi. Data ini terdiri dari operasional sehari-hari yang dilakukan untuk pemeliharaan (*maintenance*) instalasi pengolahan air demineralisasi.

B. Analisis Data dan Pembahasan

Data yang telah terkumpul akan dianalisis dan dibahas secara keseluruhan. Analisis dan pembahasan dilakukan agar hasil dari proses pengolahan data tersebut dapat dibandingkan dengan konsep teori yang mendasari ruang lingkup kajian yang diperoleh dari studi literatur. Langkah pertama adalah menganalisis perbedaan unit-unit instalasi pengolahan air demineralisasi yang menggunakan teknologi *ion exchange* dan membran. Selanjutnya, menganalisis kualitas air baku dan kualitas air produksi dengan membandingkan target pengolahan dari Nalco Water dan standar baku mutu air boiler berdasarkan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Parameter yang diukur untuk menentukan kualitas air baku, antara lain pH, kesadahan, alkalinitas, silika (SiO_2), besi (Fe), dan konduktivitas pada inlet dan outlet setiap unit. Kemudian, menganalisis operasional dan *maintenance*, serta pengelolaan produk samping (*by product*) pada kedua instalasi pengolahan air demineralisasi yang nantinya akan ditemukan kendala pada saat operasional. Selanjutnya, dilakukan analisis biaya berdasarkan penggunaan bahan kimia, serta beban pencemar lingkungan yang dihasilkan dari kedua instalasi.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

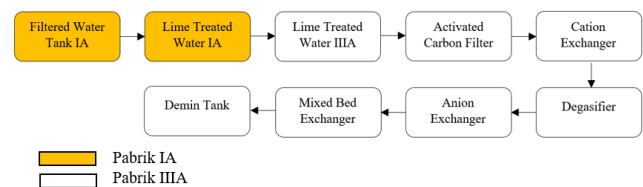
A. Unit Pengolahan

Nalco Water melakukan pengolahan air demineralisasi yang akan menghasilkan air demineralisasi di *customer*-nya untuk umpan boiler, proses produksi, dan *cooling tower*. Air baku yang akan diolah bersumber dari air sungai yang sebelumnya sudah melewati *pre-treatment* dari IPA (Instalasi Pengolahan Air) Gunungsari Surabaya dan Babat Lamongan.

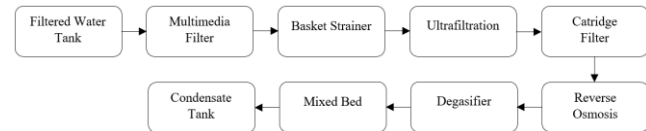
Terdapat perbedaan dua teknologi yang digunakan oleh Nalco Water pada instalasi pengolahan air demineralisasi, yaitu teknologi pertukaran ion (*ion exchange*) dengan tipe *single bed* dan teknologi membran dengan ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* (RO), namun pada kedua instalasi pengolahan dilengkapi dengan unit *mixed bed exchanger* di akhir pengolahan sebagai unit terakhir agar menghasilkan air dengan kualitas yang diinginkan. Alir proses pengolahan air dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

1) Filtered Water Tank

Pada *filtered water tank* tidak terdapat media ataupun proses yang terjadi. Unit ini hanya berfungsi sebagai tempat untuk menampung air baku yang sudah melewati *pre-treatment* dari IPA (Instalasi Pengolahan Air) Gunungsari



Gambar 1. Diagram alir instalasi dengan teknologi *ion exchange*.



Gambar 2. Diagram alir instalasi dengan teknologi membran.

Surabaya dan Babat Lamongan.

2) Lime Treated Water

Pada unit *lime treated water* IA terdapat proses penambahan *lime* (kapur) yang digunakan untuk mengurangi ion yang menyebabkan kesadahan pada air, seperti ion Ca^+ dan Mg^+ . Sedangkan, *lime treated water* IIIA hanya menampung air dari *lime treated water* IA dan tidak terjadi penambahan bahan kimia ataupun proses tertentu.

3) Activated Carbon Filter (ACF)

Media yang digunakan pada ACF adalah kerikil (*gravel*) dan karbon aktif yang dapat menyaring partikel berukuran 0,5 mikrometer. Karbon aktif merupakan adsorben yang dapat menghilangkan rasa tidak enak dan bau. Selain itu, karbon aktif juga efektif untuk menghilangkan senyawa organik dan anorganik [4].

4) Multi-media Filter (MMF)

Multi-media filter ini berfungsi untuk mengurangi *total suspended solid* (TSS), seperti lumpur, tanah liat, pasir, bahan organik, alga, dan mikroorganisme lainnya. Unit ini juga dapat menghilangkan kandungan bakteri, warna, rasa, bau, besi, dan mangan [5]. Media yang digunakan adalah antrasit, pasir silika, dan kerikil (*gravel*).

5) Basket Strainer

Basket strainer berfungsi sebagai penyaring benda asing sebelum masuk ke unit ultrafiltrasi (UF). Untuk keperluan industri, *strainer* digunakan untuk menyaring partikel yang lebih besar yang tidak diinginkan, seperti pasir, bahan organik, dan kotoran bahan kimia dari aliran pipa distribusi.

6) Ultrafiltrasi (UF)

Ultrafiltrasi (UF) merupakan proses pemurnian air di mana air dipaksa mengalir melalui membran semipermeabel yang berfungsi untuk menyaring *suspended solid* dan koloid. Padatan tersuspensi dan zat terlarut dengan berat molekul tinggi akan tetap berada di satu sisi membran, sedangkan air dan zat terlarut dengan berat molekul rendah akan menembus ke sisi permeat. Ultrafiltrasi berfungsi untuk menyisahkan senyawa berukuran molekuler, termasuk mikroba, dengan menggunakan membran yang mempunyai ukuran pori 0,002 – 0,1 mikron dan dioperasikan dengan tekanan > 20 psi [3].

7) Cartridge Filter

Di dalam *cartridge filter* terdapat filter yang berfungsi sebagai *barrier* sebelum masuk ke unit RO. Dari *cartridge filter* air di pompa dengan *high pressure pump* (HPP) agar sampai ke unit RO.

Tabel 1.
Kualitas Efluen Instalasi Teknologi *Ion Exchange* dan Membran

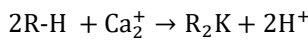
No.	Parameter	Konsentrasi Efluen Teknologi <i>Ion Exchange</i>	Konsentrasi Efluen Teknologi Membran	Target Pengolahan Nalco Water	Baku Mutu Umpan Boiler
1	pH	8,5	8,6	8,5–9,5	10,5–11,5
2	Kesadahan (mg/L CaCO ₃)	0	0	-	0
3	Alkalinitas (mg/L CaCO ₃)	12,2	18,3	-	200–400
4	Fe (mg/L)	0,06	0,05	-	1
5	Silika (mg/L)	0,19	0,15	≤ 0,2	150
6	Konduktivitas (µs/cm)	32,9	30,9	≤ 10	3000

8) *Reverse Osmosis (RO)*

RO digunakan untuk menghilangkan kontaminan yang belum tersaring dari unit sebelumnya dengan menggunakan tekanan untuk memaksa air melalui membran semi permeabel. Fungsi dari RO adalah untuk memisahkan ion garam dan bahan koloid melalui membran semi permeabel yang mempunyai ukuran pori < 1 nm [3]. Air akan mengalir dari yang lebih pekat (mengandung banyak kontaminan) ke konsentrasi yang lebih kecil (lebih sedikit kontaminan) untuk menghasilkan air produk yang bersih. Air produk hasil RO disebut dengan permeat.

9) *Cation Exchanger*

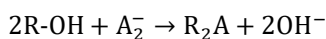
Pada kolom *cation exchanger* terdapat resin kation yang berfungsi untuk mengikat ion-ion mineral positif. Ion H⁺ dari resin akan lepas dan larut ke dalam air. Berikut merupakan contoh reaksi *ion exchange* antara ion kalsium (Ca²⁺) dan resin kation (R-H):



Ion kalsium yang larut dalam air akan berbentuk kalsium karbonat. Ion kalsium akan terpecah menjadi molekul air dan karbon dioksida saat diikat oleh resin [6]. Jika resin sudah jenuh, maka resin harus diregenerasi untuk meningkatkan performa resin agar dapat menangkap kontaminan dengan optimal.

10) *Anion Exchanger*

Ion H⁺ yang terbentuk dari *cation exchanger* akan berikatan dengan anion dalam air, sehingga ion hidrogen akan menghasilkan asam kuat. Sifat asam ini dapat dihilangkan di dalam *anion exchanger* yang berisi resin anion untuk menghilangkan ion-ion mineral negatif. Ion negatif yang larut dalam air akan terikat oleh resin, sehingga ion OH⁻ akan terlepas. Berikut merupakan contoh reaksi *ion exchange* antara ion negatif (A⁻) dan resin anion (R-OH):



Pada akhirnya ion H⁺ dan OH⁻ akan bereaksi membentuk molekul air baru:



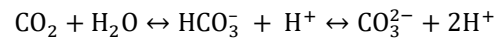
11) *Mixed Bed Exchanger*

Mixed bed exchanger merupakan salah satu tipe dari demineralisasi dimana terdapat resin kation untuk mengikat kontaminan positif dan resin anion yang berfungsi untuk mengikat kontaminan negatif. Proses yang terjadi pada *mixed bed exchanger* sama dengan *cation exchanger* dan *anion exchanger*, namun resin kation dan anion dalam pada *mixed bed exchanger* berada di tangki yang sama. Resin kation diletakkan di bagian bawah dan resin anion di bagian atas, peletakan ini karena massa jenis resin kation lebih besar daripada resin kation.

12) *Degasifier*

Degasifier berfungsi untuk menghilangkan gas-gas karbondioksida (CO₂) pada air yang dapat mempercepat laju korosi pada boiler dan perpipaan. Pada unit ini dilengkapi dengan *transfer pump* untuk memompa air menuju unit selanjutnya dan *degassing fan* yang berfungsi untuk aerasi.

Degasifier pada instalasi dengan teknologi *ion exchange* diletakkan di antara *cation exchanger* dan *anion exchanger*. Setelah melewati *cation exchanger*, air akan bersifat asam karena ion-ion positif air sudah teradsorpsi. Terdapat reaksi kesetimbangan antara CO₂ dan ion-ion karbonatnya, seperti berikut:



Jika pH rendah, maka reaksi akan cenderung ke kiri dan menghasilkan CO₂. Jika ke kanan, maka air akan semakin asam dan terbentuk ion karbonat. Maka, setelah dari *cation exchanger* akan menghasilkan CO₂. Jika *degasifier* diletakkan setelah *cation exchanger*, CO₂ akan terbuang dan ion-ion karbonat (CO₃²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) akan berubah menjadi CO₂ agar setimbang lagi. Sehingga, konsentrasi ion-ion negatif akan berkurang secara drastis. Berkurangnya ion-ion negatif akan meringankan beban *anion exchanger*, sehingga *anion exchanger* tidak mudah jenuh, frekuensi pembersihan akan lebih rendah, dan berkurangnya penggunaan bahan kimia untuk pembersihan. Hal tersebut menjadi alasan *degasifier* diletakkan di antara *cation exchanger* dan *anion exchanger*.

13) *Condensate Tank dan Demin Water Tank*

Condensate tank dan *demin water tank* berfungsi sebagai tangki penampung air terakhir air hasil demineralisasi (*demin water*). *Demin water* tersebut akan didistribusikan sesuai dengan kebutuhan masing-masing *user/customer*, seperti untuk umpan boiler, proses produksi, atau *cooling tower*.

B. Analisis Kualitas Air Demineralisasi

Analisis kualitas air dilakukan dengan pengujian laboratorium terhadap sampel yang telah diambil pada setiap outlet unit pengolahan. Berdasarkan hasil analisis parameter tersebut, konsentrasi efluen dari setiap instalasi dapat dibandingkan dengan baku mutu yang ada dan target pengolahan dari Nalco Water seperti Tabel 1.

Berdasarkan target pengolahan dari Nalco Water, nilai pH dan kandungan silika pada efluen kedua instalasi sudah memenuhi target pengolahan, namun parameter konduktivitas masih belum memenuhi target pengolahan karena nilainya masih >10 µs/cm. Tingginya nilai konduktivitas dapat disebabkan karena nilai *salt rejection* yang menurun sehingga perlu dilakukan *cleaning in place* (CIP). Selain itu, juga dapat disebabkan karena patah atau rusaknya interkoneksi antar membran di dalam vessel [8].

Tabel 2.
Perbandingan Efisiensi *Removal* Instalasi dengan Teknologi Ion *Exchange* dan Membran

No.	Parameter	Teknologi Ion <i>Exchange</i>			Teknologi Membran		
		Inlet	Outlet	Removal (%)	Inlet	Outlet	Removal (%)
1	Kesadahan (mg/L CaCO ₃)	92,85	0	100	178,55	0	100
2	Alkalinitas (mg/L CaCO ₃)	85,40	12,20	86	164,70	18,30	89
3	Fe (mg/L)	0,09	0,06	33	0,16	0,05	69
4	Silika (mg/L)	1,29	0,19	85	6,55	0,15	97
5	Konduktivitas (µs/cm)	2.070	32,9	98	2.080	30,9	99

Tabel 3.
Maintenance Instalasi Teknologi Ion *Exchange*

No.	Unit	Cara	Total Waktu (menit)	Bahan Kimia		Kebutuhan Air (m ³)
				Jenis	Jumlah (kg)	
1	<i>Lime Treated Water</i> (LTW)	-	-	-	-	-
2	<i>Activated Carbon Filter</i> (ACF)	<i>Backwash</i>	35	-	-	21,91
3	<i>Cation Exchanger</i>	Regenerasi	83	H ₂ SO ₄	400	39,97
4	<i>Degasifier</i>	-	-	-	-	-
5	<i>Anion Exchanger</i>	Regenerasi	83	NaOH	166,35	31,95
6	<i>Mixed bed Exchanger</i>	Regenerasi	83	H ₂ SO ₄	200	19,99
				NaOH	83,18	15,98
7	<i>Demin Tank</i>	-	-	-	-	-
	Total	-	284	-	849,53	129,79

Tabel 4.
Maintenance Instalasi Teknologi Membran

No.	Unit	Cara	Total Waktu (menit)	Bahan Kimia		Kebutuhan Air (m ³)
				Jenis	Jumlah (kg)	
1	<i>Filtered water tank</i>	-	-	-	-	-
2	<i>Multi-media filter</i> (MMF)	<i>Backwash</i>	35	-	-	54,8
3	<i>Basket strainer</i>	<i>Flushing</i>	-	-	-	-
4	<i>Ultrafiltration</i> (UF)	<i>Cleaning in place</i> (CIP)	845	PC-98	125	5
				PC-77	50	
				NaOH	1	
				HCl	2	
				NaOCl	25	
5	<i>Cartridge filter</i>	Penggantian Filter	-	-	-	-
6	<i>Reverse osmosis</i> (RO)	<i>Cleaning in place</i> (CIP)	765	PC-98	100	16,5
				PC-77	100	
				NaOH	1	
				HCl	2	
7	<i>Degasifier</i>	-	-	-	-	-
8	<i>Mixed bed Exchanger</i>	Regenerasi	83	H ₂ SO ₄	200	19,99
				NaOH	83,18	15,98
9	<i>Condensate Tank</i>	-	-	-	-	-
	Total	-	1693	-	689,18	112,26

Nilai konduktivitas tinggi juga disebabkan oleh lamanya waktu untuk pertukaran ion. Jika konduktivitas tidak mengalami penurunan, maka perlu dilakukan regenerasi ulang pada resin yang digunakan [6].

Parameter yang belum memenuhi baku umpan boiler akan dilakukan pengolahan (*treatment*) lanjutan agar dapat memenuhi kualitas air sebagai umpan boiler. Kualitas air yang belum memenuhi baku mutu akan menimbulkan permasalahan pada sistem. Tingginya alkalinitas pada air umpan boiler dapat menyebabkan terbentuknya kerak [7]. Sedangkan, jika alkalinitas pada air umpan boiler terlalu rendah, maka akan memicu terjadinya korosi pada air. Selain itu, adanya ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ pada air dapat menyebabkan timbulnya kerak [8]. Kandungan konduktivitas yang tinggi pada air akan menyebabkan terjadinya korosi [9].

Hasil uji parameter juga dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi *removal* dari setiap instalasi. Perbandingan efisiensi *removal* dari instalasi dengan teknologi ion *exchange* dan teknologi membran dapat dilihat pada Tabel 2.

C. Operasional dan Pemeliharaan (*Maintenance*)

Unit instalasi harus dilakukan *maintenance* apabila kualitas air sudah melebihi target pengolahan atau standar baku mutu yang digunakan. Untuk keperluan *maintenance*, setiap

instalasi pengolahan air terdapat lebih dari satu unit. Instalasi pengolahan air dengan teknologi *ion exchange* setiap unitnya berjumlah 3 unit, namun unit yang dijalankan hanya 1 unit saja, 2 unit lainnya harus dalam keadaan siap untuk dijalankan (*stand by*). Sedangkan, instalasi pengolahan air dengan teknologi membran setiap unitnya berjumlah 2 unit (1 unit dijalankan dan 1 unit untuk cadangan). *Maintenance* pada masing-masing unit instalasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Air yang digunakan untuk *backwash* ACF dan MMF adalah air dari *outlet* masing-masing unit. Regenerasi resin dilakukan dengan air lunak (*lime soft water*) untuk mencegah terjadinya pengendapan kontaminan di permukaan resin. Sedangkan, CIP unit UF dan RO dilakukan menggunakan air produk masing-masing.

D. Biaya Penggunaan Bahan Kimia

Regenerasi resin pada teknologi ion *exchange* dilakukan setiap 12 jam sekali setelah memproduksi air sebanyak 725 m³, sehingga dalam sehari dapat dilakukan regenerasi resin sebanyak dua kali. Sedangkan, pada teknologi membran, CIP unit UF dilakukan sekali dalam rentang waktu 2–3 bulan, dan CIP unit RO dilakukan sekali dalam rentang waktu 2–4 minggu.

Tabel 5.
Biaya Bahan Kimia Instalasi Teknologi Ion Exchange

Unit	Bahan Kimia	Jumlah (kg)	Harga Satuan	Total Harga	Jumlah
Cation Exchanger	NaOH	400	Rp15.000,00	Rp6.000.000,00	Rp6.000.000,00
Anion Exchanger	H ₂ SO ₄	166,35	Rp13.000,00	Rp2.162.550,00	Rp2.162.550,00
Mixed bed Exchanger	NaOH	200	Rp15.000,00	Rp3.000.000,00	Rp4.081.275,00
	H ₂ SO ₄	83,175	Rp13.000,00	Rp1.081.275,00	

Tabel 6.
Biaya Bahan Kimia Instalasi Teknologi Membran

Unit	Bahan Kimia	Jumlah (kg)	Harga Satuan	Total Harga	Jumlah
Ultrafiltrasi (UF)	NaOH	1	Rp15.000,00	Rp15.000,00	Rp10.797.000,00
	HCl	2	Rp8.500,00	Rp17.000,00	
	PC 98	125	Rp62.400,00	Rp7.800.000,00	
	PC 77	50	Rp52.800,00	Rp2.640.000,00	
	NaOCl	25	Rp13.000,00	Rp325.000,00	
Reverse osmosis (RO)	NaOH	1	Rp15.000,00	Rp15.000,00	Rp11.552.000,00
	HCl	2	Rp8.500,00	Rp17.000,00	
	PC 98	100	Rp62.400,00	Rp6.240.000,00	
	PC 77	100	Rp52.800,00	Rp5.280.000,00	
Mixed bed exchanger	NaOH	200	Rp15.000,00	Rp3.000.000,00	Rp4.081.275,00
	H ₂ SO ₄	83,175	Rp13.000,00	Rp1.081.275,00	

Tabel 7.
Beban Pencemar Lingkungan

Maintenance	Beban Pencemar				
	Pencemar	Debit (m ³ /hari)	Konsentrasi (mg/L)	Jumlah (kg/hari)	Toksistas
Regenerasi resin	Teknologi Ion Exchange				
	CaSO ₄	693,45	13890	9632,02	Non-toksik
	NaCl	554,31	7614	4220,52	Non-toksik
	Total			13852,54	-
CIP UF CIP RO	Teknologi Membran				
	PC 98	12,00	50000	600,00	Non-toksik
	PC 77	7,20	20000	144,00	Non-toksik
	PC 98	7,78	50000	389,19	Non-toksik
	PC 77	7,78	50000	389,19	Non-toksik
	Total			1522,38	-

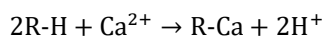
Jumlah biaya penggunaan bahan kimia dari instalasi dengan teknologi ion exchange dan membran dihitung untuk satu kali regenerasi resin dan CIP, dapat dilihat secara berturut-turut pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Jika dihitung berdasarkan maintenance instalasi dalam satu bulan, biaya penggunaan bahan kimia yang dibutuhkan untuk maintenance instalasi dengan teknologi ion exchange adalah Rp734.629.500,00. Sedangkan, biaya penggunaan bahan kimia yang dibutuhkan untuk maintenance instalasi dengan teknologi membran adalah Rp273.379.000,00.

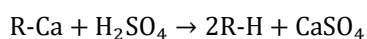
E. Beban Pencemar Lingkungan

Berdasarkan urutan keaktifan, ion Ca²⁺ menunjukkan keaktifan yang lebih tinggi daripada ion Mg²⁺ dan Fe³⁺ [10]. Pada perhitungan ini, diasumsikan jika pencemar yang terkandung dalam air hasil regenerasi resin adalah ion Ca²⁺. Perhitungan beban pencemar dari air hasil regenerasi resin kation ini diasumsikan bahwa kontaminan yang terikat pada resin kation adalah ion Ca²⁺.

Reaksi saat pertukaran ion Ca²⁺ dan resin kation berlangsung:



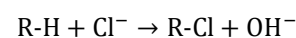
Reaksi setelah regenerasi resin kation dengan H₂SO₄:



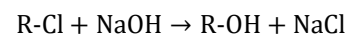
Dari reaksi tersebut, dapat diketahui bahwa ion kalsium yang terikat oleh resin akan lepas dan bergabung dengan ion sulfat membentuk senyawa kalsium sulfat (CaSO₄). Kalsium sulfat inilah yang terkandung pada air hasil dari regenerasi

resin kation dan akan menjadi pencemar jika langsung dibuang ke badan air.

Pada anion exchanger, perhitungan beban pencemar dari air hasil regenerasi resin anion diasumsikan bahwa kontaminan yang terikat pada resin anion adalah ion Cl⁻. Reaksi saat pertukaran ion Cl⁻ dan resin anion berlangsung:



Reaksi setelah regenerasi resin anion dengan NaOH:



Dari reaksi tersebut, dapat diketahui bahwa ion klorida yang terikat oleh resin akan lepas dan bergabung dengan ion natrium membentuk senyawa natrium klorida (NaCl). Natrium klorida inilah yang terkandung pada air hasil dari regenerasi resin anion dan akan menjadi pencemar jika langsung dibuang ke badan air. Perhitungan beban pencemar yang dihasilkan dari regenerasi resin dan CIP berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 7.

Air limbah yang dihasilkan dari backwash unit ACF dan MMF, serta cleaning in place (CIP) unit UF dan RO akan disalurkan ke wastewater treatment (WWTP) untuk diolah lebih lanjut sebelum dibuang ke badan air. Sedangkan, hasil dari regenerasi resin akan dinetralkan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan target pengolahan dari Nalco Water, parameter konduktivitas dari kedua instalasi belum memenuhi target pengolahan. Nilai konduktivitas dari instalasi dengan

teknologi *ion exchange* dan membran berturut-turut adalah 32,9 $\mu\text{s/cm}$ dan 30,9 $\mu\text{s/cm}$. Berdasarkan efisiensi *removal*, instalasi dengan teknologi membran memiliki efisiensi *removal* yang lebih tinggi untuk menurunkan kesadahan, alkalinitas, besi, silika, dan konduktivitas secara berturut-turut sebesar 100%, 89%, 69%, 98%, dan 99% dibandingkan instalasi teknologi *ion exchange* dengan *removal* kesadahan, alkalinitas, besi, silika, dan konduktivitas secara berturut-turut sebesar 100%, 86%, 33%, 85%, dan 98%.

Berdasarkan waktu yang diperlukan untuk *maintenance*, instalasi pengolahan air demineralisasi dengan teknologi membran membutuhkan waktu untuk satu kali *cleaning in place* (CIP) pada unit UF ± 14 jam dan CIP unit RO ± 12 jam. Waktu yang dibutuhkan untuk satu kali regenerasi resin pada teknologi *ion exchange* adalah $\pm 1,3$ jam. Sedangkan, berdasarkan penggunaan bahan kimia dan air, instalasi dengan teknologi membran membutuhkan lebih sedikit bahan kimia sebanyak 573 kg/hari dan air sebanyak 72 m^3 /hari air, dibandingkan dengan instalasi dengan teknologi *ion exchange* yang membutuhkan bahan kimia sebanyak 1.699,05 kg/hari dan air sebanyak 259,58 m^3 /hari.

Instalasi dengan teknologi *ion exchange* lebih banyak dalam konsumsi bahan kimia, sehingga biaya penggunaan bahan kimia juga lebih mahal, yaitu Rp734.629.500,00/bulan dibandingkan dengan instalasi dengan teknologi membran yang lebih terjangkau dalam penggunaan bahan kimia, yaitu Rp273.379.000,00/bulan. Selain itu, berdasarkan beban pencemar yang lingkungan, instalasi dengan teknologi *ion exchange* menghasilkan lebih banyak beban pencemar sebesar 13.852,54 kg/hari daripada instalasi dengan teknologi membran yang menghasilkan beban pencemar sebesar

1.522,38 kg/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Suryani, M. Madagaskar, dan R. A. N. Moulita, "Analisis pengaruh waktu dan tekanan terhadap demineralisasi air buangan ac dengan metode reverse osmosis," *J. Redoks*, vol. 7, no. 1, hal. 1–9, 2022, doi: 10.31851/redoks.v7i1.7924.
- [2] N. Fernando dan P. A. Ransun, "Studi Ion Exchange untuk Menghasilkan Air Umpan Boiler Berbahan Baku Air Sumur Kecamatan Rungkut," Departemen Teknik Kimia, UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya, 2022.
- [3] A. Masduqi dan A. F. Assomadi, *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press, 2012.
- [4] A. Bhatnagar, W. Hogland, M. Marques, dan M. Sillanpää, "An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications," *Chem. Eng. J.*, vol. 219, hal. 499–511, Mar 2013, doi: 10.1016/j.cej.2012.12.038.
- [5] E. Roslinda dan G. Hardiansyah, "Teknologi multi media filter untuk memproduksi air bersih di lahan gambut," *JPPM (Jurnal Pengabdian dan Pemberdaya Masyarakat)*, vol. 3, no. 1, hal. 141, 2019, doi: 10.30595/jppm.v3i1.3123.
- [6] R. M. Gultom, "Menghitung Banyaknya Jumlah H_2SO_4 untuk Satu Kali Proses Regenerasi Kation Exchange di Water Treatment Plant," in *Diseminasi FTI. Institut Teknologi Nasional Bandung.*, 2021, hal. 1–8.
- [7] Husnawati, B. G. Bhernama, dan Tarmizi, "Analisis air boiler dengan parameter ph, alkalinitas, tds, hardness dan silika di pt. beurata subur persada," *Amina*, vol. 3, no. 2, hal. 62–68, 2021, doi: <https://doi.org/10.22373/amina.v3i2.2002>.
- [8] M. Fatimura, "Tinjauan teoritis permasalahan boiler feed water pada pengoperasian boiler yang dipergunakan dalam industri," *J. Media Tek.*, vol. 12, no. 1, hal. 24–32, 2015.
- [9] A. Supriyadi dan A. Masyruroh, "Proses optimasi desalinasi dan demineralisasi untuk menjamin kuantitas dan kualitas air proses dan domestik di pt ineos aromatics indonesia," *J. Lingkungan dan Sumberd. Alam*, vol. 5, no. 1, hal. 13–23, Apr 2022, doi: 10.47080/jls.v5i1.1809.
- [10] G. Ramadhani, G. I. Ramadhani, dan A. Moesriati, "Pemanfaatan biji asam jawa (*tamarindusindica*) sebagai koagulan alternatif dalam proses menurunkan kadar cod dan bod dengan studi kasus pada limbah cair industri tempe," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 1, hal. D22–D26, 2013, doi: 10.12962/j23373539.v2i1.3210.