

PROSES OPTIMASI DESALINASI DAN DEMINERALISASI UNTUK MENJAMIN KUANTITAS DAN KUALITAS AIR PROSES DAN DOMESTIK DI PT INEOS AROMATICS INDONESIA

(diterima 15 Januari 2022, diperbaiki 23 Februari 2022, disetujui 25 Maret 2022)

Agus Supriyadi^{1*}, Anis Masyurroh²

¹PT. INEOS Aromatics Indonesia

Jl. Raya Merak Km. 116 Kel. Rawa Arum Kec. Grogol Cilegon 42436, Banten

²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya, Serang

Jalan Ciwaru Raya No. 73 Kota Serang-Banten, Indonesia 42117

Email korespondensi: *gmeriai@ineos.com

Abstract. Enhancement Purified Terephthalic Acid (PTA) production capacity from 500,000 tons/year to 576,000 tons/year resulted in increase of water demand, so an optimization process for desalination and demineralization units is needed. This research aims to find how the desalination and demineralization optimization process is carried out to ensure the quantity and quality of water at PT INEOS Aromatics Indonesia. The research method used is descriptive qualitative by conducting literature studies, observing the optimization of desalination and demineralization processes, interviews and laboratory testing of water samples. The result of this research is that the desalination and demineralization optimization process has been successfully, with quantity of desalt water product is 197 tons/hour. Parameters for the production process, namely conductivity 0.8 μ s/cm, copper (Cu^{2+}) 0.005 ppm, sulfate (SO_4^{2-}) 0 ppm, silica (SiO_2) 0 ppm and for domestic, namely temperature 30.8 °C, color 9 TCU, pH 6.8 ppm, odorless, tasteless, hardness (CaCO_3) 0 ppm, turbidity 0.05 NTU, total dissolved solids (TDS) 0.8 ppm, nitrite (NO_2^-) 0 ppm, nitrate (NO_3^-) 0.009 ppm, escherichia coli 0 CFU/100ml and total coliform 0 CFU/100ml. These values meet the quality standards set by the Amoco Research and Development and Minister of Health Regulation Number 32 of 2017.

Keywords: Optimization; descriptive qualitative; quality standards.

Abstrak. Peningkatan kapasitas produksi Purified Terephthalic Acid (PTA) dari 500.000 ton/tahun menjadi 576.000 ton/tahun mengakibatkan peningkatan kebutuhan air sehingga diperlukan proses optimasi unit desalinasi dan demineralisasi. Tujuan dari penelitian mengetahui bagaimana proses optimasi desalinasi dan demineralisasi dilakukan guna menjamin kuantitas dan kualitas air di PT INEOS Aromatics Indonesia. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan melakukan studi pustaka, pengamatan proses optimasi desalinasi dan demineralisasi, wawancara, dan uji laboratorium sampel air. Hasil dari penelitian ini yaitu proses optimasi desalinasi dan demineralisasi berhasil dibuktikan dengan terjaminnya kuantitas produk desalt water yang dihasilkan sebesar 197 ton/jam. parameter untuk kebutuhan proses produksi yaitu konduktivitas 0,8 μ s/cm, tembaga (Cu^{2+}) 0,005 ppm, sulfat (SO_4^{2-}) 0 ppm, silika (SiO_2) 0 ppm dan domestik yaitu suhu 30,8 °C, warna 9 TCU, pH 6,8 ppm, tidak berbau, tidak berasa, kesadahan (CaCO_3) 0 ppm, kekeruhan 0,05 NTU, total padatan terlarut (TDS) 0,8 ppm, nitrit (NO_2^-) 0 ppm, nitrat (NO_3^-) 0,009 ppm, escherichia coli 0 CFU/100ml dan total coliform 0 CFU/100ml. Nilai-nilai tersebut memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Amoco Research and Development dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017.

Kata kunci: Optimasi; kualitatif deskriptif; baku mutu.

© hak cipta dilindungi undang-undang

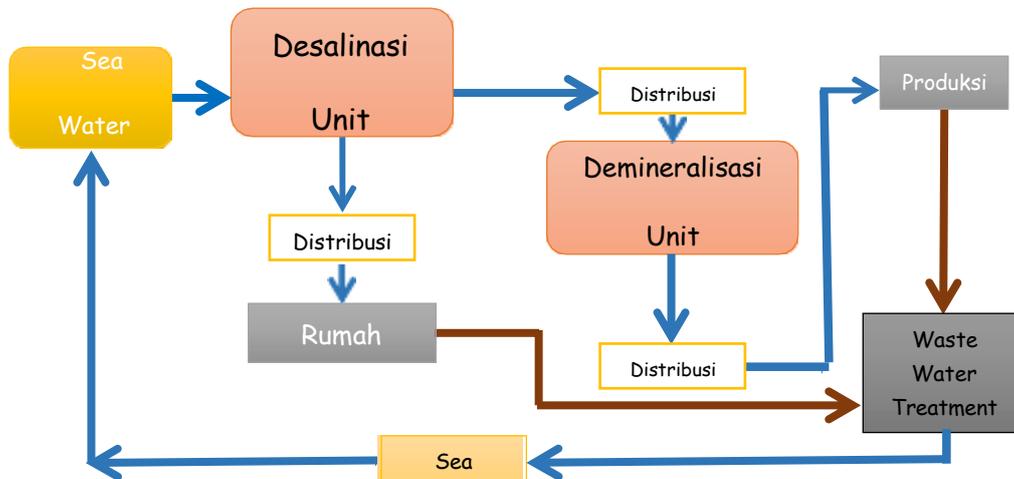
PENDAHULUAN

PT INEOS Aromatics Indonesia memilih menyediakan air bersih sendiri dikarenakan dekat dengan sumber air yang melimpah berupa air laut yang menjadi bahan baku untuk pembuatan air bersih melalui unit desalinasi dan demineralisasi. Alasan lain adalah karena faktor biaya, jika dibandingkan dengan membeli air dari pihak ketiga biayanya lebih mahal 5 kali lipat dari mengolah air bersih sendiri. Misal pembelian air bersih dari PT Cahaya Mahardika per m^3 sebesar Rp. 65.000 berdasarkan *Invoice Purchase Order CV.Cahaya Mahardika* dan Peraturan Walikota Cilegon Nomor 49 tahun 2018, sedangkan dengan mengolah sendiri biaya operasional yang dibutuhkan untuk menghasilkan air bersih sebanyak $1 m^3$ adalah Rp. 10.000 (Supriyadi, 2020).

PT INEOS Aromatics Indonesia membutuhkan air cukup banyak yaitu untuk air proses produksi (sebagai pelarut *Crude Terephthalic Acid*) dengan kapasitas produksi *Purified Terephthalic Acid* 60 Ton/Jam membutuhkan air sebanyak $150 m^3$ /jam atau $2,5 m^3$ per 1 ton PTA dan untuk kebutuhan domestik untuk ± 300 orang (berdasarkan SNI-03-7065-2005 plambing) membutuhkan air sebanyak 70 liter/orang/hari atau $21 m^3$ /hari. Kebutuhan tersebut harus tercukupi secara *continue* selama 24 jam dan akan beresiko jika penyediaan air dari pihak lain dengan adanya penambahan mengalami gangguan. Dengan adanya penambahan kapasitas produksi *Purified Terephthalic Acid* (PTA) di PT INEOS Aromatics Indonesia, meningkatkan kebutuhan air untuk proses produksi meningkat menjadi $173 m^3$ /jam.

Dari permasalahan di atas peneliti melakukan pengamatan pengaruh parameter-parameter proses produksi terhadap optimasi unit desalinasi dan demineralisasi seperti tekanan, suhu, laju alir, *chemical dosing*, *make-up brine*, tingkat kejenuhan resin penukar ion) yang berpengaruh terhadap kualitas air yang dihasilkan dilihat dari parameter standar kualitas air untuk kebutuhan proses produksi (Konduktivitas, Tembaga (Cu^{2+}), Sulfat (SO_4^{2-}), Silika (SiO_2) dan air untuk kebutuhan domestik (Suhu, Warna, pH, Bau, Rasa, Kesadahan ($CaCO_3$), Kekeruhan, Total Padatan Terlarut (TDS), Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-), E. Coli, Total Coliform).

METODE



Gambar 1. Blok diagram alir proses produksi

Lokasi dan Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT INEOS Aromatics Indonesia dimulai dari tanggal 15 Juli - 15 Agustus 2021.

Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel menggunakan metode *probability sampling* dimana sampel diambil secara keseluruhan dari populasi yang ada, artinya mempunyai peluang yang sama bagi setiap unsur (anggota) populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel.

Teknik Pengumpulan Data

Data-data ini dikelompokkan menjadi data primer dan sekunder. Data primer dilakukan melalui observasi, wawancara, uji Lab di Laboratorium PT INEOS Aromatics Indonesia dan Laboratorium Kesehatan Kabupaten Serang untuk mengetahui kualitas air untuk proses produksi dan air untuk domestik. Data sekunder meliputi Permenkes Nomor 32 Tahun 2017, *Amoco Research and Development for Purification Terephthalic Acid (PTA) Process* dan Standar Operasional Prosedur (SOP) Sistem Desalinasi dan Demineralisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT INEOS Aromatics Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri tekstil dan supplier *Purified Terephthalic Acid (PTA)* di Indonesia yang

terletak di kompleks PENI, Jln. Raya Merak KM 116, Desa Rawa Arum, Cilegon, Indonesia. PT INEOS Aromatics Indonesia menempati lahan seluas 36,395 Ha dengan kapasitas produksi 576.000 ton/tahun. Dari pengujian yang dilakukan pada sampel produk untuk air domestik dari unit desalinasi menggunakan sistem *Multi Stage Flash* (MSF) didapat nilai parameter-parameter seperti pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Lab Air untuk Kebutuhan Domestik

No.	Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)	Hasil Uji Lab
1.	Suhu	O C	27-33	30,8
2.	Ph	Ppm	6,5-8,5	6,82
3.	Bau		Tidak berbau	Tidak berbau
4.	Rasa		Tidak berasa	Tidak berasa
5.	Kesadahan (CaCO ₃)	Ppm	500	0
6.	Warna	TCU	50	9
7.	Kekeruhan	NTU	25	0,05
8.	Zat Padat Terlarut (<i>Total Dissolved Solid</i>)	Ppm	1000	0,8
9.	Nitrat, sebagai N	Ppm	10	0,009
10.	Nitrit, sebagai N	Ppm	1	0
11.	Total Coliform*	CFU/100ml	50	0
12.	E. Coli*	CFU/100ml	0	0

(Hasil uji lab di Laboratorium PT INEOS Aromatics Indonesia, 2021)

Ket. : * Hasil uji lab di Laboratorium Kesehatan Kabupaten Serang

Tabel hasil uji lab air untuk kebutuhan domestik di atas menunjukkan bahwa dengan mengoptimalkan proses produksi air laut menjadi air bersih di unit desalinasi (MSF) tidak mempengaruhi kualitas air yang dihasilkan. Adapun penggunaan utama air ini untuk air umpan ke unit demineralisasi sebesar 173 m³/jam dan kebutuhan karyawan sebesar 300 orang/hari dengan pemakaian 70 liter/orang/hari atau 21 m³/jam.

Tabel 2. Hasil Uji Lab Air Laut umpan air laut dan produk *desalt water* dari proses desalinasi

No.	Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)	Umpan air laut	Hasil Uji Lab Produk <i>desalt water</i>
1	Khlorida	Ppm	5	13.515	0,3
2	Natrium	Ppm	6	29.500	0,02

(Hasil uji lab di Laboratorium PT INEOS Aromatics Indonesia, 2021)

Dari tabel hasil uji lab di atas menunjukkan bahwa proses produksi air bersih menggunakan unit desalinasi sistem *Multi Stage Flash (MSF) Distillation* dapat menurunkan kadar garam dalam air laut (klorida dan natrium sebagai komponen utama) yang sangat signifikan dimana konsentrasi awal klorida sebesar 13.515 ppm setelah di proses di MSF menjadi 0,3 ppm, sedangkan untuk konsentrasi awal natrium sebesar 29.500 ppm menjadi 0,02 ppm.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan pada sampel produk untuk air proses produksi dari unit demineralisasi menggunakan sistem *Mixed Bed Polisher (MBP)* didapat nilai parameter-parameter berikut sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditentukan seperti pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Lab Air untuk Kebutuhan Air Proses Produksi

No.	Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu(kadar maksimum)	Produk Air Desal	Hasil Uji Lab Air Demin
1.	Konduktivitas	$\mu\text{s}/\text{cm}$	1	1,2	0,8
2.	Tembaga (Cu)	ppm	0,2	0,005	0,005
3.	Silika (SiO_2^{2-})	ppm	3	10	0
4.	Sulfat (SO_4^{2-})	ppm	60	1	0

(Hasil uji lab di Laboratorium PT INEOS Aromatics Indonesia, 2021)

Tabel hasil uji lab untuk air proses produksi di atas menunjukkan bahwa kualitas air untuk kebutuhan proses produksi yang dihasilkan dari optimasi unit demineralisasi sistem *Mixed Bed Polisher* memenuhi baku mutu yang disyaratkan sesuai dengan standar *Amoco Research and Development for Purification Terephthalic Acid (PTA) Process*.

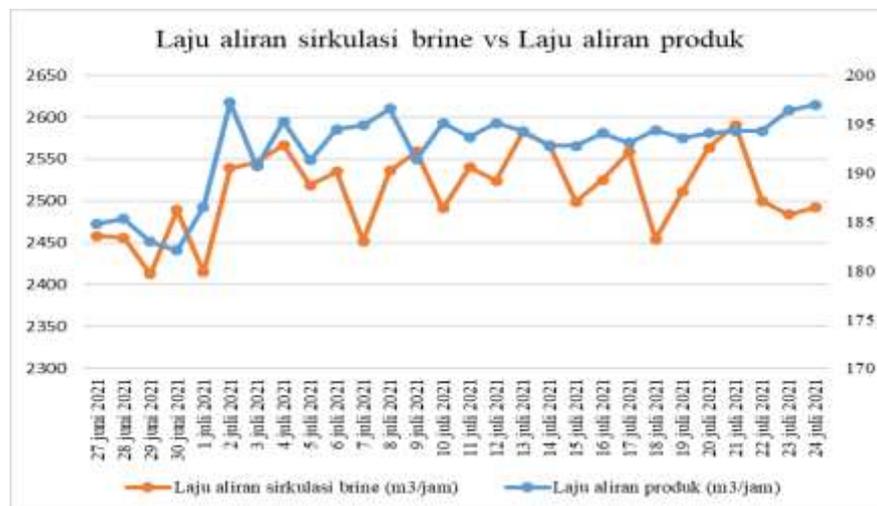
Parameter seperti tembaga dan sulfat sebenarnya sudah memenuhi standar nilai yang ditetapkan sedangkan silika dan konduktivitas belum memenuhi persyaratan air untuk kebutuhan proses produksi sehingga perlu dihilangkan kandungan mineralnya melalui unit demineralisasi sistem *Mixed Bed Polisher*, setelah melalui pengolahan air di *Mixed Bed Polisher* nilai parameter silika dan sulfat turun menjadi 0 sedangkan untuk nilai parameter tembaga tetap sama yaitu 0,005 ppm dan untuk nilai konduktivitas dari 1,2 ppm menjadi 0,8 ppm.

Kandungan konduktivitas dan silika berlebih pada air proses produksi menyebabkan timbulnya kerak pada peralatan produksi yang menurunkan efisiensi

transfer panas (*heat transfer*) dan korosi. Sedangkan kandungan tembaga dan sulfat berlebih menyebabkan katalis palladium-karbon pada reaktor proses pemurnian asam tereftalat menjadi tidak aktif atau keracunan. penggunaan utama dari air proses produksi yaitu untuk pelarut, make up air umpan boiler (BFW), *eye wash shower* untuk *emergency first aid*, air kebutuhan untuk laboratorium, dan lain-lain.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas air yang dihasilkan dari proses desalinasi menggunakan sistem *Multi Stage Flash* dan demineralisasi menggunakan sistem *Mixed Bed Polisher*.

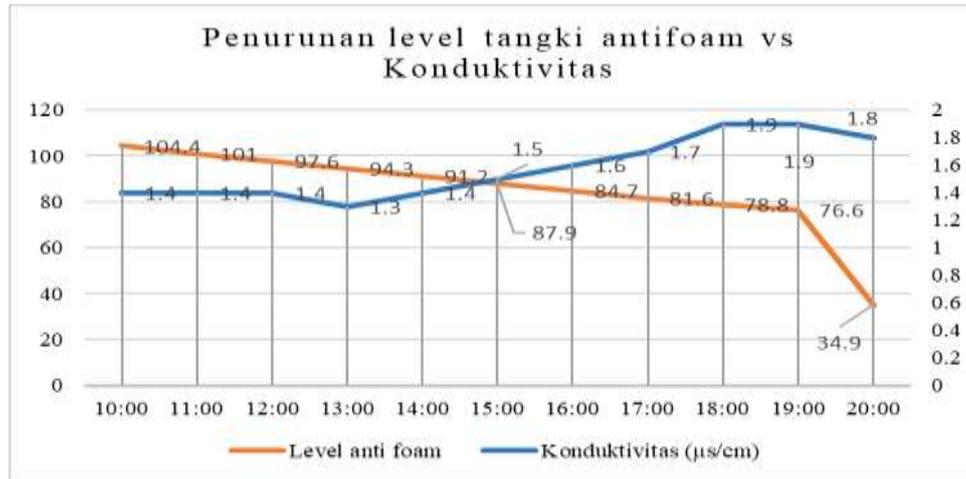
Di bawah ini merupakan grafik dari hubungan laju aliran sirkulasi *brine* dengan laju aliran produk *desalt water* di unit desalinasi sistem MSF.



Gambar 2. Grafik hubungan laju aliran sirkulasi brine dengan laju aliran produk (*desalt water*) dari data aktual ruang pengontrolan (Hasil penelitian, 2021)

Gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin besar laju aliran sirkulasi *brine* maka produk (*desalt water*) yang dihasilkan semakin besar, hal itu terjadi karena jumlah uap air yang terbentuk selama proses *flashing* (percikan penguapan karena penurunan tekanan tiba-tiba) di *stages* MSF semakin banyak. Akan tetapi, uap yang terbentuk dari masing-masing *stage* akan berangsur-angsur turun karena terjadi penurunan suhu sepanjang *stage* karena panas yang hilang akibat *heat transfer*. Selain jumlah produk yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh *load* dari proses produksi yaitu *load dehydration tower* (DHT), dimana semakin tinggi *load* maka panas yang diserap oleh aliran sirkulasi *brine* semakin tinggi sehingga semakin banyak produk *desalt water* yang dihasilkan.

Di bawah ini merupakan grafik hubungan penurunan level tangki antifoam dengan nilai konduktivitas produk *desalt water* di unit desalinasi system MSF.

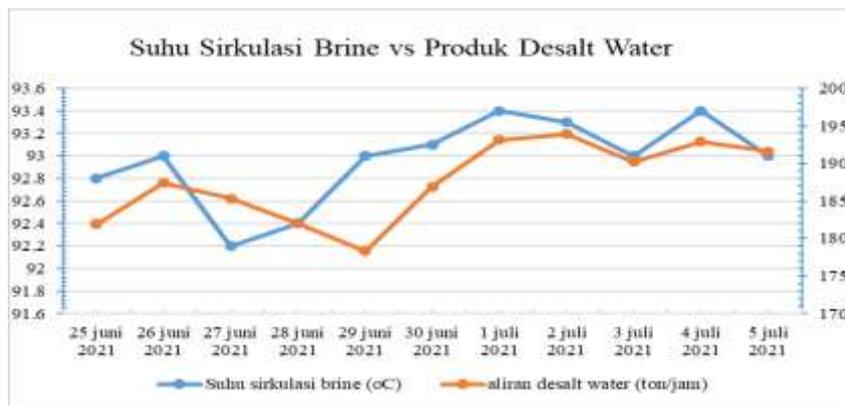


Gambar 3. Grafik hubungan laju aliran injeksi antifoam dengan nilai konduktivitas produk (*desaltwater*) dari data aktual ruang pengontrolan (Hasil penelitian, 2021)

Gambar di atas menunjukkan pengaruh laju injeksi antifoam terhadap nilai konduktivitas dari produk (*desalt water*), ketika penurunan level tangki antifoam tidak konstan maka nilai konduktivitas akan naik. Hal itu terjadi karena buih (*foam*) dari air laut tidak terikat oleh antifoam dan akhirnya terbawa (*carryover*) bersama dengan uap air murni yang terbentuk sehingga mengakibatkan kontaminasi pada produk *desalt water*.

Injeksi antifoam dilakukan pada *make up* air laut sebelum masuk ke *heat rejection section stage 20* dan bercampur dengan aliran sirkulasi *brine* yang kemudian disirkulasikan oleh pompa menuju kondensor *dehydration tower* (DHT) kemudian menyerap panas yang akan digunakan untuk menguapkan air laut di unit desalinasi sistem *Multi Stage Flash* (MSF). Normal aliran injeksi antifoam pada unit desalinasi sistem MSF yaitu 44 liter/jam atau penurunan level tangki antifoam sebanyak 4%.

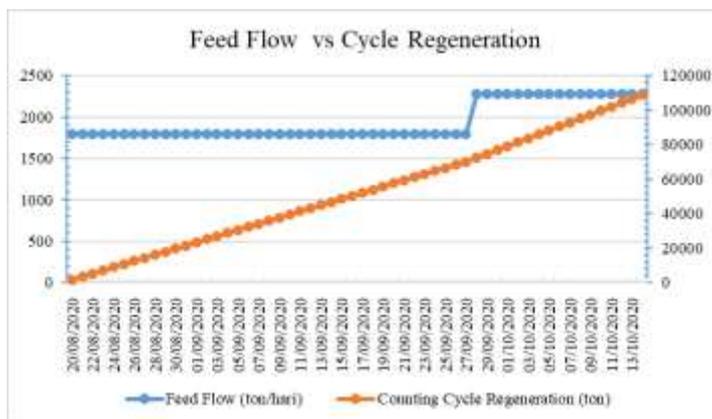
Grafik selanjutnya membahas mengenai hubungan dari suhu air laut keluaran *heat rejection section* dengan produk *desalt water* yang dihasilkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. Grafik hubungan suhu sirkulasi *brine* dengan produk *desalt water* dari data actual ruang pengontrolan (Hasil penelitian, 2021)

Gambar di atas menunjukkan hubungan suhu sirkulasi *brine* dengan produk *desalt water*, pada tanggal 25 juni 2021 hingga 30 juni 2021 belum terjadi peningkatan kapasitas proses produksi *desalt water* di unit desalinasi sistem MSF dan pada tanggal 1 juli 2021 mulai dilakukan optimasi dan terlihat suhu sirkulasi *brine* mulai naik disertai kenaikan produk *desalt water* yang dihasilkan. Kenaikan produk *desalt water* disebabkan oleh suhu dari sirkulasi *brine* yang meningkat karena menyerap banyak panas (ketika load proses DHT tinggi) dari proses kondensasi di kondensor *dehydration tower* (DHT), Selain itu suhu sirkulasi *brine* juga dipengaruhi oleh laju alir dari sirkulasi *brine* itu sendiri yang menuju ke unit proses karena jika laju alir *brine* meningkat maka suhu sirkulasi *brine* juga meningkat sehingga akan banyak produk *desalt water* yang dihasilkan pada unit desalinasi sistem MSF.

Grafik selanjutnya merupakan kondisi operasi dari unit demineralisasi sistem *mixed bed polisher* sebelum optimasi ataupun peningkatan kapasitas produksi.

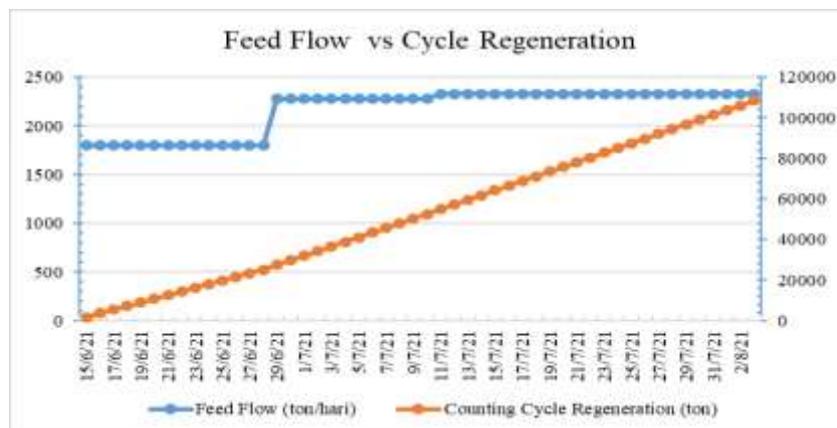


Gambar 5. Grafik hubungan laju aliran umpan dengan *cycle* regenerasi dari data actual ruang pengontrolan sebelum optimasi atau peningkatan kapasitas produksi.

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara laju aliran umpan dengan waktu *cycle* regenerasi sebelum proses optimasi atau peningkatan proses produksi *demin water* menggunakan sistem *mixed bed polisher*. Pada tanggal 20 agustus 2020 hingga 27 september 2020 laju aliran umpan sebesar 1800 ton/perhari, sedangkan tanggal 28 september 2020 hingga 14 oktober 2020 laju aliran umpan sebesar 2280 ton/perhari.

Counting cycle regeneration digunakan untuk menghitung *summary* yang telah dicapai dari laju aliran umpan yang sudah masuk dan diproses di *mixed bed polisher* dan jika nilai dari *counting cycle regeneration* mencapai waktu regenerasi yang sudah ditentukan maka *mixed bed polisher* tersebut dihentikan dan dipindahkan ke *mixed bed polisher* yang *stand by*. Hal itu dilakukan untuk menghindari resin penukar ion menjadi jenuh. Normal nilai setting waktu regenerasi yaitu 108.400 ton. Dari analisa di atas dapat disimpulkan bahwa jumlah hari *life service* dari system MBP hingga mencapai waktu regenerasi sebelum optimasi atau peningkatan proses produksi *demin water* yaitu 56 hari.

Grafik selanjutnya merupakan kondisi operasi dari unit demineralisasi sistem *mixed bed polisher* setelah optimasi atau peningkatan kapasitas produksi.



Gambar 6. Grafik hubungan laju aliran umpan dengan *cycle* regenerasi dari data aktual ruangpengontrolan setelah optimasi atau peningkatan kapasitas produksi (hasil penelitian, 2021)

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara laju aliran umpan dengan waktu *cycle* regenerasi setelah proses optimasi atau peningkatan proses produksi *demin water* menggunakan sistem *mixed bed polisher*. Pada tanggal 15 juni 2021 hingga 28 juni 2021 laju aliran umpan sebesar 1800 ton/perhari, tanggal 29 juni 2021 hingga 10 juli 2021 laju aliran umpan sebesar 2280 ton/hari dan tanggal 11 juli 2021 hingga 3 agustus 2021 laju aliran umpan sebesar 2328 ton/hari. Dapat disimpulkan jumlah hari *life*

service dari sistem MBP hingga mencapai waktu regenerasi setelah optimasi atau peningkatan proses produksi demin water yaitu 50 hari. Hal itu terjadi karena semakin banyak kation dan anion yang ditukarkan dengan ion H^+ dan OH^- pada resin maka resin penukar ion semakin cepat jenuh.

Menurut Santoso et al. (2015) pada waktu operasi 40 menit yang merupakan titik jenuh dari resin penukar ion. Jika laju alir umpan besar, maka lebih cepat air umpan mengisi *catridge* resin, sehingga air umpan berkontak lebih cepat dengan permukaan resin sebelum resin penukar ion jenuh. Laju aliran terlalu kecil menyebabkan *catridge* resin tidak terisi penuh oleh air umpan dan semakin sedikit ion-ion yang dipertukarkan sehingga persentase pengurangan konduktivitas dan mineral-mineral menjadi berkurang, maka optimasi atau peningkatan laju aliran umpan demineralisasi menggunakan *mixed bed polisher* mengakibatkan intensitas proses regenerasi semakin cepat.

KESIMPULAN

Ada beberapa yang dapat disimpulkan dari penelitian ini:

1. Proses optimasi desalinasi sistem *multi stage flash* dan demineralisasi sistem *mixed bed polisher* berhasil dibuktikan dengan terjaminnya kuantitas produk *desalt water* sebesar 197 ton/jam.
2. Faktor yang mempengaruhi proses optimasi unit desalinasi dan demineralisasi; Laju alir sirkulasi *brine* semakin tinggi, maka produk *desalt water* yang dihasilkan semakin tinggi. Suhu umpan air laut semakin rendah, maka produk *desalt water* yang dihasilkan semakin tinggi karena *heat transfer* semakin tinggi. Penurunan level tangki *chemical dosing* (antifoam) konstan, maka nilai konduktivitas semakin baik karena buih yang terbawa ke produk *desalt water* sedikit. Suhu sirkulasi *brine* naik, maka produk *desalt water* juga akan naik karena makin banyak uap air yang terbentuk dan laju alir umpan demineralisasi tinggi, maka makin banyak ion-ion kation dan anion yang tertukar pada resin akan tetapi periode regenerasi semakin cepat dan sering.
3. Hasil observasi dan uji laboratorium kualitas air yaitu konduktivitas 0,8 $\mu\text{s/cm}$, tembaga (Cu^{2+}) 0,005 ppm, sulfat (SO_4^{2-}) 0 ppm, silika (SiO_2^{2-}) 0 ppm dan untuk parameter kualitas air kebutuhan domestik yaitu suhu 30,8°C, warna 9 TCU,

pH 6,8 ppm, tidak berbau, tidak berasa, kesadahan (CaCO_3) 0 ppm, kekeruhan 0,05 NTU, total padatan terlarut (TDS) 0,8 ppm, nitrit (NO_2^-) 0 ppm, nitrat (NO_3^-) 0,009 ppm, *escherichia coli* 0 CFU/100ml dan total coliform 0 CFU/100ml.

DAFTAR PUSTAKA

- Asri. (2011). Proses Desalinasi dan Demineralisasi. Gerem. PT Amoco Mitsui Chemical Indonesia.
- Masyruroh, A., Karyadi, E. (2013). Analisa terhadap Kualitas Air Permukaan pada Sungai Cibanten di Sekitar Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Serang. Fakultas Teknik Sipil, Universitas Serang Raya. Serang. *Jurnal Fondasi, Volume 2 Nomor 2*.
- Mountadar, S., Hayani, A., Rich, A., Siniti, M., dan Tahiri, S. (2018). Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies of the Ca^{2+} and Mg^{2+} Ions Removal from Water by Duolite C206A. *Solvent and Extraction and Ion Exchange Journal, Vol 4, No 5, hal 156-165*.
- Pramanik, B. K., Gao, Y., Fan, L., Roddick, F. A., & Liu, Z. (2017). Antiscaling effect of polyaspartic acid and its derivative for RO membranes used for saline wastewater and brackish water desalination. *Desalination, 404, 224-229*.
- Said, S. A. R. (2013). MSF Process Modelling, Simulation and Optimisation: Impact of Non-Condensable Gases and Fouling Factor on Design and Operation. *Doctoral dissertation*, University of Bradford.
- Santoso, B., Komariah, L. N., Hamdani, Z. R. (2015). Rancangan Sistem Pengolahan Air Umpan Boiler Pabrik Biodiesel Skala Pilot Universitas Sriwijaya. *Proceedings Seminar Nasional Added Value of Energy Resources VII*. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Supriyadi, A. (2020). Perhitungan biaya operasi unit MSF. Gerem. PT INEOS Aromatics Indonesia.
- Uthman, D., Ayman, E. (2018). Performance Evaluation of Multistage Flash (MSF) and Reverse Osmosis (RO) Desalination Plants: Case Study (1) Process Description. *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)*. Vol. 8 No. 01.
- Utomo, S.B., Lestari, D.E., Pujiarta, S., Royadi. (2012). Analisis dan Pengendalian Konduktivitas Air pada Kolom Resin Campuran (Mix-Bed) Sistem Air Bebas Mineral (GCA 01). *Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir* Vol. 9 No. 2.
- Wu, L. Y., Xiao, S. N., & Gao, C. J. (2012). Simulation of multi-stage flash (MSF) desalination process. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2, 200-205.