

## Modifikasi Proses Pengolahan *Boiler Feed Water* (BFW) dari *All Volatile Treatment* (AVT) menjadi *Oxygenated Treatment* (OT) untuk Produksi Listrik Ramah Lingkungan

Sigit Setyawan<sup>1</sup>, Ilham Satria Raditya Putra<sup>1</sup>, Agik Dwika Putra<sup>1</sup>, Rochim B Cahyono<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> PT Cirebon Electric Power, Jl. Raya Cirebon – Tegal Km. 8,5, Kanci Kulon, Astanajapura, Cirebon, Jawa Barat 45181, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, 55281 Yogyakarta

\* Alamat korespondensi: [rochimbakti@ugm.ac.id](mailto:rochimbakti@ugm.ac.id)

([Submisi](#): 19 Mei 2021; [Revisi](#): 21 Juni 2021; [Penerimaan](#): 7 Juli 2021)

### ABSTRACT

*In power plant industries, boiler feed water (BFW) quality becomes the main parameter for steam generation, which is used for electricity production. To generate standard BFW for power plants, each impurity within water resources should be removed to prevent corrosion and scale deposition by several processes such as sedimentation, coagulation, polishing, and deaeration. Operation conditions that involved high temperature would trigger corrosion as a crucial factor in the maintenance and practical lifetime of the equipment. In the beginning of the operation, PT. Cirebon Electric Power (CEP) used All Volatile Treatment–Reduction (AVT-R) by injection of both ammonia and hydrazine. In order to optimize the operation, the BFW treatment was changed to All Volatile Treatment–Oxidation (AVT-O) that only uses of ammonia and deaerator for removing the dissolved gas. Based on the actual evaluation, AVT technology showed less performance related to corrosion prevention and high chemical consumption. Therefore, PT. CEP tried to implement modification in the BFW treatment, which is AVT technology to Oxygenated Treatment (OT). This paper is to evaluate the effect of those modifications on corrosion prevention and resource-energy saving. The modification into OT showed valuable results that decrease concentration of dissolved Fe from 1 ppb to 0.1 ppb in the deaerator outlet stream. This data reveals that good corrosion prevention can be achieved through the creation of passive layers, hematite  $Fe_2O_3$ . Oxygen injection into the water circulation system yielded an oxidation atmosphere so that the passive layer,  $Fe_2O_3$ , was formed. In addition to corrosion prevention, this modification also cut the amount of ammonia injection into the system from 2 ppm to 0.12 ppm. Reduction of that ammonia injection provides other benefits such as decreasing the volume of resin regeneration, which becomes only twice a month. This situation also created other benefits such as reducing the regeneration water, chemicals, and wastewater. Thus, the modification could establish the electricity production by PT. CEP more environmentally friendly and sustainable.*

**Keywords:** *All Volatile Treatment (AVT); boiler corrosion; energy efficiency; Oxygenated Treatment (OT)*

## ABSTRAK

Pada operasi PLTU, kualitas *boiler feed water* (BFW) menjadi parameter yang krusial untuk menghasilkan *steam* yang akan digunakan untuk memproduksi listrik. Untuk mendapatkan BFW sesuai dengan standar yang ada, maka pengotor di dalam air baku industri harus dihilangkan karena dapat menyebabkan korosi dan pembentukan kerak, baik pada pipa maupun peralatan. Kondisi operasi yang melibatkan *steam* pada suhu tinggi menyebabkan korosi menjadi masalah yang krusial terutama terkait dengan *maintenance* dan umur efektif pabrik. Pada awal berdirinya, PT. Cirebon Electric Power (CEP) menggunakan teknologi *All Volatile Treatment-Reduction* (AVT-R) dengan injeksi amonia dan hidrazin. Selanjutnya, dilakukan optimasi melalui perubahan proses menjadi *All Volatile Treatment-Oxidation* (AVT-O) dengan hanya menginjeksikan amonia dan mengoptimalkan fungsi deaerator untuk menghilangkan pengotor *dissolved gas*. Berdasarkan data lapangan, teknologi AVT yang digunakan kurang memberikan pencegahan korosi yang baik dan juga jumlah bahan kimia yang digunakan masih relatif banyak. Agar lebih ramah lingkungan dan handal, PT. CEP berusaha untuk melakukan modifikasi terhadap pengolahan *boiler feed water* (BFW) dari yang semula menggunakan teknologi AVT-O menjadi *Oxygenated Treatment* (OT). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak modifikasi sistem AVT menjadi OT pada pencegahan korosi dan juga penghematan sumber daya. Modifikasi sistem AVT-O menjadi OT berhasil menurunkan konsentrasi *dissolved Fe* dari 1 ppb menjadi 0,1 ppb pada BFW. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan pencegahan korosi melalui pembentukan *double protective layer* yang merupakan kombinasi magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Injeksi oksigen ke dalam sistem mengubah kondisi air menjadi suasana oksidasi sehingga mampu mengubah dan membentuk lapisan baru sebagai pencegahan korosi. Selain pencegahan korosi, modifikasi ini juga berhasil menurunkan jumlah injeksi amonia dari 2 ppm menjadi 0,12 ppm dalam siklus air yang ada. Penurunan jumlah injeksi amonia ini akan memberikan keuntungan beruntun berupa berkurangnya frekuensi regenerasi resin dari semula 8 menjadi 2 kali perbulan. Kondisi ini akan menghasilkan penghematan sumber daya berupa kebutuhan air untuk regenerasi, bahan kimia amonia, dan beban pencemaran. Oleh karena itu, modifikasi ini telah membuat proses produksi listrik di PT. CEP lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** *All Volatile Treatment* (AVT); efisiensi energi; korosi *boiler*, *Oxygenated Treatment* (OT)

## 1. Pendahuluan

Pada saat ini, Indonesia menggunakan listrik yang sebagian besar diproduksi dengan sistem pembangkit tenaga uap (PLTU). Uap yang digunakan untuk memutar turbin listrik dihasilkan dari berbagai sumber energi misalnya gas bumi, minyak bumi, batu bara, biomassa dan lain-lain. Selain bahan baku sumber panas, untuk memproduksi listrik yang efisien dibutuhkan sistem pembangkit

*steam* di *boiler* yang handal. Secara umum, kinerja *boiler* yang digunakan untuk memproduksi *steam* bergantung pada beberapa parameter seperti tipe *boiler*, suplai oksigen, laju *blowdown*, kualitas *boiler feed water* (BFW) dan lain-lain (Gupta dkk., 2011; Hasan, 2008). Dengan pertimbangan efisiensi proses dan lingkungan, umumnya digunakan siklus tertutup (*closed system*) yaitu kondensat *steam* yang telah digunakan untuk

memproduksi listrik di turbin akan diputar kembali ke *boiler* untuk menghasilkan *steam* dan seterusnya. Untuk menjamin agar jumlah *steam* yang dihasilkan sesuai dengan kapasitas, maka ditambahkan *make-up* BFW dan dicampur dengan kondensat *steam* yang ada. Untuk menghasilkan BFW yang berkualitas sesuai dengan standar, air baku yang ada harus dihilangkan pengotornya yang meliputi padatan tersuspensi (*suspended solid*), padatan terlarut (*dissolved solid*) dan gas terlarut (*dissolved gas*). Penghilangan kotoran ini merupakan hal yang sangat penting untuk mencegah terjadinya korosi, pembentukan kerak dan pengotor baik pada pipa maupun pada permukaan perpindahan panas di seluruh fasilitas dan sistem pendukung (Mohsen, 2004). Untuk menghilangkan pengotor tersebut, secara umum air baku akan melalui proses sedimentasi, koagulasi, *water softening/polishing* dan deaerasi. Proses deaerasi berfokus pada penghilangan gas terlarut untuk mencegah terjadinya korosi pada peralatan yang digunakan.

Sebagai salah satu produsen listrik di transmisi Jawa-Bali, PT. Cirebon Electric Power (CEP) terus berupaya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu upaya yang ditempuh adalah modifikasi proses untuk meningkatkan efisiensi dan penghematan sumber daya serta meminimalkan limbah yang dihasilkan. Pada awal berdirinya, PT. CEP menggunakan teknologi *All Volatile Treatment-Reduction* (AVT-R) untuk menghilangkan pengotor *dissolved gas*. Perlakuan AVT-R hanya menggunakan bahan kimia mudah menguap untuk mengontrol pH pada pengembalian kondensat, air umpan, dan air *boiler* (Petrova dkk, 2016). Zat aditif

yang umum digunakan adalah amonia, sikloheksilamin, dan morfolin sedangkan sebagai agen untuk menangkap oksigen terlarut dalam AVT-R adalah hidrazin (Takada dkk, 2004). Upaya untuk mengurangi konsumsi bahan kimia dilakukan dengan melakukan modifikasi AVT-R menjadi *All Volatile Treatment-Oxidation* (AVT-O) yaitu hanya menggunakan amonia untuk menghilangkan gas terlarut yang ada. Konsentrasi zat aditif yang lebih tinggi ini umumnya digunakan selama operasi *startup* dan *shutdown*. Akan tetapi pada sistem AVT-R dan AVT-O kurang memberikan sistem pencegahan korosi yang baik dan juga jumlah bahan kimia yang digunakan masih relatif banyak (Banerjee, 2014).

Korosi sebagai dampak dari kondisi operasi pada pembentukan *steam* pada suhu tinggi, menjadi masalah yang krusial di industri PLTU terutama pada perawatan dan umur efektif pabrik. Adanya kontak antara *carbon steel* sebagai bahan utama peralatan PLTU dengan *steam* pada suhu tinggi akan mempercepat terjadinya korosi pada peralatan yang ada (Seo dkk, 2015). Aspek kehandalan, keberlanjutan dan ramah lingkungan menjadi parameter yang penting dalam produksi listrik pada saat ini. Sesuai dengan nilai tersebut, PT. CEP berusaha untuk melakukan modifikasi sebagian sistem pengolahan air, dari yang semula menggunakan teknologi AVT-O menjadi *Oxygenated Treatment* (OT). Studi pustaka menyebutkan, teknologi OT secara teori dapat memberikan perlindungan korosi yang lebih baik karena terbentuknya *passive layer* (Suharti dkk., 2013; Jiang dkk., 2016). Berbeda dengan kegiatan laboratorium, evaluasi pada skala industri akan melibatkan data yang kompleks dan skala yang besar sehingga

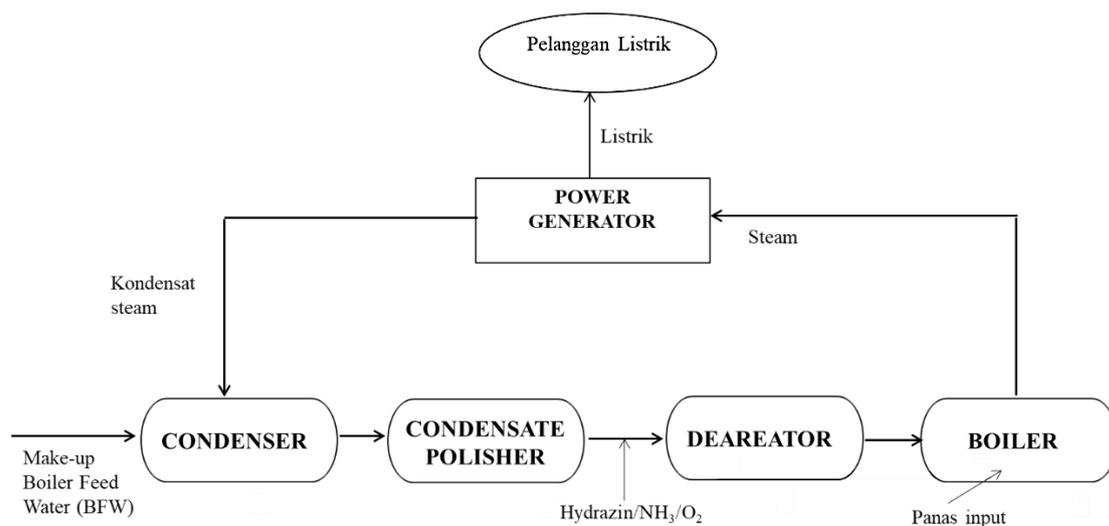
fluktuasi data dapat terjadi. Akan tetapi aplikasi modifikasi pada skala besar akan dapat memberikan informasi yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemanfaatan dan dampak modifikasi sistem AVT-O menjadi OT pada pencegahan korosi pada peralatan yang ada, termasuk mekanisme terbentuknya *passive layer*. Selain itu juga akan ditinjau evaluasi modifikasi tersebut terhadap penghematan sumber daya antara lain air, energi listrik, dan limbah yang dihasilkan.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Deskripsi Sistem Produksi Listrik

Data yang digunakan dalam penelitian dan evaluasi konversi AVT-O menjadi OT ini berasal dari kegiatan operasi dan modifikasi di PT. Cirebon Electric Power (CEP), Jawa Barat, Indonesia. PT. CEP menggunakan bahan bakar batu bara untuk memproduksi listrik dengan proses yang secara sederhana dapat diilustrasikan pada Gambar 1.

PT. CEP memproduksi *steam* di unit *boiler* untuk menghasilkan listrik dengan sumber panas yang ada. Sebagaimana disampaikan pada bagian pendahuluan, kualitas BFW akan sangat memengaruhi efisiensi dan kehandalaan operasi *boiler*. *High pressure steam* yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar turbin sehingga dihasilkan listrik untuk disalurkan ke PLN. Kondensat *steam* yang berfase cair selanjutnya disirkulasi kembali untuk proses pembuatan *steam*. Dikarenakan terdapat sebagian *steam* yang hilang selama sirkulasi, maka ditambahkan *make-up* BFW. Hal ini dilakukan untuk menjamin ketersediaan jumlah *steam* untuk menghasilkan listrik sesuai kapasitas. Secara umum, gabungan kondensat dan *make-up* tersebut akan melalui penyesuaian untuk menghilangkan pengotor dan *dissolved gas* melalui proses deaerator. Unit penyediaan BFW tersebut bertugas untuk menyediakan air sebanyak 2.080 ton/jam.



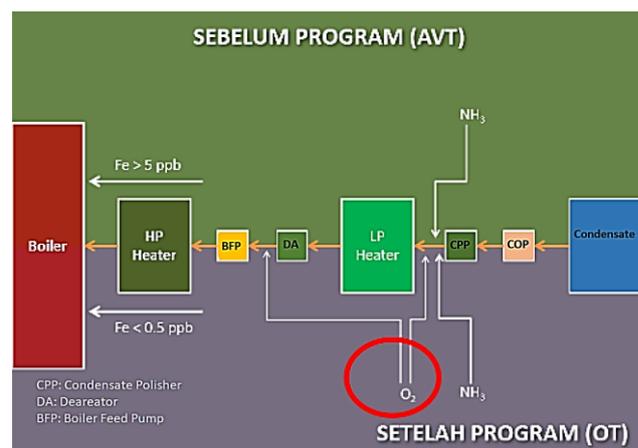
**Gambar 1.** Gambaran umum sistem tertutup penggunaan air untuk produksi listrik

## 2.2 Modifikasi AVT Menjadi OT dan Analisis Data

Sejak berdiri pada tahun 2012, proses pengolahan air untuk BFW dirancang menggunakan teknologi AVT-R untuk menghilangkan *dissolved gas* sebagaimana tersaji pada Gambar 2. Modifikasi AVT-R menjadi AVT-O dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan kimia hidrazin, sehingga gas terlarut yang ada dihilangkan dengan deareasi dan injeksi amonia. Dalam proses AVT-R dan AVT-O, digunakan bahan kimia mudah menguap untuk mengontrol pH pada pengembalian kondensat *steam* dan *make-up* BFW. Dengan kinerja *condensate polisher* (CPP) yang berisi resin *ion exchanger* yang sangat baik sehingga mampu menjaga *cation conductivity* pada level di bawah 0,1 us/cm, selanjutnya dilakukan modifikasi menggunakan *oxygenated treatment* (OT). Modifikasi dilakukan dengan menginjeksikan gas oksigen murni pada dua tempat yaitu arus keluar CPP dan *deaerator* (DA). Gas oksigen dengan kecepatan aliran sebanyak 0,08 – 0,10 Nm<sup>3</sup>/jam digelembungkan pada jalur pipa yang diinginkan. Parameter *cation conductivity* diperlukan pada level yang sangat rendah untuk mencegah oksigen yang diinjeksikan mengoksidasi *passive layer* yang sudah terbentuk.

Beberapa parameter akan dipelajari untuk mengevaluasi dampak perubahan tersebut adalah kinerja pencegahan korosi, pengurangan injeksi amonia, penghematan air dan juga efisiensi energi. Evaluasi dilakukan terhadap data yang diperoleh baik dari *logbook* sistem operasi maupun pengambilan sampel pada titik-titik tertentu yang dibutuhkan. Untuk mengevaluasi proses korosi yang terjadi, dilakukan analisis konsentrasi ion Fe pada produk air yang

dihasilkan dengan menggunakan *atomic absorption spectrometry* (AAS). Analisis pada logam peralatan yang mengalami korosi sangat sulit dilakukan karena berada pada skala industri. Dengan basis bahwa produk korosi akan larut pada fase cair maka analisis konsentrasi ion Fe tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi peristiwa korosi yang ada.



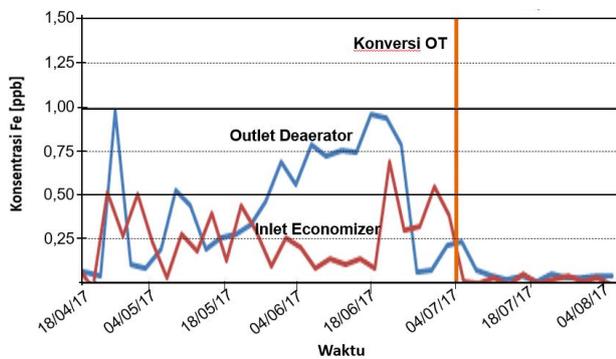
Gambar 2. Perbedaan perlakuan proses pada modifikasi AVT menjadi OT

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Dampak Modifikasi pada Pencegahan Korosi

Peristiwa korosi pada peralatan yang ada akan menyebabkan besi (Fe) yang berfase padat larut menjadi ion Fe sehingga ketebalan peralatan akan berkurang yang pada akhirnya dapat menyebabkan kebocoran. Untuk mengevaluasi dampak modifikasi AVT ke OT terhadap pencegahan korosi dilakukan dengan menganalisis konsentrasi Fe pada arus output *deaerator* dan input *economizer* sebagaimana tersaji pada Gambar 3. Dari Gambar 3 nampak jika konsentrasi Fe pada saat AVT berkisar antara 0,5–1 ppb untuk arus keluar *deaerator* sedangkan untuk *inlet economizer* berkisar

antara 0,3–0,5 ppb. Perubahan cukup drastis setelah konversi menjadi OT yang ditunjukkan dengan level yang stabil sekitar 0,1 ppb pada kedua arus tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa proses pelarutan atau korosi logam Fe yang menghasilkan ion Fe berkurang sebagai dampak dari konversi AVT menjadi OT. Oleh karena itu, proses OT merupakan metode yang efektif untuk mengurangi proses korosi peralatan yang ada terutama terkait korosi yang disebabkan oleh kualitas air pada sistem *feedwater*.



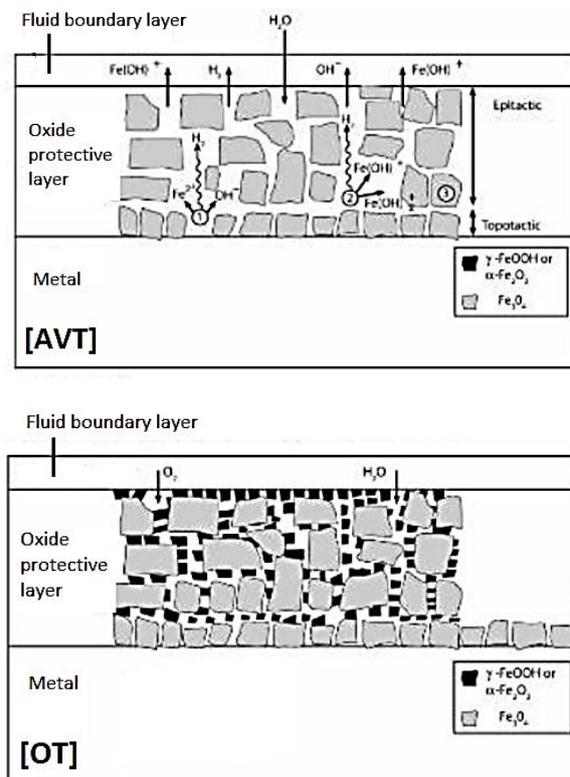
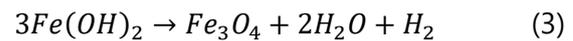
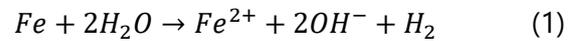
**Gambar 3.** Dampak modifikasi AVT menjadi OT terhadap konsentrasi Fe pada air umpan boiler

Untuk mempelajari lebih dalam terkait adanya pencegahan korosi yang terjadi akibat konversi tersebut maka tinjauan mekanisme dan teoretis tersaji pada Gambar 4.

Peristiwa korosi yang dipicu oleh kualitas air dan suhu tinggi diawali dengan terlarutnya *carbon steel* yang sebagian besar terdiri dari metal Fe, kemudian diikuti dengan terbentuknya *ferrous hydroxide* melalui mekanisme reaksi seperti ditunjukkan oleh reaksi pada Persamaan (1) dan (2).

Reaksi pada Persamaan (1) dan (2) terjadi terus-menerus dan berlangsung baik pada kisaran suhu 150 °C sehingga pencegahan korosi pada sistem boiler mutlak diperlukan. Pada dasarnya, pada sistem AVT sudah terjadi

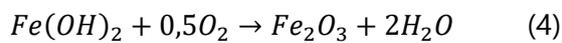
pencegahan korosi melalui pembentukan *passive layer* yang ditunjukkan dengan adanya konversi *ferrous hydroxide* menjadi *magnetite layer* melalui reaksi pada Persamaan (3).



**Gambar 4.** Mekanisme pembentukan *corrosion protective layer* baik pada AVT maupun OT

Berdasarkan *Gibbs free energy*, reaksi Persamaan (3) terjadi pada suhu 200 °C dan berlangsung paling lambat dibandingkan Persamaan (1) dan (2). Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 (a), *protective layer* tidak terlalu banyak terbentuk dan mengakibatkan konsentrasi Fe pada air masih terdeteksi tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada modifikasi OT dilakukan injeksi gas oksigen ke dalam sistem sirkulasi air. Hal ini menyebabkan terbentuknya *passive layer* berupa *hematite layer* sesuai reaksi pada Persamaan (4).

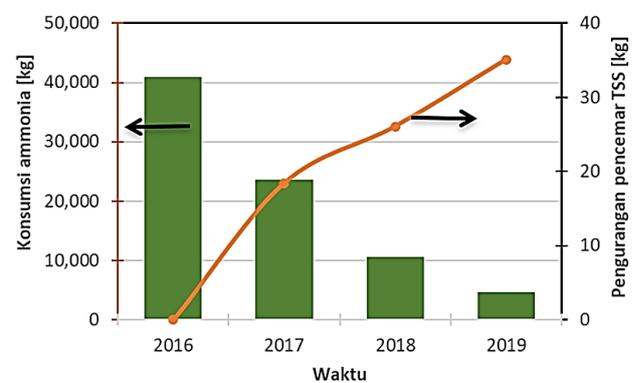


Injeksi oksigen ke dalam sistem mengubah kondisi air menjadi suasana oksidasi sehingga mampu mengubah dan membentuk lapisan baru sebagai pencegahan korosi. Kondisi ini mengubah kelemahan adanya produk korosi pada proses AVT berupa  $Fe(OH)_2$  menjadi sebuah keuntungan karena akan digunakan sebagai reaktan pada pembentukan *passive layer*  $Fe_2O_3$ . Pada saat oksigen diinjeksikan terus-menerus ke dalam sistem dengan konsentrasi tertentu, maka  $Fe^{2+}$  yang tersisa akan terdifusi ke dalam *topotatic layer*  $Fe_3O_4$  dan membentuk  $FeOOH$  dan  $Fe_2O_3$ . Hematite ( $Fe_2O_3$ ) ini menutup pori-pori *magnetite layer* yang dibentuk oleh *treatment* AVT(O) sehingga terbentuk "*double protective layer*" yang lebih padat dan lebih rapat untuk melawan korosi sebagaimana ditunjukkan Gambar 4(b). Hasil dan mekanisme pencegahan korosi di atas sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Jiang dkk. Dengan demikian program OT yang dilakukan dengan menginjeksikan oksigen untuk pembentukan *pasif layer* dalam rangka mengurangi laju korosi dapat menciptakan *double protective layer* yang merupakan kombinasi magnetite ( $Fe_3O_4$ ) dan hematite ( $Fe_2O_3$ ).

### 3.2 Dampak Modifikasi pada Penghematan Sumber Daya dan Pencegahan Limbah

Gambar 5 menunjukkan dampak konversi AVT menjadi OT terhadap penggunaan bahan kimia amonia, terlihat jelas jika penggunaan

amonia menurun drastis sejak dilakukan modifikasi tersebut yang dimulai pada tahun 2017. Pada awal dilakukan konversi tersebut, penggunaan amonia turun sebesar 18.000 kg. Proses optimasi terus dilakukan sehingga pada tahun 2019, penggunaan amonia di sistem pengolahan air PT. CEP hanya sekitar 5000 kg amonia per tahun. Hal ini menyebabkan proses pengolahan air menjadi lebih ramah lingkungan dan menghemat penggunaan sumber daya.

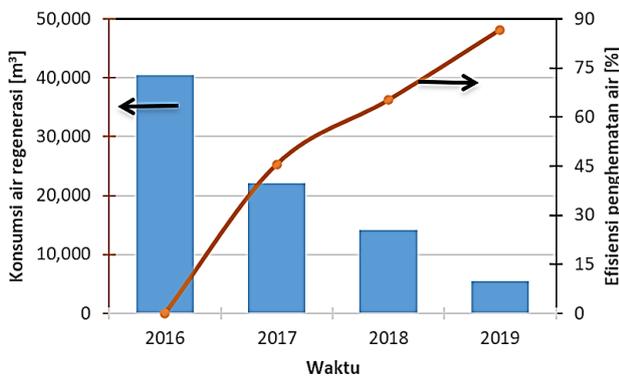


**Gambar 5.** Dampak konversi AVT OT terhadap konsumsi amonia dan air demin

Amonia digunakan sebagai bahan untuk membersihkan pengotor pada sistem pengolahan air dan akan diambil kembali pada CPP melalui *ion exchanger*. Oleh karena itu, pengurangan konsumsi amonia ini juga akan menghemat pemakaian atau regenerasi resin. Dengan berkurangnya frekuensi regenerasi resin mengakibatkan debit limbah cair dari regenerasi air semakin berkurang sehingga beban pencemar air untuk parameter padatan tersuspensi (TSS) menjadi berkurang. Selain itu, sistem OT yang dapat mengurangi regenerasi resin tersebut menyebabkan jumlah resin yang hancur dan rusak serta padatan tersuspensi pada air limbah menjadi berkurang. Dengan berkurangnya konsentrasi TSS dan debit air limbah menyebabkan terjadinya penurunan

beban pencemaran parameter TSS sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Oleh karena itu, program konversi AVT menjadi OT yang dilakukan, berpengaruh signifikan pada sistem pengolahan air menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan.

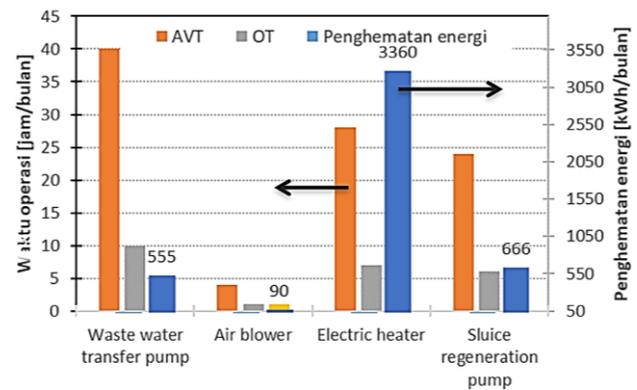
Sistem pengolahan air PT. CEP dilengkapi dengan CPP untuk menjamin kualitas BFW yang bebas dari *dissolved solid* berupa kation dan anion, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2. Secara umum, proses penghilangan anion-kation pada unit ini dijalankan melalui proses *ion exchanger* menggunakan resin yang sesuai. Apabila resin yang digunakan sudah jenuh oleh ion, maka harus dilakukan regenerasi resin. Gambar 6 menunjukkan dampak konversi AVT menjadi OT terhadap konsumsi air regenerasi resin pada unit CPP.



**Gambar 6.** Dampak konversi AVT OT terhadap konsumsi air regenerasi resin

Modifikasi AVT menjadi OT yang dilakukan pada tahun 2017 berkorelasi langsung terhadap konsumsi air regenerasi resin. Dari Gambar 6, nampak pada tahun 2017 terjadi penurunan konsumsi air hampir separuh dari tahun sebelumnya saat masih menggunakan proses AVT. Salah satu sumber kation yang harus dihilangkan pada CPP berasal dari injeksi amonia pada sistem AVT. Adanya konversi AVT menjadi OT berdampak pada

penurunan jumlah injeksi amonia dari 2 ppm menjadi 0,12 ppm pada siklus air. Hal tersebut berdampak secara langsung terhadap penurunan frekuensi regenerasi resin di CPP yang sebelumnya sebanyak 8 menjadi 2 kali dalam sebulan. Penurunan frekuensi regenerasi tersebut berdampak langsung pada berkurangnya konsumsi air yang digunakan untuk proses regenerasi. Proses optimasi pada saat sudah terkonversi menjadi OT terkait dengan jumlah injeksi amonia terus dilakukan sehingga berhasil mengurangi konsumsi air regenerasi pada tahun 2018 dan 2019.



**Gambar 7.** Dampak konversi AVT OT terhadap penghematan energi listrik dari operasi peralatan

Evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa konversi AVT menjadi OT akan menimbulkan dampak pada berbagai penghematan yang terkait dengan sistem pengolahan BFW. Gambar 7 menunjukkan dampak konversi menjadi OT pada waktu operasi dari peralatan yang digunakan pada pengolahan BFW terutama proses regenerasi resin yaitu *water transfer pump*, *air blower*, *regeneration pump* dan *electric heater*. Sebagaimana dinyatakan sebelumnya, frekuensi regenerasi resin berhasil dikurangi sebagai akibat konversi menjadi OT. Hal ini secara langsung berdampak terhadap waktu operasi dari

peralatan regenerasi. Pada sistem AVT, *water transfer pump* beroperasi selama 40 jam/bulan (8 regenerasi per bulan), sedangkan pada sistem OT hanya beroperasi selama 10 jam/bulan (2 kali regenerasi per bulan). Dengan data kapasitas daya listrik dari masing-masing peralatan, pengurangan frekuensi operasional peralatan regenerasi resin menurunkan pemakaian energi listrik sebesar 18.684 kW/tahun atau 200 GJ per tahun dan setara dengan penghematan sebesar Rp 140.130.000,00 dalam setahun.

#### 4. Kesimpulan

Modifikasi AVT menjadi OT dilakukan oleh PT. CEP dengan menginjeksikan gas oksigen dan mengurangi jumlah amonia yang tersirkulasi dalam sistem pengolahan BFW. Hal ini berhasil meningkatkan pencegahan korosi peralatan dan juga penghematan sumber daya. Pada proses OT, pencegahan korosi terlihat lebih stabil dengan terbentuknya *protective layer* berupa  $Fe_2O_3$ , hal ini dikonfirmasi dengan turunnya konsentrasi ion Fe pada air yang terolah. Adanya pengurangan injeksi amonia menyebabkan pengurangan frekuensi regenerasi resin CPP sehingga terjadi penghematan sumber daya berupa kebutuhan air untuk regenerasi, bahan kimia amonia serta penurunan beban pencemaran. Oleh karena itu, modifikasi ini telah membuat proses produksi listrik di PT. CEP lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

#### Daftar Pustaka

Banerjee, S., 2014, Flow accelerated corrosion and its prevention through all volatile treatment oxidizing (AVT (O)) or Oxygenated Treatment (OT) in

- conventional fossil fuel power stations, National Seminar on Thermal Power Plant Performance Management – NSTPPPM.
- Gupta, R. D., Ghai, S., Jain, A., 2011, Energy efficiency improvement strategies for industrial boilers: a case study, *Journal of Engineering and Technology*, 1(1), 52-56.
- Hasan, A., 2008, Efisiensi energi termal sistem boiler di industri, *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*, 4(2), 72-76.
- Jiang, D., Xu, H., Deng, B., Li, M., Xiao, Z. and Zhang, N., 2016, Effect of oxygenated treatment on corrosion of the whole steam-water system in supercritical power plant, *Applied Thermal Engineering*, 93, 1248-1253.
- Mohsen, M.S., 2004, Treatment and reuse of industrial effluents: case study of a thermal power plant, *Desalination*, 167, 75-86.
- Petrova, T.I., Orlov, K.A. and Dooley, R.B., 2016. International water and steam quality standards on thermal power plants at all-volatile treatment, *Thermal Engineering*, 63(12), 896-902.
- Seo, J., Choi, M., He, Y., Yang, S.R., Lee, J.H. and Shin, K., 2015, On-site corrosion behavior of water-treated boiler tube steel. *Applied Microscopy*, 45(3), 177-182.
- Suharti, P.H., Setyowati, Y., Kusumadewi, R. and Yulianto, E., 2013, Comparison of corrosion product of boiler feed water treatment with application of oxidizing-All Volatile Treatment [AVT (O)] and Oxygenated Treatment [OT], *International Scientific Committee*, 66.
- Takada, S.T.M., Gotou, H., Matari, K., Ishihara, N & Kai, R., 2009, Alternatives to hydrazine in water treatment at thermal power plants, *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, 46(2), 43.