

## ANALISIS PROSES KIMIA DALAM SIKLUS UAP AIR DI PLTU PAITON UNIT 1 DAN 2

Amelia Umi Rahmawati<sup>1</sup>, Lika Wikendi<sup>1</sup>, Yanty Maryanty<sup>1</sup>, Novan Kurnia Yusuf<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>PT PLN Nusantara Power, Jl. Raya Surabaya-Situbondo No. Km 141, Area Sawah, Bhinor,  
Probolinggo, Indonesia

amumrah@gmail.com ; [yanty.maryanty@polinema.ac.id]

### ABSTRAK

Energi listrik merupakan pilar utama dalam mendorong perkembangan berbagai sektor kehidupan manusia. PLTU merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang memanfaatkan tenaga kinetik yang berasal dari uap air untuk menghasilkan energi listrik. Pada proses pembuatan uap, air harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu untuk menghindari pembentukan kerak dan korosi pada peralatan yang dapat mengganggu produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter analisis proses kimia pada siklus uap air serta untuk mempelajari cara mengontrol parameter siklus uap air dan bahan bakar. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini meliputi analisis daya hantar listrik (konduktivitas), uji kadar klorida, uji kadar fosfat, serta uji kadar *hydrazine* dengan variabel yaitu jenis air yang dihasilkan dari proses yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa kondisi air selama bulan Januari di PT PLN Nusantara Power relatif aman, pada *condensat water* nilai  $pH > 9,5$ ; *sepesific conductivity*  $> 9$ , serta *cation conductivity*  $< 0,3$  us/cm. Namun, pada air boiler terdapat satu hari dengan kadar silika tinggi (200 ppb), yang memerlukan tindak lanjut perbaikan kualitas air. Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa parameter analisis yang digunakan berguna untuk mengontrol parameter kualitas air di PT PLN Nusantara Power, dari hasil analisis yang didapatkan dapat diketahui informasi mengenai kerusakan alat dan kelayakan air dalam siklus uap air.

**Kata kunci:** air, analisis, listrik, proses kimia, siklus, uap air

### ABSTRACT

Electrical energy is the main pillar in encouraging the development of various sectors of human life. PLTU is a steam power plant that utilizes kinetic energy originating from water vapor to produce electrical energy. In the steam making process, the water must be treated first to avoid the formation of scale dan corrosion on the equipment which can disrupt production. This research aims to determine the analytical parameters of chemical processes in the water vapor dan fuel cycle dan to study how to control the parameters of the water vapor dan fuel cycle. The methodology used in this research includes analysis of electrical conductivity (conductivity), chloride content test, phosphate content test, dan hydrazine content test with variables, namely the type of water produced from different processes. The results show that the water conditions during January at PT PLN Nusantara Power were relatively safe, in condensate water the pH value was  $> 9.5$ ; specific conductivity  $> 9$ , dan cation conductivity  $< 0.3$  us/cm. However, in boiler water there was one day with high silica levels (200 ppb), which required follow-up action to improve water quality. From the research that has been carried out it can be concluded that the analytical parameters used are useful for controlling water quality parameters at PT PLN Nusantara Power, from the analysis results obtained information can be obtained regarding equipment damage dan the suitability of water in the water vapor cycle.

**Keywords:** water, analysis, electricity, chemical processes, cycles, water vapor



## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya permintaan energi listrik di era modern ini mendorong peningkatan jumlah pemasok energi listrik di Indonesia [1]. Selain itu semakin banyak penduduk, maka semakin besar kebutuhan listrik untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti penerangan, pendingin ruangan, dan kebutuhan industri. Di Indonesia, pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menyebabkan kebutuhan energi listrik juga terus meningkat. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat dengan cara yang berkelanjutan termasuk melalui Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan batu bara sebagai sumber utama energi untuk menghasilkan Listrik. Dimana bahan bakar ini diubah menjadi energi panas melalui reaksi antara bahan bakar, udara, dan panas, atau biasa disebut proses pembakaran. Energi panas ini kemudian digunakan untuk memanaskan air yang ada pada pipa boiler sehingga boiler akan menghasilkan uap air yang memiliki tekanan [3]. Uap bertekanan ini akan disalurkan menuju turbin uap yang nantinya akan memutar turbin, karena poros turbin dihubungkan dengan generator maka generator ikut berputar sesuai dengan putaran turbin. Generator nantinya akan mengkonversi energi kinetik yang dihasilkan turbin menjadi energi listrik, yang kemudian disalurkan menuju jalur transmisi dan menuju sumber – sumber beban atau pelanggan energi listrik [4]. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memiliki kapasitas yang besar dan menjadi salah satu sumber daya ekonomi vital untuk mengembangkan teknologi dan pembangunan di Indonesia [5].

Salah satu elemen penting dalam proses pembangkitan listrik adalah air. Peran air sangat krusial dalam operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Air tidak hanya berfungsi sebagai pendingin tetapi juga sebagai medium untuk menghasilkan uap yang diperlukan dalam penggerak turbin generator di PLTU. Dengan demikian, ketersediaan air yang berkualitas menjadi elemen yang penting dalam menjaga kinerja optimal PLTU guna menghasilkan energi listrik dengan efisien yang tinggi [6]. Air yang digunakan pada PLTU yaitu air tawar sebagai air untuk memproduksi uap serta air laut sebagai media pendingin untuk kondensor. Beberapa pembangkit tenaga listrik seperti PLTU terletak di daerah yang berdekatan dengan pantai, sehingga mempermudah akses ke air laut sebagai pendingin kondensor dalam jumlah besar. Saat ini, teknologi memungkinkan penggunaan air laut sebagai media pendingin kondensor untuk efisiensi biaya dan mengurangi penggunaan air tawar yang memiliki keterbatasan jumlahnya [7]. Penggunaan air tawar sebagai air proses belum sepenuhnya menjadikan serangkaian proses berjalan optimal. Parameter air yang kurang sesuai dengan standar juga dapat menimbulkan permasalahan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada alat. Air laut sebagai media pendingin dari kondensor juga sangat berpengaruh terhadap kebersihan dan keamanan alat. Untuk itu pada setiap proses perlu dilakukan analisis air agar air yang digunakan selama proses memenuhi standar.

Beberapa penelitian mengenai analisis air di PLTU sudah pernah dilakukan diantaranya analisis pengendalian air dengan sistem destilasi, demineralisasi, kondensasi, dan instalasi pengolahan air. Dalam operasional PLTU, diperlukan sejumlah besar air tawar sebagai bahan baku utama. Langkah ini diambil karena peralatan PLTU rentan terhadap korosi. Oleh karena itu, air laut yang digunakan dalam siklus PLTU harus menjalani serangkaian tahapan untuk diubah menjadi air tawar sebelum digunakan. Semakin besar

jumlah air tawar yang dimanfaatkan dalam siklus PLTU, maka kapasitas listrik yang dihasilkan oleh PLTU juga akan meningkat secara proporsional[6]. Dari penelitian lain juga menunjukkan bahwa salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kinerja turbin yaitu menurunnya kemampuan peralatan pada PLTU serta alat kondensor yang digunakan untuk mengkondensasikan uap menjadi air kembali selama proses berlangsung [8]. Pada penelitian mengenai analisis sistem suplai air produksi dan air pendingin di PLTU Pulang Pisau menyatakan bahwa untuk menunjang operasi sistem pembangkit dengan baik maka sistem suplai air produksi dan air pendingin harus memadai. Selain untuk pendingin di *cooling tower*, air produksi juga digunakan sebagai kebutuhan domestic sehingga meskipun siklus yang digunakan merupakan siklus tertutup, air yang digunakan untuk memutar turbin harus ditambah secara berkala untuk menambah kualitas air [9].

Pada penelitian ini dilakukan analisis pada *sampling* air dengan menggunakan prosedur yang sesuai pada SOP serta melakukan analisis terhadap permasalahan yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter analisis proses kimia pada siklus uap air dan bahan bakar serta untuk mempelajari cara mengontrol parameter siklus uap air dan bahan bakar. Dari penelitian ini diharapkan dapat diminimalisir terjadinya problem yang berkaitan dengan siklus uap air sehingga dalam pelaksanaan produksi uap untuk sumber energi bagi turbin bisa berjalan secara lebih efisien. Dengan demikian, penting untuk mengkaji lebih lanjut mengenai parameter kualitas air yang digunakan dalam siklus PLTU guna menjaga kinerja optimal dan efisiensi operasional pembangkit listrik [10].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis pada *sampling* air yang dilakukan pada PT PLN Nusantara Power Up Paiton yaitu meliputi uji pH, daya hantar listrik (konduktivitas), uji kadar klorida dan uji kadar fosfat. Pengujian parameter ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari air tersebut sehingga air tetap terjaga sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pengujian ini dilakukan dengan secara langsung dengan menggunakan alat ukur di dalam unit dan laboratorium.

### 2.1. Uji Kadar Klorida

*Sampling* air untuk uji kadar klorida dilakukan dengan mengambil sampel pada Boiler Blow Down (BBD) dan Close Cooling Water (CCW). Sampel kemudian ditambahkan reagen  $Hg(NS)_2$  dan FAS selanjutnya sampel dihomogenkan dan ditunggu selama 12-13 menit sebelum dianalisis.

### 2.2. Uji Kadar Fosfat

Pada uji kadar fosfat, sampel air yang digunakan adalah sampel dari Close Cooling Water (CCW). Sampel ditambahkan 1 tablet reagen Iron TPZ kemudian dilakukan homogenisasi dan ditunggu selama 3 menit.

### 2.3. Uji pH dan Konduktivitas

Pengecekan nilai pH secara manual dengan menggunakan pH meter serta pengecekan secara online dengan membaca pada komputer. pH pada unit memiliki ambang batas diantara 9.0-9.6 sesuai dengan manual book untuk menghambat laju korosi material. Sedangkan pada uji daya hantar listrik (konduktivitas) diukur dengan menggunakan alat konduktivimeter.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Treatment Pengolahan Air

Treatment pengolahan air merupakan langkah awal yang harus dilakukan dalam proses siklus uap air pada PLTU. Proses ini dilakukan untuk memaksimalkan energi kinetik dari uap air untuk menggerakkan turbin [11]. Pada PLTU Paiton dilakukan *external* dan *internal treatment* agar untuk menjaga kualitas air yang mempengaruhi kinerja dari setiap unit dalam PLTU. *External treatment* dan *internal treatment* pada PLTU adalah dua pengolahan air yang digunakan untuk menjamin kualitas air yang digunakan dalam operasional PLTU. *External treatment* air melibatkan proses pengolahan air sebelum memasuki sistem PLTU, sementara *internal treatment* air berkaitan dengan pengolahan air yang dilakukan di dalam sistem PLTU [12]. *Internal Treatment* dilakukan pada beberapa titik yaitu boiler, *condensate water*, *feed water* dan *superheated*, dimana setiap titik memiliki parameter yang berbeda. Boiler dan *feed water* memiliki analisis parameter yang dibutuhkan untuk menjaga kualitas air dalam boiler pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter kualitas air untuk boiler berdasarkan parameter *American Society for Testing (ASTM)*

No	Parameter Kualitas Air	Ambang Batas
1	pH	9,2-9,7
2	Konduktivitas	<20
3	PO <sub>4</sub>	0,3-3 ppm
4	SiO <sub>2</sub>	<150 ppb
5	Cl <sup>-</sup>	<500 ppb

**Tabel 2.** Parameter kualitas air untuk *feed water* berdasarkan parameter ASTM

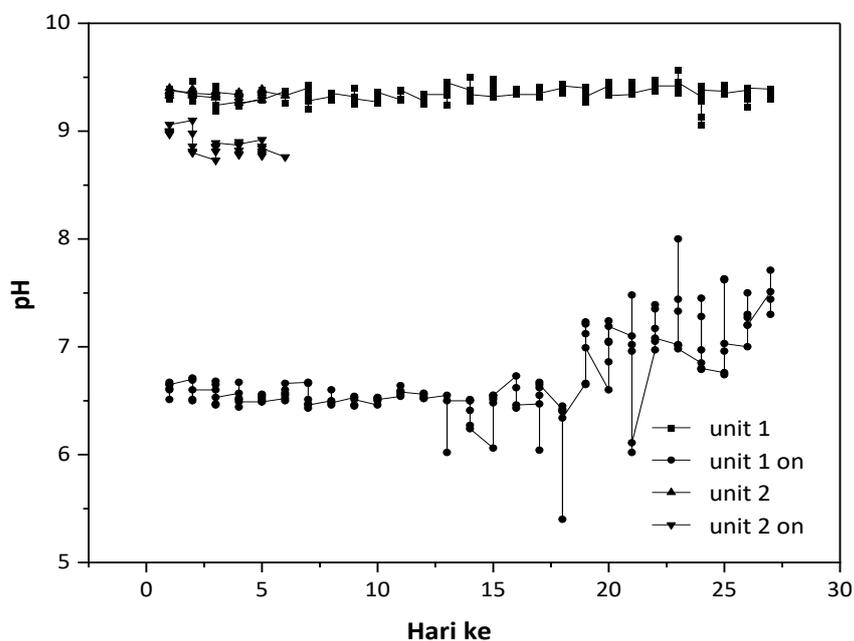
No	Parameter Kualitas Air	Ambang Batas
1	pH	9-9,5
2	Konduktivitas	3-9
3	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	<10 ppb
4	Fe	<10 ppb
5	DO	<5 ppb

Nilai parameter tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk perlakuan air dalam pengolahan internal sistem pembangkit listrik. Hal ini menunjukkan bahwa parameter-parameter air yang diukur memenuhi persyaratan kualitas yang diperlukan untuk menjaga efisiensi dan keamanan operasional pembangkit listrik. Dengan demikian air harus selalu dijaga pada range tersebut. Pada penelitian *International Association for the Properties of Water dan Steam (IAPWS)* mengembangkan standar kualitas air dan uap untuk berbagai peralatan listrik berdasarkan studi teoritis dan pengalaman pengoperasian jangka panjang yang dilakukan [13]. Pada penelitian yang lain pemodelan yang sama dengan sistem PLTU Paiton yaitu dengan menggunakan sistem pembangkit listrik dari sistem sekali pakai menjadi sistem pendingin tertutup karena dengan sistem tersebut

kerentanan pembangkit listrik dapat dikurangi serta lebih tahan terhadap perubahan iklim [14].

### 3.2. Sampling Air

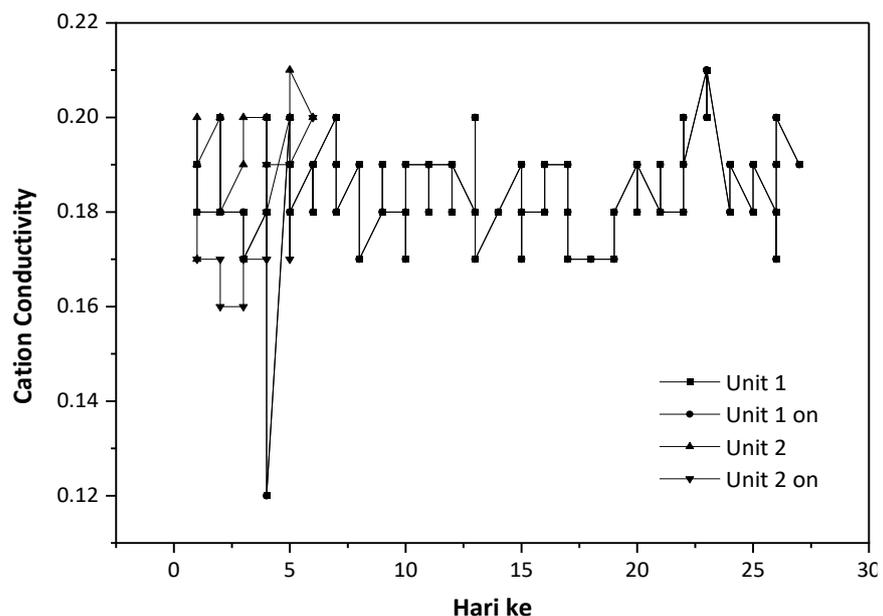
PLTU adalah suatu operasi yang menghasilkan listrik dengan cara memanaskan air dalam boiler menggunakan bahan bakar, menghasilkan uap. Sebelum memasuki boiler, air mengalami pemanasan awal melalui *Economizer Inlet*, bagian integral dari boiler. Sebelumnya, air baku di proses di Water treatment Plant menjadi air demin, bertujuan untuk mengurangi risiko korosi dan *scaling* [15]. Pengolahan air yang bertujuan untuk menurunkan konsentrasi dari beberapa kontaminan hingga memenuhi kebutuhan standar mutu yang telah ditetapkan, untuk mengetahui kualitas dari air maka dilakukan *sampling* air [16]. Pada bulan Januari dilakukan 2023 dilakukan pendataan pada internal treatment, pengecekan dilakukan setiap 4 jam sekali.



**Gambar 1.** Hasil analisis pH pada *condensate water* di PLTU Paiton

Pada grafik pH air kondensat, terlihat bahwa parameter pH menunjukkan nilai yang normal dari awal hingga akhir. Namun, ada beberapa titik waktu, yaitu pada hari ke-23 di unit 1, di mana nilai pH melebihi ambang batas sebesar 9,59 dan mencapai 9,6, melewati batas atas yang telah ditetapkan yaitu 9-9,5. Penyebab pH air di kondensat pada PLTU melebihi ambang batas dapat disebabkan oleh sejumlah faktor, seperti kemungkinan kontaminasi kimia, reaksi dengan material pipa atau peralatan, atau adanya proses kimia yang tidak diinginkan selama produksi uap air. Faktor-faktor ini dapat memengaruhi kesetimbangan pH dan memicu peningkatan pH di dalam kondensat, yang pada gilirannya dapat berpotensi mempengaruhi kinerja sistem dan peralatan di pembangkit listrik tersebut [17]. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pengurangan injeksi amonia pada *Condensate Pump Discharge* (CPD) pada hari ke-23. Amonia digunakan untuk mengontrol pH air kondensat dan feedwater dalam kisaran pH di mana laju korosinya rendah.

Dengan nilai range pH yang hampir sama pada penelitian pengendalian pH siklus uap air pada PT. PJB UP Muara Tawar menunjukkan bahwa pengoperasian injeksi kimia fosfat secara manual berdasarkan rentang pH yang hampir sama dapat mengurangi masalah operasional yang terjadi. Dengan penginjeksian fosfat yang tepat, nilai pH dan konduktivitas air dapat dikendalikan dengan baik. Ini berarti bahwa kontrol manual yang akurat terhadap injeksi fosfat memungkinkan pH dan konduktivitas air tetap berada dalam rentang yang diinginkan, sehingga masalah seperti korosi dan pembentukan kerak pada boiler dapat diminimalkan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi dan keandalan operasi pembangkit listrik tenaga uap.[18].

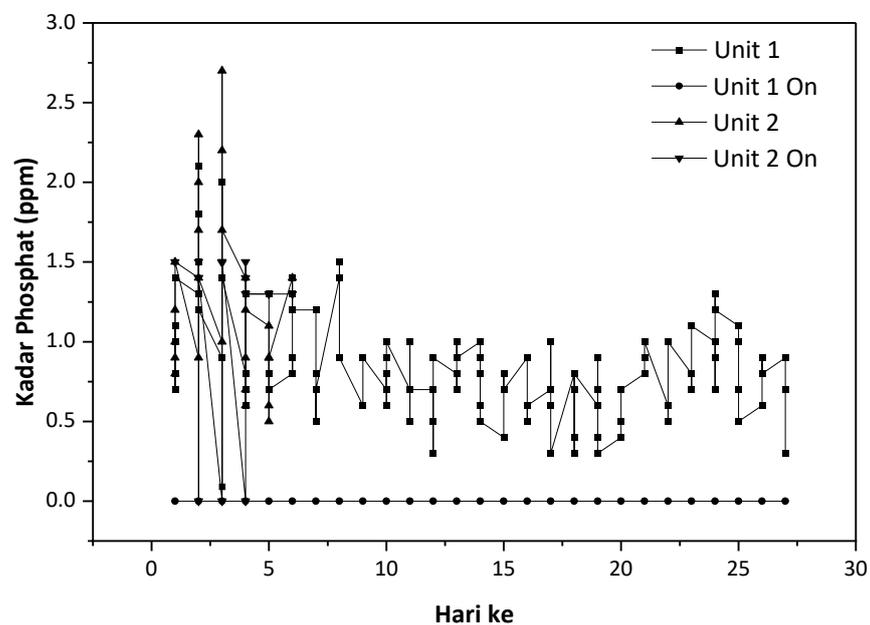


**Gambar 2.** Hasil analisis *cation conductivity* pada *condensate water* di PLTU Paiton

Diatas merupakan grafik *cation conductivity* pada *condensate water*, *cation conductivity* pada *condensate* berdasarkan grafik menunjukkan hasil yang aman yaitu berada di bawah 0.3 us/cm. Namun pada pengukuran secara online pada beberapa waktu mengalami kenaikan secara drastis, hal ini dimungkinkan adanya eror atau kesalahan pada rekam alat online. Ketika terjadi kebocoran pada *condensate*, perubahan yang signifikan dapat terlihat dalam nilai *cation conductivity* pada CEP (*Condensate Extraction Pump*). *Cation Conductivity* ini mencerminkan tingkat konduktivitas listrik dalam larutan, dan pengukuran ini berfungsi untuk memonitor adanya kontaminan dalam air umpan. Jika nilai *Cation conductivity* pada CEP meningkat, dapat dipastikan bahwa kandungan kontaminan dalam air kondensat juga meningkat [5]. Kenaikan nilai *cation conductivity* dapat terjadi karena beberapa penyebab diantaranya adanya kenaikan kontaminasi anion dalam air, produk dekomposisi organik, atau pemberian oksigen dan bahan kimia penghilang amin yang berlebihan. Sementara itu, penurunan dapat disebabkan oleh faktor seperti perawatan yang tepat terhadap resin cation, penggunaan resin berkualitas tinggi, dan aliran sampel yang dikendalikan dengan hati-hati. Oleh karena itu, fluktuasi dalam hasil analisis *Cation Conductivity* perlu dipantau untuk memastikan kualitas air tetap dalam batas yang aman. Peningkatan nilai

*Cation Conductivity* juga berpengaruh terhadap nilai pH karena peningkatan ion positif dapat membuat kondensat menjadi lebih asam (pH lebih rendah). Namun pada grafik di atas nilai *Cation Conductivity* masih berada di range yang aman yaitu  $<0.3$  us/cm.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Yuta dkk menyatakan bahwa penjagaan range nilai konduktivitas sangat penting untuk memastikan kedanaan dan efisiensi peralatan pembangkit listrik tenaga uap, khususnya pada boiler dan turbin. Mempertahankan konduktivitas dalam kisaran ini sangat penting karena tingkat konduktivitas yang tinggi dapat menyebabkan masalah korosi dan kerak, yang dapat membahayakan kinerja dan kedanaan pembangkit listrik tenaga uap secara keseluruhan. Sebaliknya, tingkat konduktivitas yang rendah dapat mengakibatkan pengolahan air yang tidak memadai dan berpotensi menyebabkan kegagalan peralatan [19].

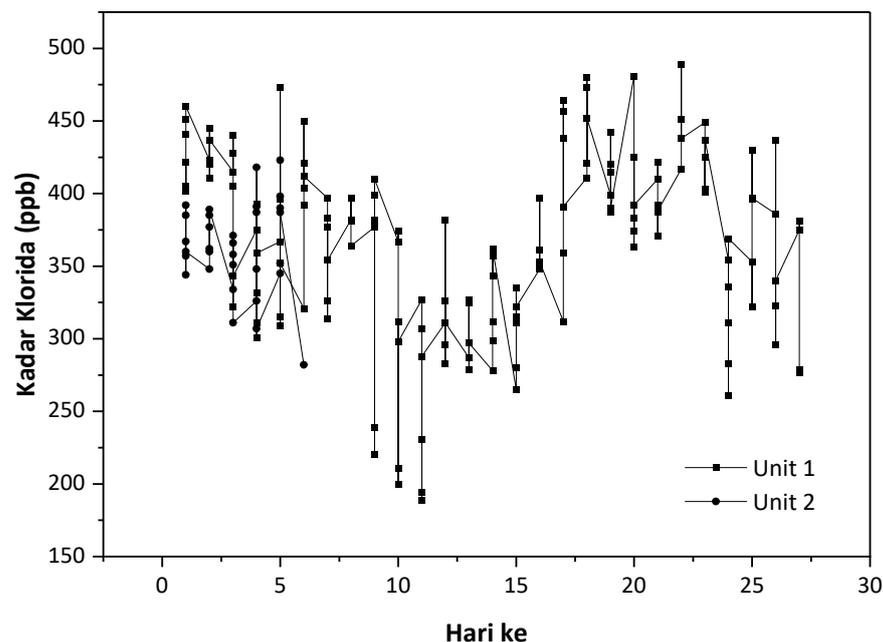


**Gambar 3.** Hasil analisis *phosphate* pada *boiler water* di PLTU Paiton

Gambar 3 merupakan grafik kadar fosfat pada *boiler water*. Fosfat adalah senyawa fosfor yang anionnya mempunyai atom fosfor yang dilengkapi oleh empat atom oksigen yang terletak pada sudut tetrahedral. Fungsi utama dari fosfat dalam aplikasi tekanan tinggi adalah memberikam suatu pertahanan alkalinitas pada air boiler. Adanya kation hidrogen dalam senyawa fosfat akan mempengaruhi sejumlah alkalinitas air boiler dan erat kaitannya dengan pH air boiler. Selama tekanan boiler meningkat, alkalinitas dalam air boiler sangat diupayakan seminimal mungkin hal ini dilakukan untuk mencegah korosi pada boiler. Pada grafik dapat dilihat bahwa kadar fosfat selama bulan Januari berada pada nilai yang aman sesuai dengan standar yaitu  $0,3 - 3$  ppm. Apabila pada boiler water kadar fosfat kurang dari ambang batas maka perlu dilakukan penaikan injeksi TSP sesuai target pH & diatas batas minimal di bdd  $0.3$  ppm, namun jika melebihi maka tindakan yang harus dilakukan adalah menurunkan injeksi bahan kimia TSP [20].

Pada penelitian yang lain dilakukan control otomatis dosis fosfat pada air boiler. Hal ini ditujukan untuk mengatasi masalah pekerjaan manual terutama biaya tinggi serta intensitas tenaga kerja. Penjagaan nilai baku fosfat dalam air sangat penting dalam

proses pembangkitan listrik tenaga uap (PLTU) untuk beberapa alasan kritis. Fosfat membantu mencegah korosi pada pipa dan komponen boiler dengan membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam, yang mengurangi risiko kebocoran dan perawatan mahal. Selain itu, fosfat mengendalikan pembentukan kerak di dalam boiler, mencegah isolasi permukaan pemanas yang dapat mengurangi efisiensi transfer panas dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Pengendalian ini meningkatkan efisiensi operasional keseluruhan PLTU, mengurangi downtime, dan memperpanjang umur peralatan. Kepatuhan terhadap standar industri yang menetapkan batasan konsentrasi fosfat memastikan bahwa operasi PLTU memenuhi persyaratan keselamatan dan kualitas yang diakui secara global [21].



**Gambar 4.** Hasil analisis klorida pada *boiler water* di PLTU Paiton

Kandungan klorida dalam air boiler selama periode 27 hari telah menunjukkan nilai yang memenuhi standar keamanan. Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa tingkat klorida harus tetap terjaga agar tidak menyebabkan kerusakan hidrogen pada pipa boiler, *carry over* ke uap, serta korosi pada pipa superheat dan sudu turbin. Kandungan klorida umumnya cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar mineral. Tingginya kandungan klorida, yang diikuti oleh tingginya kadar kalsium dan magnesium, dapat meningkatkan sifat korosif pada air yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan logam. Oleh karena itu, kadar klorida harus tetap berada di bawah ambang batas yaitu <500 ppb.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan Kerja Praktik di Laboratorium pada PT. PLN Nusantara Power didapatkan kesimpulan bahwa pengelolaan kualitas air dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keandalan operasi. Analisis terhadap berbagai parameter air, seperti pH, konduktivitas kation, kadar fosfat, dan klorida, menunjukkan bahwa fluktuasi nilai-nilai ini dapat memengaruhi kinerja dan keselamatan

peralatan, terutama boiler dan turbin. Pengendalian manual dan otomatis terhadap injeksi bahan kimia, seperti amonia dan fosfat, diperlukan untuk menjaga parameter-parameter tersebut dalam batas aman guna mencegah korosi, pembentukan kerak, dan kerusakan peralatan. Secara keseluruhan, pemantauan dan penyesuaian yang tepat terhadap kualitas air memastikan bahwa operasi PLTU berjalan efisien, aman, dan berkelanjutan.

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil saran bahwa dalam proses pengambilan data secara *online* masih belum akurat sehingga perlu adanya perbaikan sistem kontrol yang lebih baik lagi agar kedepannya hasil dari analisis secara *online* bisa juga digunakan sebagai acuan.

## REFERENSI

- [1] W. Saputra, E. Ahdi, dan H. Sonawan, "Analisis Unjuk Kerja Kondensor Studi Kasus PLTU Sumur Adem Indramayu," 2016.
- [2] I. G. Ramadhan, I. A. T. P. Yunen, D. Syahrani, S. Rosdiana, dan M. R. Al-Ariki, "Pemanfaatan Energi Surya dalam Pembuatan Lampu Sebagai Upaya Meminimalisir Penggunaan Listrik," *Jurnal Graha Pengabdian.*, vol. 4, No. 2, hal. 102, 2022.
- [3] D. A. Maharani, E. Naryono, dan A. Eko, "Perhitungan Efisiensi Pada Boiler di PT. PLTU Tanjung Awar-Awar," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 414–420, 2023.
- [4] M. Berlidanaldo dan T. Hendrix, "Dampak PLTU Terhadap Kondisi Ekonomi, Sosial, dan Kesehatan Masyarakat Dalam Lingkungan Hidup di Kecamatan Jenu," *Jurnal Arsitektur Bangunan dan Lingkungan.*, vol. 11, no. 3, hal. 261, 2022.
- [5] P. D. Sari, D. Y. Tomasila, dan M. Mufid, "Analisis Kebocoran Kondensor pada Siklus Air Uap PT Pembangkit Jawa Bali Ubj O&M PLTU Pacitan Jawa Timur," *DIISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 321–327.
- [6] N. Monawaroh, S. Syamsyiatun, dan A. Ali Fikri, "Sistem Pengolahan Air dan Pengendalian Limbah di PLTU Tanjung Jati-B Desa Tubanan Kembang Jepara," *Jurnal Bakti Saintek*, 2019.
- [7] R. D. Ahmad, D. Ivandana, R. Santoso, dan D. R. Wulan, "Analisis Nilai Transfer Panas dalam *Heat Exchanger* Type 1-1 *Shell* dan *Tube* Aliran *Counter Current* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics*," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 2, hal. 130–136, 2023.
- [8] H. Abbas, J. Jamaluddin, M. Arif, dan A. Amiruddin, "Analisis Pembangkit Tenaga Listrik dengan Tenaga Uap Di PLTU," *Iltek Jurnal Teknologi*, vol. 15, no. 2, hal. 103–106, 2020.
- [9] H. H. Saputra dan R. Siswanto, "Analisis Sistem Suplai Air Produksi dan Air Pendingin untuk Kehadanaln Operasi Di PLTU Pulang Pisau (2x66mw)," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 4, no. 2, hal. 23–36, 2019.
- [10] G. A. M. Ashfania, "Optimisasi Dimensi Kanal Outfall Air Pendingin PLTU dengan Memperhatikan Dampak Lingkungan pada Air Laut," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*
- [11] Y. A. Saputri, K. Sa'diyah, dan E. Yulianto, "Analisis Efisiensi Heater pada Pengolahan Steam Unit 7 Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 54–63, 2023.

- [12] S. Wilastari dan T. N. Hidayat, "Pencegahan Kerak dan Korosi Umpan Ketel Uap di PG Mojo Sragen," *Jurnal Sains Teknologi*, vol. 3, no. 1, hal. 41–47, 2021.
- [13] T. Petrova, K. A. Orlov, dan R. Dooley, "*International Water and Steam Quality Standards on Thermal Power Plants at All-Volatile Treatment*," *Engineering Environmental Science*, 2016.
- [14] H. Koch, S. Vögele, M. Kaltofen, dan U. Grünewald, "*Trends in Water Demand and Water Availability for Power Plants—Scenario Analyses for the German Capital Berlin*," *Environmental Science Engineering*, 2011.
- [15] T. A. Audia, W. Zamrudu, dan E. Yulianto, "Penurunan Kandungan Besi Terlarut di *Economizer Inlet* Menggunakan Kombinasi Pengolahan Air pada PLTU Paiton Unit 3, 7 dan 8," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 334–339, 2023.
- [16] W. Pujiyanto, H. P. Sudarminto, R. Taufiq, "Analisis Kandungan Air Pendingin ( Sirkulasi ) T . 6520 dan T.6530 pada Service Unit III A PT Petrokimia Gresik," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 9, hal. 606–612, 2021.
- [17] R. Tamara, T. A. Barus, dan H. Wahyuni, "Analisis Kualitas Air Danau Lut Tawar Kabupaten Aceh Tengah Aceh," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 7, no. 4, hal. 4159–4167, 2022.
- [18] E. Erlangga, A. Sandra, F. Azharuddin, K. Gunawan, dan T. R. Biyanto, "*Adjustment of Logic Operational of Chemical Injection Pump in Ph Control of Water Steam Cycle To Improve Steam Turbine 5.8 Reliability Of Power Plant PT. PJB Up Muara Tawar*," *Jurnal of Electrical and Electronics Engineering*, 2017.
- [19] Y. Nakatsuchi, A. Hamasaki, H. Kido, dan T. Iwato, "*Novel Identification Method of Seawater Contamination Into Steam-Water Circuit Including Carbon Dioxide of Power Plants Based on Ph, Specific Conductivity, and Cation Conductivity*," *Journal of Chemical Engineering of Japan*, vol. 56, no. 1, hal, 2023.
- [20] D. Aprilia dan H. Hardjono, "Penentuan Efisiensi Boiler dengan Menggunakan Metode Langsung di PT X Lumajang," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 421–426.
- [21] X. Shuku dan L. Power, "*Realization Approach For Automatic Control for Boiler Water Phosphate Dosing For 390mw Gas-Steam Combined Cycle Unit*," *Guangdong Electric Power*, 2013.