

Implement Electrostatic Precipitator Maintenance to Prevent Damage

Mengimplementasikan Perawatan Electrostatic Precipitator Untuk Mencegah Terjadinya Kerusakan

Muhammad Faza Maulidani¹, Arief Wisaksono^{2*}

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
Corresponding Author : ariefwisaksono@umsida.ac.id

Abstract. *Electrostatic machines have an important role in various industries because of their ability to support production processes efficiently. However, the reliability and performance of these machines can be compromised by potential damage due to lack of proper maintenance. This article aims to discuss effective strategies for implementing electrostatic machine maintenance to prevent damage and extend its operational life. Approaches discussed include routine inspections, condition monitoring, regular cleaning, and the use of predictive technology to detect potential problems. Through implementing this strategy, companies can minimize the risk of operational disruptions, increase production efficiency, and reduce unexpected repair costs. Case studies and practical recommendations are also presented to provide deeper insights for practitioners and industry stakeholders.*

Keywords – Machine Maintenance; ESP; Maintenance Strategy; Damage Prevention

Abstrak. Mesin elektrostatis memiliki peran penting dalam berbagai industri karena kemampuannya untuk mendukung proses produksi secara efisien. Namun, keandalan dan performa mesin ini dapat terganggu oleh potensi kerusakan akibat kurangnya perawatan yang tepat. Artikel ini bertujuan untuk membahas strategi efektif dalam mengimplementasikan perawatan mesin elektrostatis guna mencegah kerusakan dan memperpanjang umur operasionalnya. Pendekatan yang dibahas meliputi inspeksi rutin, pemantauan kondisi, pembersihan berkala, dan penggunaan teknologi prediktif untuk mendeteksi potensi masalah. Melalui penerapan strategi ini, perusahaan dapat meminimalkan risiko gangguan operasional, meningkatkan efisiensi produksi, dan mengurangi biaya perbaikan yang tidak terduga. Studi kasus dan rekomendasi praktis juga disajikan untuk memberikan wawasan lebih mendalam bagi para praktisi dan pemangku kepentingan industri.

Kata Kunci – Perawatan Mesin; ESP; Strategi Pemeliharaan; Pencegahan Kerusakan

I. PENDAHULUAN

Mesin electrostatic precipitator memainkan peran krusial dalam berbagai industri, berkat kemampuannya meningkatkan efisiensi proses produksi. Namun, tanpa perawatan yang memadai, keandalan dan kinerja mesin ini dapat menurun, berpotensi menyebabkan kerusakan yang mengganggu operasional. Penerapan strategi perawatan yang efektif menjadi kunci untuk mencegah kerusakan dan memperpanjang umur operasional mesin elektrostatis.

Perawatan mesin yang efektif menjadi kunci dalam mencegah kerusakan dan memperpanjang umur operasional peralatan. Pendekatan seperti Reliability Centered Maintenance (RCM) telah diterapkan untuk merencanakan perawatan yang optimal dengan mengidentifikasi komponen kritis dan menentukan tindakan perawatan yang sesuai. Misalnya, studi oleh Juwandono dan Purnama (2023) menganalisis perawatan mesin produksi menggunakan metode RCM dan Age Replacement untuk menentukan interval penggantian komponen yang optimal[1].

Implementasi strategi perawatan yang tepat, termasuk inspeksi rutin, pemantauan kondisi, pembersihan berkala, dan penggunaan teknologi prediktif, dapat membantu mendeteksi potensi masalah sebelum berkembang menjadi kerusakan serius. Dengan demikian, perusahaan dapat meminimalkan risiko gangguan operasional, meningkatkan efisiensi produksi, dan mengurangi biaya perbaikan yang tidak terduga. Studi kehandalan ESP di PT. Nusantara Power UP Paiton Unit 1&2 menggunakan metode RCM menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam meningkatkan keandalan dan kinerja mesin[2].

Bertambahnya perindustrian dan konsumen rumah tangga yang muncul menyebabkan tuntutan akan kebutuhan listrik yang bertambah. Kebutuhan listrik bagi konsumen industri maupun konsumen rumah tangga setiap hari kebutuhan listriknya tidak tetap. Di Indonesia pembangkit listrik banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga uap sebab di Indonesia masih banyak cadangan batubara yang digunakan untuk bahan bakar. Dalam unit PLTU tentunya memiliki sisa pembuangan dari bahan bakar yang dibutuhkan untuk membuat uap air yang kering. Jika sisa pembuangan tersebut tidak diolah dengan bijaksana akan mengalami pencemaran. Sebab Hasil sisa pembakaran batubara menghasilkan abu terbang (fly ash). Jika Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tidak memiliki

sistem pembuangan sisa pembakaran akan menyebabkan pencemaran udara yang merupakan salah satu yang dikategorikan sebagai pencemaran yang sangat berbahaya (B3) yang memberikan dampak negative pada kesehatan bagi yang menghirup udara tercemar tersebut.

Berdasarkan hasil sisa pembakaran pada PLTU sangat berbahaya bagi pencemaran udara. Maka dari hal tersebut perlu adanya alat yang mampu mengurangi dampak dari pembakaran yang dilakukan oleh PLTU. Alat yang dimaksud adalah Electrostatic Precipitator sebagai pengendali emisi gas yang berbahaya. Electrostatic Precipitator merupakan teknologi penangkap fly ash dengan efisiensi tinggi (mencapai diatas 90%), penurunan tekanan rendah dan berfungsi sebagai penangkap abu sisa pembakaran sebelum diteruskan ke udara bebas. Prinsip utama kerjanya dengan melewati gas buang pada medan listrik untuk menginisiasikan partikel abu pada gas buang sehingga partikel abu tersebut menempel pada plat pengumpul.

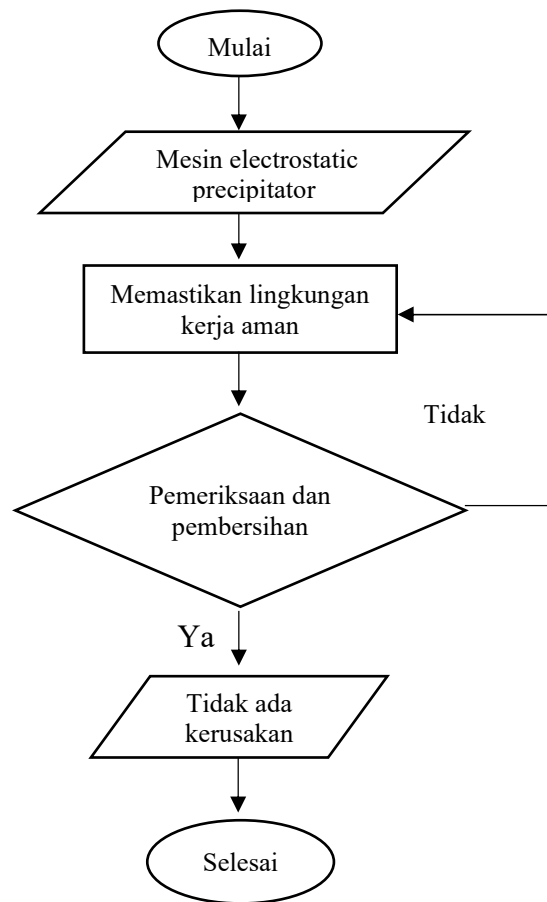
Penggunaan Electrostatic Precipitator diharapkan untuk menangkap fly ash secara maksimal dengan indikator pembuangan gas pada cerobong (stack) idealnya mengeluarkan gas buang yang tidak berwarna atau gas buang putih. Hal tersebut diharapkan di semua PLTU yang menggunakan Electrostatic Precipitator tetapi ada saatnya gas pembuangan pada cerobong (stack) mengeluarkan gas buang yang terlihat atau sampai kehitaman. Untuk kondisi yang terjadi di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton unit 1 dan 2 tidak selalu mengeluarkan gas yang ideal pada cerobong (stack) ada saatnya mengeluarkan gas buang yang terlihat atau sampai kehitaman[3].

Efisiensi dari Electrostatic Precipitator adalah hal yang paling penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Efisiensi dari Electrostatic Precipitator sangat berfungsi untuk mengurangi emisi gas yang berbahaya sebelum menyebar ke udara bebas. Efisiensi Electrostatic Precipitator adalah suatu ukuran atau performa dari electrostatic precipitator. Jika efisiensi semakin besar maka kinerjanya juga akan semakin optimal. Efisiensi Electrostatic Precipitator dimaksudkan untuk mengurangi emisi partikulat dari sisa pembakaran batubara ketika dilepaskan ke atmosfer dan tidak menghasilkan emisi berbahaya bagi lingkungan. Parameter desain yang sering digunakan untuk memperkirakan efisiensi penangkapan fly ash oleh Electrostatic Precipitator adalah kecepatan migrasi partikel dan laju aliran gas. Kecepatan migrasi partikel dipengaruhi oleh kekuatan medan, dan ukuran dari partikel[4].

Artikel ini akan membahas berbagai strategi perawatan mesin elektrostatis yang efektif, didukung oleh studi kasus dan rekomendasi praktis, guna memberikan wawasan mendalam bagi para praktisi dan pemangku kepentingan industri dalam upaya meningkatkan keandalan dan umur operasional mesin.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif untuk mengeksplorasi strategi perawatan mesin elektrostatis guna mencegah kerusakan dan memperpanjang umur operasionalnya. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk memahami secara mendalam pengalaman, pandangan, dan praktik yang diterapkan dalam perawatan mesin elektrostatis di berbagai industri. Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian kali ini adalah metode observasi yang menyangkut beberapa hal yang meliputi situasi dan kondisi di lapangan, penulis juga menggunakan metode wawancara yaitu dengan mengajukan sebuah pertanyaan kepada narasumber untuk mendapatkan suatu jawaban ataupun informasi, serta metode dokumentasi yaitu dengan mengumpulkan sebuah informasi yang berupa dokumentasi atau pengambilan foto menggunakan kamera handphone.



Gambar 1. Flowchart Alur perawatan mesin ESP

Dalam kurun waktu satu bulan ini penulis mengumpulkan data secara nyata apa yang sudah terjadi selama dilapangan yaitu berada di PT. Nusantara Power UP Paiton unit 1 & 2 mempelajari serta meneliti terkait perawatan terhadap mesin ESP.

A. Pembahasan

a. Electrostatic Precipitator

Electrostatic Precipitators (ESP) adalah perangkat kontrol partikel yang menggunakan kekuatan listrik untuk bergerak partikel keluar dari aliran gas yang mengalir dan ke pelat kolektor. Partikel diberi suatu muatan listrik dengan memaksa mereka untuk melewati korona, wilayah di mana aliran gas mengalir. Medan listrik yang memaksa partikel bermuatan ke dinding berasal dari elektroda dipertahankan pada tegangan tinggi di tengah jalur aliran. Setelah partikel dikumpulkan di piring, mereka harus dikeluarkan dari piring tanpa masuk kembali ke dalam aliran gas. Ini biasanya dilakukan dengan mengetuk mereka lepas dari pelat, memungkinkan lapisan partikel yang terkumpul untuk meluncur ke dalam gerbong yang darinya mereka dievakuasi[5].



Gambar 2. Electrostatic Precipitator System PLTU

b. Perawatan Electrostatic Precipitator di PT Nusantara Power UP Paiton Unit 1 Dan 2

Perawatan atau preventive maintenance merupakan pemeliharaan dan perawatan terhadap peralatan unit yang bertujuan untuk memperpanjang kinerja peralatan dari Batasan yang ditentukan. Apabila preventive dilakukan dengan benar maka akan menguntungkan perusahaan dari kecelakaan maupun mencegah adanya kerugian terhadap supply daya listrik kepada konsumen.

Preventive Maintenance merupakan pemeliharaan terhadap komponen atau peralatan yang reguler (rutin) dan terencana. Yang terdiri dari inspeksi yang terjadwal pembersihan, pelumasan atau penggantian komponen yang dilakukan secara rutin berdasarkan WO (Work Order). Pemeliharaan preventif adalah serangkaian tindakan yang direncanakan dan dilakukan secara teratur untuk mencegah kegagalan atau penurunan kinerja mesin, peralatan, atau sistem. Ini mencakup pemeriksaan rutin, perawatan, dan penggantian komponen yang rentan terhadap keausan atau kerusakan sebelum masalah muncul. Metode ini bertujuan untuk memperpanjang umur pakai peralatan, mengurangi downtime, dan menghindari biaya perbaikan yang tak terduga[6]. Langkah-langkahnya meliputi:

1. Identifikasi peralatan yang perlu dipelihara, jadwal perawatan, dan tindakan yang harus dilakukan.
2. Melakukan pemeriksaan visual, pengukuran, atau tes fungsional secara teratur untuk mendeteksi masalah awal.
3. Membersihkan debu, kotoran, atau zat lain yang dapat menyebabkan penurunan kinerja atau kerusakan.
4. Melumasi bagian-bagian yang bergerak untuk mengurangi gesekan dan keausan.
5. Mengganti bagian-bagian yang rentan terhadap keausan atau kerusakan, seperti filter, sabuk, atau bantalan.
6. Memastikan bahwa peralatan terkalibrasi dengan benar untuk mempertahankan akurasi dan kinerja yang optimal.
7. Melakukan perbaikan atau penggantian bagian yang tidak dapat diperbaiki melalui tindakan preventif biasa.
8. Memantau kinerja peralatan secara terus-menerus dan menyesuaikan jadwal perawatan jika diperlukan berdasarkan data yang diperoleh.

Dibagian Electrostatic Precipitator yang perlu dilakukan preventive maintenance adalah sebagai berikut:

1. MCC (Motor Control Center)



Gambar 3.Motor Control Center (MCC)

Preventive maintenance yang biasanya dilakukan dalam motor control center adalah membersihkan body motor control center yang biasanya diselimuti debu dan air yang dapat mengganggu kinerja pada motor control center, lalu mengecek lampu indicator sebagai penanda kerja atau dalam posisi off agar dapat diketahui dengan mudah ketika akan melakukan kegiatan korektif, mereset dan lain sebagainya.

2. Transformator/Rectifier set

Preventive maintenance yang dilakukan pada transformator Rectifier set adalah membersihkan debu dari body transformator / rectifier dengan menyemburkan udara dan dilap dengan majun supaya debu tidak menghambat kinerja transformator / rectifier tersebut dan juga mengecek apakah ada yang kendur baut pada terminal agar tidak ngelong supaya tidak terjadi percikan api. Kemudian tidak lupa mengecek tahanan resistansi pada resistor yang di ukur menggunakan AVO meter, biasanya resistor rusak dan dapat menyebabkan koneksi menuju motor control center terputus oleh karena itu bila terjadi kerusakan pada resistor harus segera diganti dengan yang baru dan tahanan resistansinya harus sama.

3. Motor ERM dan CRM

- Emitting Rapper motor (ERM)

Preventive maintenance yang dilakukan pada motor emitting rapper motor adalah membersihkan debu yang menempel pada body motor dengan mengelap atau menghembuskan angin dengan blower cordless agar motor tetap bersih dan mengurangi dampak kerusakan akibat debu. Pengecekan suhu motor juga dilakukan apabila suhu motor tidak sama dengan yang lain maka dapat dipastikan motor bermasalah. Tidak lupa pengecekan level oil pada gear box, kalau oilnya kurang segera di tambahkan agar kinerja motor tidak berat karena gearbox yang seret.

- Collecting Rapper Motor (CRM)

Preventive maintenance pada motor collecting rapper motor adalah membersihkan debu dari body motor dengan menggunakan majun agar debu tidak mengurangi kinerja motor. Mengecek baut pondasi harus dipastikan kencang agar motor tidak mengalami kerusakan. Mengecek koneksi kabel terminal harus dipastikan kencang agar tidak terjadi percikan api, maka bekerjanya peralatan secara optimal maka harus bersamaan dengan preventive maintenance yang baik dan benar.

Berikut merupakan proses perawatan pada mesin elektrostatic precipitator pada PT Nusantara Power UP Paiton Unit 1 Dan 2:

c. Macam-Macam Komponen elektrostatic precipitator

Bagian-bagian ESP dan Fungsinya:

1. Collecting Electrode (CE)

Adalah Plat vertikal (elemen baja) yang dialiri tegangan dan arus DC yang bermuatan positif, berfungsi untuk menangkap fly ash yang bermuatan negatif (elektron). CE menjadi tempat terkumpulnya abu bermuatan negatif sebelum jatuh ke hopper. Jarak antar CE pada sebuah ESP didesain cukup dekat yakni 400 mm dengan kedua sisi plat (depan belakang) yang sama-sama berfungsi untuk menangkap abu, CE ini dipasang dengan suppot yang berada di atas dan menggantung pada casing bagian atas.

Untuk mendapatkan medan listrik yang seragam pada CE, serta untuk meminimalisir terjadinya loncatan bunga api elektron, maka CE harus dipasang dengan ketelitian yang sangat tinggi.



Gambar 4. Collecting Electrode pada ESP

2. Discharge Electrode (DE)

DE menjadi komponen paling penting di ESP. DE terhubung dengan sumber tegangan DC tinggi hingga berpendar menciptakan korona listrik. DE berfungsi untuk men-charging abu sehingga abu menjadi bermuatan negatif. DE dipasang pada tiap tengah-tengah CE dengan jarak 152-203 mm tergantung jarak antar CE yang digunakan. Untuk mencegah short circuit, pemasangan DE harus dipasang juga insulasi yang memisahkan DE dengan casing dan CE yang bermuatan netral[7].



Gambar 5 Discharge Electrode type Rigid

3. Rapper Hammer

Sistem rapper berfungsi untuk menjatuhkan abu yang terkumpul pada permukaan CE ataupun DE agar jatuh ke hopper. Biasanya motor penggerak rapper terletak di bagian atas ESP, dan dihubungkan ke bagian pemukul dengan sebuah poros yang terinsulasi untuk menghindari short circuit[8].



Gambar 6 Rapper Hammer pada ESP

4. DE Rapper Hammer

Alat penggetar untuk menjatuhkan partikel abu yang menempel pada discharge electrode.



Gambar 7 DE Rapper Hammer

5. Trafo Rectifier (T/R) Set

Alat untuk menaikkan dan mengubah tegangan AC (380 V) menjadi tegangan DC (65 kV) yang berhubungan dengan elektroda (CE dan DE). Sumber energi listrik berasal dari listrik AC bertegangan 480 Volt, yang ditingkatkan menjadi 55.000 sampai 75.000 Volt sebelum diubah menjadi tegangan DC negatif yang akan dihubungkan dengan discharge electrode. Karena secara elektrik ESP merupakan beban kapasitif, maka sumber tegangannya didesain untuk menahan beban kapasitif tersebut. Selain itu, sumber tegangan ini didesain harus tahan terhadap gangguan arus yang terjadi akibat adanya loncatan listrik (sparking) dari abu fly ash[9].



Gambar 8 Trafo Rectifier(T/R) Set

6. ESP Hopper

Tempat untuk menampung material abu hasil penangkapan yang selanjutnya abu yang tertampung tersebut dipindahkan ke fly ash silo dengan menggunakan udara transport yang bertekanan.



Gambar 9 ESP Hopper

Proses penyaringan abu pada electrostatic precipitator yaitu Abu hasil pembakaran yang terbawa oleh gas sisa pembakaran melalui GDP (Gas Duct to Precipitator) dilewatkan pada elemen negatif (Wire Frame) pada EP yang mendapat suplai arus searah dari transformator rectifier, berfungsi untuk mengubah arus listrik AC menjadi DC tegangan tinggi.

Abu akan menempel pada elemen positif sedangkan abu yang tidak tertangkap pada elemen positif dihisap ID Fan dan dibuang melalui chimney (cerobong asap). Abu yang menempel pada elemen positif akan jatuh ke Hopper, disebabkan collecting Plate digetarkan oleh DC Electric Rapper.

Pada hopper, abu batubara akan dipanaskan oleh hopper heater untuk mencegah penggumpalan. Level abu batubara di dalam hopper dimonitor oleh nuclear monitor. Pada hopper terdapat vibrator yang berfungsi mencegah abu batubara tidak menempel pada hopper. Abu dari hopper dihisap ke luar oleh vacuum blowers melalui ash pipe ke fly ash silo. Untuk menjaga temperatur minimum EP, digunakan Blowers Heater yang mengambil udara luar untuk dipanaskan guna dimasukkan ke dalam penthouse.

d. Prinsip Kerja ESP

Prinsip kerja dari ESP (Electrostatic Precipitator) ini yaitu menggerakkan atau mengalirkan gas atau udara yang kotor melalui sebuah medan listrik yang letaknya berada di antara elektroda yang polaritasnya berlawanan. Gas atau udara yang mengandung partikulat seperti debu atau abu ini melewati medan listrik tersebut. Dengan demikian, gas dan udara yang mengandung partikulat debu atau abu ini akan dimuati oleh muatan elektron. Potensial listrik akan mengakibatkan perpindahan partikel debu atau abu yang memiliki muatan elektron tadi ke collecting plate, kemudian partikel debu atau abu yang menempel pada collecting plate akan melepaskan muatan listriknya [10].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Laporan Hasil Perawatan

Dibawah ini merupakan hasil dari laporan perawatan harian untuk komponen mesin Electrostatic Precipitator pada PT.Nusantara Power UP Paiton Unit 1&2

Tabel 1. Hasil laporan perawatan komponen ESP

No	Komponen ESP	Jenis perawatan
1	Heater Hopper dan Vibrating Hopper	-Pengukuran Arus dan Tegangan -Pemeriksaan terminasi
2	Ruang Control	-Cek Fuse -Cek Lokal Motor CE -Cek Lampu Indikator -Pemeriksaan/Pembersihan Panel/Cubicle -Pemeriksaan Terminasi & Perawatan -Cek Terminasi Grounding
3	ERM & CRM	-Running Test -Cek kelainan suara -Cek visual koneksi

Pada **Tabel 1.** Diatas menunjukkan hasil pengujian dari komponen-komponen yang digunakan pada Electrostatic Precipitator, seperti Heater Hopper dan Vibrating Hopper berfungsi mencegah akumulasi debu di hopper dengan cara memanaskan material agar tetap kering dan menggunakan getaran untuk memastikan debu dapat keluar dengan lancar. Ruang Control berperan sebagai pusat pengendalian operasional Electrostatic Precipitator (ESP), mengelola aliran listrik, mengatur sistem, dan memantau status melalui indikator serta panel kontrol. Emitting Rapper Motor bertugas menggoyangkan elektroda pemancar (emitting electrode) untuk melepaskan debu yang menempel agar jatuh ke hopper, sementara Collecting Rapper Motor melakukan fungsi serupa pada elektroda pengumpul (collecting electrode), memastikan debu yang terkumpul dapat dikeluarkan secara efektif. Semua komponen ini bekerja secara sinergis untuk memastikan pengendapan partikel berjalan optimal.

b. Keuntungan Melakukan Perawatan

Berikut ini adalah beberapa keuntungan melakukan perawatan pada ESP:

1. Meningkatkan Kinerja dan Efisiensi.
2. Memperpanjang Umur Operasional Peralatan.
3. Mengurangi Downtime.
4. Menghemat Biaya.
5. Meningkatkan Keamanan.
6. Memenuhi Standar Lingkungan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan laporan yang diunggah, dapat disimpulkan bahwa perawatan pada mesin *Electrostatic Precipitator* (ESP) sangat penting untuk menjaga kinerja optimal, memperpanjang umur operasional, dan mengurangi risiko gangguan sistem. Strategi perawatan seperti inspeksi rutin, pembersihan, dan pemantauan kondisi pada komponen utama seperti *Heater Hopper*, *Ruang Control*, *Emitting Rapper Motor*, dan *Collecting Rapper Motor* telah terbukti efektif dalam mencegah akumulasi debu, menjaga koneksi listrik, dan memastikan semua sistem berjalan sesuai spesifikasi. Selain itu, langkah-langkah preventif ini membantu menghemat biaya

perbaikan, meningkatkan efisiensi produksi, dan mematuhi standar lingkungan, sehingga memberikan manfaat besar bagi keberlanjutan operasional perusahaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kelancaran pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT.Nusantara Power UP Paiton Unit 1&2. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Andik Santoso selaku pembimbing lapangan yang telah dengan sabar membimbing dan memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat.

REFERENSI

- [1] J. T. Juwandono and J. Purnama, "Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Age Replacement," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 3, pp. 483–492, 2023.
- [2] T. U. Syamsuri, S. S. Wibowo, and A. R. Perdana, "Studi Keandalan Electrostatic Precipitator (ESP) di Dept Utility PT Eastermtex menggunakan Reliability Centered Maintenance (RCM)," *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 6, no. 3, pp. 139–144, 2022.
- [3] H. B. Palit, V. Poekoel, L. S. Patras, and J. T. Elektro-ft, "Simulasi Dan Pengontrolan Sistem Pembuangan Abu di PLTU 2 Sulawesi Utara," *Simulasi Dan Pengontrolan Sist. Pembuangan Abu di PLTU 2 Sulawesi Utara*, vol. 6, no. 3, pp. 123–132, 2017.
- [4] M. N. Rofandi and Irwanto, "Sistem Kerja Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Menangkap Abu Hasil Proses Pembakaran di PLTU PT. Dian Swastatika Sentosa Serang Power Plant," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 376–386, 2022.
- [5] A. F. Fathony, "Rancang Bangun Prototype ESP untuk Pengendapan Debu Limbah Industri dengan menggunakan Transformator Flyback," *Sains Data J. Stud. Mat. dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–38, 2023.
- [6] A. R. Wahyudin *et al.*, "Analisis Dan Perawatan Pada Water Treatment Plant (Wtp) Pltu X," *Perwira J. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 86–93, 2024.
- [7] H. Sutrisno and F. Meilasari, "Teknologi Pengolahan Emisi dengan Menggunakan Electrostatic Presipitator (ESP)," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 12, no. 3, p. 616, 2024.
- [8] G. Li, X. Jia, J. Ren, B. Sun, and X. Wang, "Rapping Strategy and Electric Field Characteristics of ESP in a Power Plant," vol. 184, no. Seeie, pp. 205–208, 2019.
- [9] Arif Purnomo Aji, Mohammad Basuki Rahmat, and Purwidi Asri, "Analisis Kerusakan Spiral Wires Pada Electrostatic Precipitator Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *J. 7 Samudra*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [10] A. Sudrajad, M. R. G. Putra, and Sunardi, "Efek panas pada besi dan stainless steel 304 untuk penyaring udara mesin incinerator," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 18, no. 1, pp. 17–23, 2023.