

ANALISIS SISTEM PROTEKSI PRIMARY AIR FAN PADA UNIT 1 DI PLTU PAITON

Dzakky Kaffa Maharani*¹, Ilham Arifin Pahlawan²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Gresik e-mail: *¹dzakkykaffa04@gmail.com

Abstrak

Listrik merupakan energi yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan manusia di berbagai bidang. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berperan krusial dalam memproduksi energi listrik, dengan cara mengubah energi kimia dari batu bara menjadi energi listrik. Tahapan konversi ini melalui tiga tahap: konversi energi kimia menjadi energi panas, energi panas menjadi energi mekanik, dan akhirnya menjadi energi listrik. Penelitian ini berfokus pada PT. PLN NUSANTARA POWER UP PAITON, salah satu PLTU terbesar di Indonesia, yang berlokasi di Probolinggo dengan kapasitas total mencapai 2 x 400 MW. Metode penelitian yang digunakan adalah memanfaatkan studi pustaka sebagai sumber informasi, teknik pengumpulan data melalui observasi dan wawancara di pihak terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Primary Air Fan (PA Fan) memiliki peran penting dalam proses pembakaran di boiler, termasuk pengeringan serbuk batu bara dan pengaturan aliran udara ke pulverizer. Dalam proses kerjanya primary air fan memiliki sistem proteksi untuk melindungi PAF ketika terjadi gangguan, terdapat sembilan proteksi yang dimiliki oleh primary air fan. Selain itu, sistem proteksi yang meliputi berbagai instrumen, seperti sensor thermocouple dan sensor vibrasi, diterapkan untuk menjamin keamanan dan efisiensi operasional PAF, diantaranya yaitu sensor thermocouple, sensor RTD dan sensor vibrasi.

Kata kunci: air fan; analisis; boiler; proteksi

Abstract

Electricity is a very important energy to meet human needs in various fields. Steam Power Plants (PLTU) play a crucial role in producing electrical energy, by converting chemical energy from coal into electrical energy. This conversion stage goes through three stages: conversion of chemical energy into heat energy, heat energy into mechanical energy, and finally into electrical energy. This research focuses on PT. PLN NUSANTARA UP PAITON, one of the largest PLTUs in Indonesia, located in Probolinggo with a total capacity of 2 x 400 MW. The research method used is utilizing literature studies as a source of information, data collection techniques through observation and interviews with related parties. The results of the study show that the Primary Air Fan (PA Fan) has an important role in the combustion process in the boiler, including drying coal powder and regulating air flow to the pulverizer. In its working process, the primary air fan has a protection system to protect the PAF when a disturbance occurs, there are nine protections owned by the primary air fan. In addition, a protection system encompassing various instruments, such as thermocouple sensors and vibration sensors, is implemented to ensure the safety and operational efficiency of the PAF. These include thermocouple sensors, RTD sensors, and vibration sensors.

Keywords: analysis; protection; air fan; boiler

1. PENDAHULUAN

Salah satu energi yang sering kali dimanfaatkan dalam kehidupan manusia modern adalah energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang penting dalam setiap aktivitas manusia baik dalam kegiatan perkantoran, kegiatan Pendidikan, kegiatan industri maupun kehidupan sehari-hari seperti rumah tangga. [1] Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia dalam bahan bakar batubara menjadi energi listrik. Proses konversi energi tersebut berlangsung melalui tiga tahapan pada tahapan Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik. [2] Oleh karena itu, Indonesia mempunyai pembangkit listrik seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) yang merupakan pembangkit listrik yang paling banyak digunakan di Indonesia. Hal ini disebabkan pada jenis pembangkit listrik tersebut memiliki berbagai macam kelebihan yaitu dapat dioperasikan dengan berbagai jenis bahan bakar, dapat dibangun dengan kapasitas yang bervariasi, dapat dioperasikan dengan berbagai pembebanan, dan usia pakainya relatif tahan lama. [3] Unit Pembangkitan paiton memiliki total kapasitas hingga 4700 MW yang dihasilkan oleh 8 unit pembangkit. Unit 1 dan 2 memiliki kapasitas 2 x 400 MW, unit 3 memiliki kapasitas 1 x 800 MW, unit 5 dan 6 memiliki kapasitas 2 x 610 MW, unit 7 dan 8 memiliki kapasitas 2 x 610 MW, dan unit 9 memiliki kapasitas 1 x 660 MW.

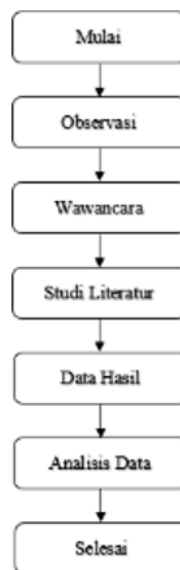
Salah satu komponen utama dalam sistem PLTU adalah Boiler, boiler berfungsi merubah air menjadi uap dengan memanaskan air yang berada dalam pipa-pipa panas hasil pembakaran bahan bakar yang terjadi secara kontinyu. Pembakaran yang dilakukan secara kontinyu mengalirkan bahan bakar dan udara pembakaran dari luar. PLTU biasanya menggunakan jenis boiler pulverizer, dimana bahan bakar yang dialirkan kedalam boiler melalui proses penggilingan halus dan dicampur dengan sebagian udara pengering dan sebagai media transportasi udara yang merupakan udara primer, dihembuskan kedalam ruang bakar. *Pulverizer* merupakan perangkat yang esensial untuk proses penggilingan batubara, menghasilkan butiran halus untuk pembakaran berkualitas tinggi dan membantu dalam menghilangkan kelembaban dari batubara. Proses penyaringan yang dilakukan *pulverizer* juga memastikan bahwa batubara yang dimasukkan ke dalam boiler memiliki kualitas yang optimal. *Pulverizer* mendapatkan pasokan udara dari sistem kerja PA Fan. [4].

Sistem proteksi pada Primary Air Fan dirancang untuk melindungi peralatan dari berbagai kondisi abnormal, seperti kenaikan suhu yang berlebihan, getaran yang tidak normal, serta gangguan mekanis dan elektris lainnya. Sistem ini melibatkan berbagai instrumen proteksi, antara lain sensor suhu (thermocouple dan Resistance Temperature Detector/RTD), sensor getaran, serta sistem kontrol berbasis Distributed Control System (DCS). Apabila terjadi kondisi yang melebihi batas aman, sistem proteksi akan secara otomatis mengaktifkan mekanisme trip untuk menghentikan operasi PA Fan guna mencegah kerusakan yang lebih besar dan menjaga keselamatan sistem pembangkit secara keseluruhan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sistem proteksi Primary Air Fan pada Unit 1 di PLTU Paiton, guna memahami fungsi, cara kerja, serta peranan sistem proteksi dalam menjaga keamanan, keandalan, dan efisiensi operasional pembangkit listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem proteksi Primary Air Fan (PA Fan) pada Unit 1 di PLTU Paiton secara komprehensif. Analisis ini dilakukan untuk memahami peran dan fungsi Primary Air Fan dalam mendukung proses pembakaran pada boiler, serta mengidentifikasi jenis-jenis sistem proteksi yang diterapkan untuk melindungi peralatan dari gangguan mekanis dan elektris. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja instrumen proteksi seperti sensor suhu dan sensor getaran, serta mengevaluasi peranan sistem proteksi dalam menjaga keselamatan, keandalan, dan efisiensi operasional unit pembangkit listrik.

2. METODE PENELITIAN

Peneliti menggunakan metode literatur dengan menelaah standar dan aturan terkait untuk memahami secara mendalam sistem proteksi Primary Air Fan (PA Fan) pada kondisi operasi nyata di lapangan, bukan untuk melakukan perhitungan statistik atau pengujian hipotesis kuantitatif. Penelitian difokuskan pada analisis fungsi, instrumen proteksi, serta mekanisme pengamanan yang diterapkan pada PA Fan Unit 1 di PLTU Paiton.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Flowchart metode penelitian pada gambar 1 menggambarkan alur penelitian yang dilakukan secara terstruktur dari awal hingga akhir. Penelitian diawali dengan tahap mulai, yang menandakan dimulainya seluruh rangkaian kegiatan penelitian, termasuk penentuan objek, tujuan, dan ruang lingkup penelitian. Tahap selanjutnya adalah observasi, yaitu pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi operasional Primary Air Fan dan sistem proteksi yang diterapkan pada Unit 1 di PLTU Paiton. Observasi ini bertujuan untuk memperoleh data faktual yang sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Setelah observasi, dilakukan wawancara dengan pihak-pihak yang berkompeten seperti operator dan teknisi, untuk mendapatkan informasi yang lebih mendalam mengenai sistem kerja, fungsi, serta potensi gangguan pada Primary Air Fan. Data hasil observasi dan wawancara kemudian dilengkapi dengan studi literatur, yaitu pengumpulan referensi dari buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem proteksi dan peralatan pendukungnya. Tahap ini bertujuan untuk memperkuat dasar teori dan menjadi pembanding terhadap data lapangan. Seluruh data yang telah diperoleh kemudian dikumpulkan sebagai data hasil penelitian, yang selanjutnya dianalisis pada tahap analisis data. Analisis dilakukan untuk mengetahui fungsi, cara kerja, dan efektivitas sistem proteksi Primary Air Fan dalam menjaga keamanan dan keandalan operasional pembangkit. Tahap terakhir adalah selesai, yang menandakan bahwa seluruh proses penelitian telah dilaksanakan dan kesimpulan telah diperoleh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *primary air fan*

Pada bagian ini merupakan hasil yang didapatkan dari pengamatan yang dilakukan di PT. PLN NUSANTARA POWER UP PAITON, khususnya dibagian unit 1. Gambar 1 menunjukkan *PA Fan*. *Primary air fan* adalah salah satu *fan* yang terdapat dalam sistem pembakaran pada boiler.



Gambar 2. *Primary Air Fan*

Primary Air Fan seperti pada gambar 2. terletak tidak jauh dari pulverizer dan berfungsi sebagai penghasil udara primer yang disuplai oleh satu kipas sentrifugal berkapasitas penuh 100%. PA Fan yang bekerja pada tekanan rendah mengambil udara dari luar untuk dijadikan sebagai udara primer, lalu PA Fan akan bekerja pada tekanan tinggi untuk menyalurkan serbuk batubara dari pulverizer ke boiler. Sebelum masuk ke boiler, udara primer dinaikkan suhunya oleh primary air heater yang berfungsi sebagai pemanas awal udara primer yang di hasilkan oleh PA Fan sebelum disalurkan pada pulverizer.

3.2. Komponen-komponen Utama pada Primary Air Fan

Primary air fan menggunakan impeller dengan tipe backward incline fan (melengkung ke belakang). Impeller jenis ini memiliki efisiensi yang tinggi dibandingkan dengan jenis impeller dengan sudu lurus dan rotor jenis sudu melengkung ke depan. Impeller ini digerakkan oleh motor yang dipasang seporos dengan impeller sepeerti pada gambar 3.



Gambar 3. *Impeller*

Bearing adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros yang mempunyai beban tinggi, sehingga putaran atau gerakan bolak baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan mempunyai umur yang terbilang cukup panjang. Jika bearing tidak berfungsi dengan baik maka kinerja seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya.



Gambar 4. *Bearing*

Inlet damper adalah komponen pada PA fan yang digunakan untuk mengatur beberapa banyak jumlah udara dan tekanan yang digunakan untuk keperluan udara primer.

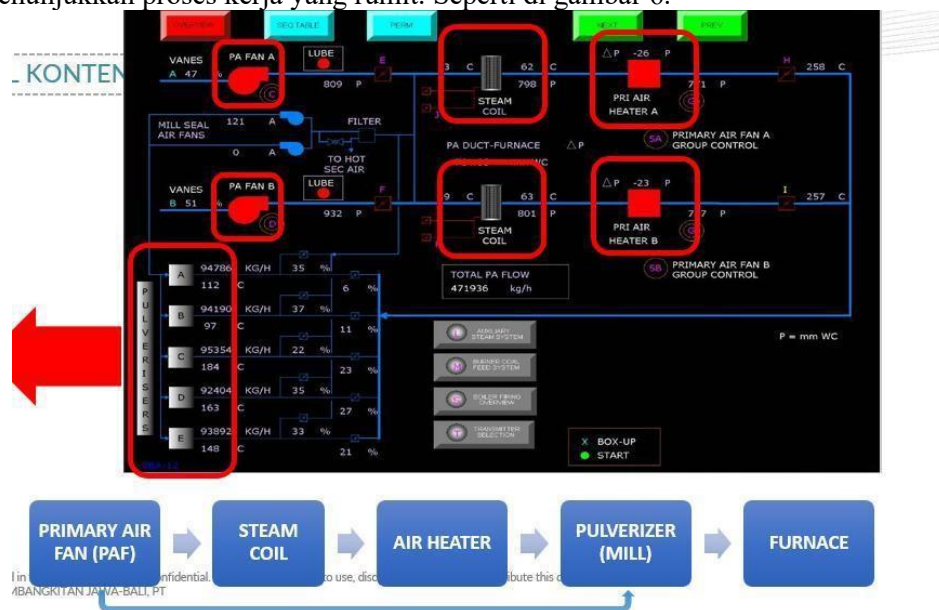
Pada PA fan, casing berguna untuk melindungi komponen yang ada di dalamnya sekaligus sebagai saluran udara. Ada dua buah casing pada PA fan, yaitu maintenance section casing dan house casing. Maintenance removal section casing adalah casing yang dapat dilepaskan dari house casing, ini berguna pada saat ada perbaikan komponen di dalam PA fan. Sedangkan house casing adalah tempat udara setelah melewati impeller fan.



Gambar 5. Casing

3.3. sistem kerja primary air fan

Udara primer yang dihasilkan oleh primary air ini akan dialirkan masuk kedalam pulverizer untuk mendorong atau membawa masuk baru bara kedalam ruang pembakaran atau burner. PA Fan juga berfungsi untuk mengeringkan serbuk-serbuk batu bara sebelum membantu mempercepat proses pembakaran di boiler dengan memastikan serbuk tersebut memiliki kadar kelembaban yang optimal. PA Fan merupakan komponen penting dalam sebuah sistem yang menunjukkan proses kerja yang rumit. Seperti di gambar 6.



Gambar 6. Tampilan HMI PA Fan

HMI (Human Machine Interface) pada sistem Primary Air Fan (PA FAN) berfungsi untuk memantau dan mengontrol aliran udara primer dalam proses pembakaran di pembangkit listrik. Udara segar dialirkan oleh PA FAN A dan PA FAN B, masing-masing dengan posisi vane A = 47% dan vane B = 51%, menuju ke Steam Coil 62 dan Steam Coil 63 untuk pemanasan awal menggunakan uap. Selanjutnya, udara dipanaskan lebih lanjut oleh Primary Air Heater A ($\Delta P = -26$ mmWC) dan Heater B ($\Delta P = -23$ mmWC) sebelum didistribusikan ke enam pulverizer (mill). Aliran udara ke masing-masing aliran udara ke masing-masing mill ditampilkan sebagai berikut: Mill A = 94,786 kg/h, B = 94,190 kg/h, C = 97,000 kg/h, D = 95,354 kg/h, E = 94,922 kg/h, dan F = 93,892 kg/h, dengan total aliran udara primer sebesar 471,936 kg/h. Temperatur udara sebelum masuk furnace ditunjukkan sebagai 258°C untuk Fan A dan 257°C untuk Fan. Melalui antar muka ini, operator dapat memantau dan mengatur distribusi udara secara akurat untuk memastikan pembakaran batubara di furnace berlangsung optimal dan efisien.

3.4. alat-alat yang digunakan dalam sistem proteksi PA Fan

Dalam sistem proteksi PA Fan terdapat alat-alat instrumen yang digunakan. Adapun alat-alat instrumentasi yang digunakan dalam sistem proteksi PA Fan adalah sebagai berikut:

1. Sensor *thermocouple*

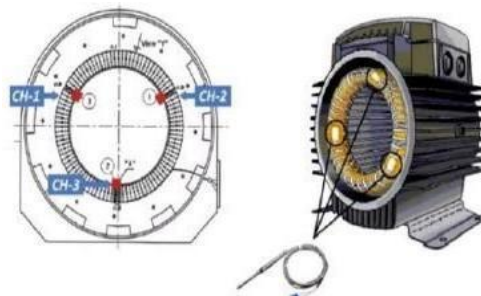
Sensor *thermocouple* merupakan sensor suhu yang mengukur suhu tinggi di berbagai komponen penting dengan memanfaatkan efek termoelektrik untuk mengubah perbedaan suhu menjadi tegangan listrik. Seperti Gambar 7.



Gambar 7. Sensor *thermocouple*

2. Sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)*

Sensor *Resistance Temperature Detector* Resistance merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur besarnya suhu cairan (Temperature pada reaktor) sebagai alat untuk dapat di baca ke controller hingga ke pengaturan akhir. Seperti gambar 8.



Gambar 8. Sensor RTD

3. Sensor Vibrasi

Sensor vibrasi merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur getaran yang terjadi pada suatu mesin atau peralatan. sensor ini berfungsi untuk memantau kondisi kerja kipas agar tetap dalam batas aman. Seperti gambar 9.



Gambar 9. Sensor Vibrasi

3.5. sistem proteksi pada PA fan

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik. Sistem proteksi pada PA Fan sangat penting karena melibatkan pengamanan khusus yang dipasang untuk mengamankan fungsi utama PA Fan dari beberapa gangguan diantaranya adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Tujuan utamanya adalah memastikan operasional PA Fan tetap aman dan efisien serta mengurangi biaya perawatan yang tidak terduga.

Tabel 1. Data *temperature* proteksi PA Fan

Proteksi PAF	Suhu Normal	Batas Suhu Aman
<i>Boiler Trip</i>	-	-
<i>PA Fan Vibration Trip</i>	-	-
PA Fan Winding Temperature	96°C	160°C
PA Fan Winding Temperature	95°C	160°C
PA Fan Winding Temperature	95°C	160°C
PA Fan Motor DE Bearing Temperature	76°C	95°C
PA Fan Motor NDE Bearing Temperature	77°C	95°C
PA Fan DE Bearing Temperature	48°C	82°C
PA Fan NDE Bearing Temperature	48°C	82°C

Di atas merupakan 7 sistem proteksi yang di miliki oleh primery air fan diantaranya yaitu:

1. *Boiler trip*

Boiler trip adalah keadaan dimana kalau PA fan berhenti, maka boiler akan otomatis ikut berhenti supaya tidak terjadi ledakan atau gangguan pembakaran.

2. *PA fan vibration trip*

PA fan vibration trip adalah dimana keadaan getaran kipas terlalu besar, PA fan otomatis dimatikan untuk mencegah kerusakan.

3. *PA fan winding temperature*

PA fan winding temperature adalah dimana keadaan suhu lilitan motor (kumparan listrik) terlalu panas, motor akan berhenti supaya tidak terbakar.

4. PA fan motor DE bearing temperature

PA fan motor DE bearing temperature adalah dimana keadaan bearing (bantalan) motor di sisi DE (Drive End/ujung yang terhubung ke fan) terlalu panas, motor akan berhenti untuk mencegah kerusakan.

5. PA fan motor NDE bearing temperature

PA fan motor NDE bearing temperature adalah dimana keadaan bearing motor di sisi NDE (Non-Drive End/ujung yang tidak terhubung ke fan) terlalu panas, motor akan berhenti.

6. PA fan DE bearing temperature

PA fan DE bearing temperature adalah dimana keadaan bearing kipas (fan) di sisi DE (Drive End/ujung terhubung ke motor) terlalu panas, PA Fan akan dimatikan.

7. PA fan NDE temperature

PA fan NDE temperature adalah dimana keadaan bearing kipas (fan) di sisi NDE (Non-Drive End/ujung lawan dari motor) terlalu panas, PA Fan akan dimatikan.

Kategori	Penyebab Umum
Sensor	Rusak, tidak dikalibrasi, salah pemasangan, kabel putus, gangguan sinyal
Instrumentasi	Transmitter error, wiring problem, power supply drop
Sistem Kontrol	Logic DCS/PLC salah, alarm tidak diteruskan ke trip, relay error
Manusia	Kesalahan konfigurasi, disable proteksi, tidak melakukan maintenance berkala
Lingkungan	Getaran, suhu, kelembaban, debu yang memengaruhi sensor/instrument

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Primary Air Fan (PA Fan)* memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton. Fungsi utama PA Fan adalah untuk mengalirkan udara primer yang digunakan dalam proses pengeringan dan pendorongan serbuk batubara menuju boiler. Udara primer ini tidak hanya berperan dalam mengangkut partikel batubara halus, tetapi juga membantu menjaga kestabilan suhu dan tekanan di dalam sistem pembakaran sehingga proses konversi energi dapat berlangsung secara efisien. Efisiensi kerja PA Fan secara langsung memengaruhi efisiensi pembakaran pada boiler dan berpengaruh pada jumlah energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, keberadaan sistem proteksi pada PA Fan menjadi aspek yang sangat vital dalam menjaga keamanan dan keandalan operasional unit pembangkit.

Sistem proteksi PA Fan terdiri dari berbagai instrumen penting seperti sensor suhu (*thermocouple* dan *Resistance Temperature Detector/RTD*) serta sensor getaran (*vibration sensor*). Sensor-sensor ini berfungsi untuk mendeteksi kondisi abnormal seperti kenaikan suhu berlebih, getaran yang tidak normal, atau gangguan mekanis yang dapat menyebabkan kerusakan pada motor dan bearing. Terdapat sembilan sistem proteksi utama yang diterapkan, di antaranya proteksi terhadap getaran tinggi, suhu lilitan motor (*winding temperature*), serta suhu pada bearing sisi DE (*Drive End*) dan NDE (*Non-Drive End*). Jika salah satu parameter menunjukkan kondisi berbahaya, sistem proteksi secara otomatis akan mengaktifkan mekanisme *trip* untuk menghentikan kerja PA Fan dan mencegah kerusakan yang lebih besar.

Namun demikian, penelitian juga menemukan bahwa efektivitas sistem proteksi ini dapat menurun apabila tidak dilakukan pemeliharaan dan kalibrasi secara rutin. Beberapa penyebab utama gangguan proteksi antara lain adalah rusaknya sensor akibat usia pakai, kesalahan dalam logika sistem kontrol DCS/PLC, gangguan pada jalur kabel, serta faktor manusia seperti kelalaian operator dalam melakukan pengecekan berkala. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu tinggi, kelembaban, dan debu juga berpengaruh terhadap kinerja instrumen proteksi. Oleh karena itu, keberhasilan sistem proteksi PA Fan tidak hanya bergantung pada kualitas teknologi yang digunakan, tetapi juga pada disiplin pemeliharaan, keandalan sistem kontrol, serta kompetensi sumber daya manusia yang mengoperasikannya. Dengan penerapan sistem proteksi yang baik dan pengawasan yang berkelanjutan, PA Fan dapat beroperasi dengan lebih aman, efisien, dan memiliki umur pakai yang lebih panjang sehingga mendukung keandalan pasokan listrik nasional.

5. SARAN

Agar sistem proteksi *Primary Air Fan* dapat berfungsi secara optimal, beberapa saran perlu diperhatikan dan diterapkan oleh pihak pengelola. Pertama, seluruh instrumen proteksi seperti sensor suhu dan sensor getaran perlu dilakukan kalibrasi dan perawatan secara berkala sesuai jadwal pemeliharaan preventif. Kalibrasi yang teratur sangat penting untuk memastikan bahwa setiap sensor memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan dalam mendeteksi perubahan kondisi kerja. Kedua, perlu dilakukan peningkatan sistem pemantauan berbasis *Distributed Control System (DCS)* atau *Programmable Logic Controller (PLC)* agar setiap anomali yang terjadi pada sistem dapat terdeteksi secara cepat dan tepat. Penggunaan teknologi monitoring modern dengan alarm otomatis akan membantu operator untuk mengetahui kondisi abnormal sejak dini dan mencegah kerusakan serius.

Selain itu, pelatihan rutin bagi operator juga perlu dilakukan agar mereka memahami fungsi, cara kerja, dan langkah-langkah penanganan sistem proteksi PA Fan dengan benar. Pengetahuan yang baik tentang sistem ini akan meminimalkan kesalahan manusia (*human error*) yang sering menjadi penyebab utama kegagalan proteksi. Lingkungan kerja di sekitar PA Fan juga harus dijaga agar tetap bersih dari debu, kelembaban, dan getaran berlebih yang dapat mempengaruhi akurasi pembacaan sensor. Setiap hasil pengukuran suhu, getaran, serta catatan *trip* harus didokumentasikan secara sistematis sebagai data historis yang berguna untuk analisis lebih lanjut dan evaluasi kinerja sistem proteksi.

Terakhir, pihak manajemen perlu melakukan audit sistem proteksi secara periodik, minimal setiap enam bulan sekali, guna memastikan bahwa seluruh perangkat masih berfungsi sesuai standar dan tidak terjadi degradasi kinerja. Audit ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem proteksi yang lebih modern dan efisien di masa mendatang. Dengan menerapkan langkah-langkah tersebut, diharapkan sistem proteksi *Primary Air Fan* di PLTU Paiton dapat bekerja dengan maksimal, risiko kerusakan dapat diminimalkan, dan kinerja unit pembangkit listrik dapat terus terjaga dengan baik demi mendukung penyediaan energi listrik yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Auliansyah, M. G., Akbar, A., Pramesti, Y. S., & Mesin, T. (2021). Sistem Instrumentasi Alat Uji Konduktivitas Thermal Logam. *Un PGRI*, 200–205.
- [2] Ardiansyah, Risnita, & Jailani, M. S. (2023). Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif. *Jurnal IHSAN : Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57>
- [3] Komalasari, A., & Saragih, Y. (2024). Sistem Kontrol Temperature Transmitter Pada Reaktor Ap-545 Di Pt. Sintas Kurama Perdana. *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (A.J.I.E.E)*, 6(1), 27–34. <https://doi.org/10.30604/jti.v6i1.161>
- [4] Nooteboom, C. (2024). Palembang. *De Boomstamkano in Indonesië*, 4(2), 14–34. https://doi.org/10.1163/9789004619272_007
- [5] Adlini, M. N., Dinda, A. H., Yulinda, S., Chotimah, O., & Merliyana, S. J. (2022). Metode Penelitian Kualitatif Studi Pustaka. *Edumaspul: Jurnal Pendidikan*, 6(1), 974–980. <https://doi.org/10.33487/edumaspul.v6i1.3394>
- [6] Ramandani, R., & Dwi Cahyono, B. (2022). Proteksi Motor Berbasis Relay Ge Multilin pada Primary Air Fan di PT Indonesia Power. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 512–519. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.861>
- [7] Thullah, A. H., Gaos, Y. S., & Wiradinata, I. (2022). Analisis Eksergi Air Heater Pada PLTU Batu Bara 65 MW Bukit Asam. *Almikanika*, 4(3), 123–128. <https://doi.org/10.32832/almikanika.v4i3.7132>
- [8] Aribowo, W., & Zaymapa, I. N. D. (2019). Sistem Proteksi Motor Berbasis Motor Manajemen Relay GE Multilin SR469 pada Motor Primary Air Fan di PLTU PAITON Unit 7. *INAJEEE Indonesian Journal of Electrical and Eletronics Engineering*, 2(2), 35–42. <https://doi.org/10.26740/inajeee.v2n2.p1-8>
- [9] Gunawan, W., Juniarti, A. D., & Rosihan, D. (2022). Audit Energi Listrik Pada Bangunan Gedung Kampus 1 Universitas Banten Jaya (Studi Kasus Gedung 4 Universitas Banten Jaya). *Jurnal InTent*, 5(2), 50–67.
- [10] Fauziyah, E., & Irwanto, I. (2022). Analisis Sistem Proteksi Generator Menggunakan Over Current Relay Di Pt. Indonesia Power. *D'computare: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 12(2). <https://doi.org/10.30605/dcomputare.v12i2.46>
- [11] 1Alfi Manarulhuda Hanafiah, & Irwanto Irwanto. (2023). Komparasi Konsumsi Energi Listrik Pada Motor Listrik Di HAR Unit 4 PT. Indonesia Power Suralaya. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 2(1), 217–239. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v2i1.1499>
- [12] S, R. M., & Ghofur, A. (2019). Analisis Performa Primary Air Heater (Pah) Pltu Asam Asam Unit I – Kalimantan Selatan. *Jtam Rotary*, 1(2), 173. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v1i2.1747