

Studi penyebab dan penanganan *fail detection* pada *shinkawa vibration sensors unit circulating water pump* di PT. X menggunakan metode *root cause failure analysis*

Zidny Alfian Barik¹, Suka Handaja^{*2}

e-mail: zidnyab21@gmail.com, suka.budi@esdm.go.id

^{1,2}Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu – Blora, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 24 Mei 2023

Direvisi 15 Oktober 2023

Diterbitkan 30 Oktober 2023

Kata kunci:

Circulating Water Pump
Shinkawa Vibration Sensor
Root Cause Failure Analysis

Keywords:

Circulation Water Pump
Shinkawa Vibration Sensor
Root Cause Failure Analysis

ABSTRAK

Circulating Water Pump merupakan salah satu *equipment* penting pada proses operasi di PT X. Oleh karena itu sistem permesinan harus dijaga dan dirawat dengan baik agar selalu dalam kondisi yang prima. Untuk meningkatkan kehandalan, sistem dipasang pendeteksi getaran yang akan membuat sistem menjadi *trip* untuk menghindari dari kerusakan yang fatal dengan memasang *Shinkawa Vibration Sensor* yang akan mendeteksi kerusakan bantalan yang dideteksi dengan adanya getaran berlebih. Prinsip kerja dari *Shinkawa Vibration Sensor* adalah dengan menggunakan *Non-Contact Displacement Transducer* yaitu dengan mengukur gap antara sensor dan bantalan. Pada artikel ini, sistem pendeteksi getaran mengalami *fail detection*, sistem *trip* tetapi semua peralatan dan bantalan dalam kondisi baik. Berdasarkan analisa menggunakan *Root Cause Failure Analysis* disimpulkan penyebabnya adalah adanya getaran akibat petir. Untuk itu dilakukan penanganan dengan setting ulang agar tidak terulang kembali.

ABSTRACT

The Circulating Water Pump is one of the important equipment in the operational process at PT X. Therefore, the machinery system must be maintained properly so that it is always in prime condition. To increase reliability, a vibration detector is installed in the system which will trip the system to avoid fatal damage by installing a Shinkawa Vibration Sensor which will detect bearing damage which is detected by excessive vibration. The working principle of the Shinkawa Vibration Sensor is to use a Non-Contact Displacement Transducer, namely by measuring the gap between the sensor and the bearing. In this article, the vibration detection system experienced failed detection, the system tripped but all equipment and bearings were in good condition. Based on analysis using Root Cause Failure Analysis, it was concluded that the cause was vibrations caused by lightning. For this reason, handling is carried out by resetting so that it does not happen again.

^{*)} Penulis Korespondensi:

Suka Handaja

Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang

Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

Jl. Gajah Mada No. 38, Cepu - Blora, Jawa Tengah, Indonesia.

Email: suka.budi@esdm.go.id

1. PENDAHULUAN

PT X merupakan salah satu industri penyedia energi listrik dengan menggunakan *steam turbine generator*. Untuk mengoperasikan steam turbine generator diperlukan air pendingin untuk mendinginkan *steam generator* melalui *condensor* [1]. Untuk hal tersebut diperlukan pompa sirkulasi untuk air pendingin menggunakan *water circulating pump* (WCP) [2]. Fungsi umum WCP adalah untuk mengalirkan atau memompa air laut sebagai air pendingin yang dikontakkan dengan *condenser* [3]. Keberadaan WCP adalah sangat penting dalam menjaga keberlangsungan proses produksi listrik [4]. Kegagalan dalam sistem WCP akan mengakibatkan kegagalan dalam dalam produksi listrik. Untuk meningkatkan kehandalan WCP dipasang sistem proteksi yang mendeteksi getaran dari *shaft* pompa WCP [5]. Jika *shaft* pompa bergetar terlalu besar mengindikasikan kondisi penurunan kinerja pompa yang berakibat adanya keausan bearing yang pada akhirnya jika tidak segera dilakukan perbaikan maka akan terjadi kerusakan yang fatal. Untuk itu sistem pengamanan dibuat jika terjadi *over vibration* maka sistem dibuat *trip* [6].

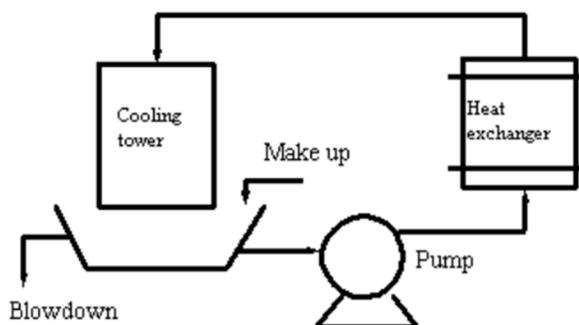
Dalam aplikasi di lapangan, sensor vibrasi memang banyak digunakan sebagai *safety* pada sebuah mesin, seperti pada turbin dan alat yang memiliki pompa dan sistem mekanis yang lain [7]. Beberapa kehandalan sensor vibrasi telah terbukti pada sebuah industri, aspek dan alasan pemilihan sensor ini antara lain memiliki sensitivitas yang baik dan bisa diatur sesuai kebutuhan pada plant tersebut dan ketentuan itu ditentukan oleh sistem mekanis yang dideteksi [8] [9]. Berbagai sifat vibrasi dapat dimonitor untuk mengetahui permasalahan sebuah mesin khususnya pada *Circulation Water Pump Unit* dimana potensi kerusakan bearing mekanikal cukup tinggi maka dari itu dari sisi instrumentasi mencoba berupaya untuk menjaga dan memproteksi kerusakan tersebut dengan melakukan pemasangan *shinkawa vibration sensor* sebagai upaya menjaga dan mengatasi jika ada terjadinya suatu *over high vibration* dengan output *alarm high* pada *control room*, pemantauan dapat dilakukan di *Human Machine Interface* (HMI) atau display *Distributed Control System* (DCS) yang dikelola oleh operator [10]

Pada artikel ini, sistem deteksi vibrasi menggunakan Shinkawa Vibration Sensor yang merupakan *Non-Contact Vibration Transducer*. Sistem mengalami *fail detection* yaitu sistem mendeteksi getaran yang bukan berasal dari kerusakan bantalan mesin tetapi oleh sebab lain akan tetapi memiliki efek yang sama yaitu terjadinya sistem *trip*. Untuk itu dilakukan analisa penyebab terjadinya *fail detection* dengan menggunakan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) [11]. Hasil RCFA dipergunakan untuk melakukan perbaikan sistem *detection* yaitu dengan melakukan *setting* ulang dari sistem yang sudah dibangun.

2. METODE PENELITIAN

A. *Circulating Water Pump* (CWP)

CWP merupakan salah satu komponen dalam aspek pendinginan pada PT. X yang memiliki fungsi sebagai pemompa air laut menuju ke *condensor* (*heat exchanger*). Air yang dipompa memiliki fungsi untuk kondensasi uap dari ekstraksi turbin menjadi air kondensat kembali.



Gambar 1. Skematik rangkaian *circulating water pump* dalam sistem pendingin [2]

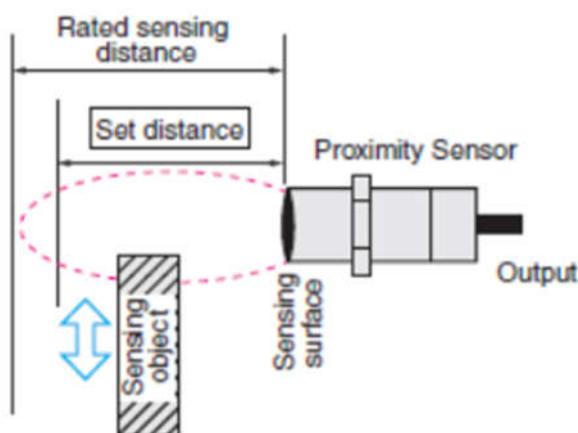
Pada *condensor* terjadi perpindahan panas dimana air dingin menerima panas dari *condensor* sehingga *condensor* menjadi lebih dingin sementara air sirkulasi menjadi lebih panas. Air sirkulasi selanjutnya mengalir ke *cooling tower* dan jatuh serta menjadi dingin oleh adanya udara dan ditampung dalam *cooling tower pond* untuk disirkulasikan kembali.

Jika performa kerja mengalami penurunan, jumlah *live steam* yang bisa dikondensasi akan cair lagi karena mengalami penurunan. mengakibatkan biaya produksinya meningkat dan berdampak pada segi ekonomi unit PT. X dan berakibat efisiensi pada siklus *rankine* semakin menurun. Beberapa hal yang

mengakibatkan performa pompa menurun, yaitu: pemilihan jenis pompa, titik kerja, instalasi, resistansi saluran, kebocoran pada pipa, kavitasi, maintenance kurang baik [12]. Untuk menjaga performa pompa, pada CWP dipasang alat monitor vibrasi, vibrasi yang besar menunjukkan performa pompa yang menurun dan berakibat adanya kerusakan yang fatal.

B. Shinkawa vibration sensors

Shinkawa Vibration Sensor merupakan sensor vibrasi dari jenis *Non-Contact Transduce*, merupakan sensor vibrasi dengan tipe *proximity probe* yaitu pada sensor dipergunakan mendeteksi vibrasi oleh karena kedekatan *shaft bearing* dan sensor yang dibangkitkan secara elektromekanik.



Gambar 2. Prinsip kerja *magnetic proximity sensor* [13]

Cara kerja sensor ini yaitu pada sistem mendeteksi pergerakan *shaft bearing* di CWP, sensor ini menggunakan radiasi medan elektromagnetik. Sensor ini menggunakan *magnetic proximity sensor* dimana sensor tersebut merasakan adanya obyek magnetik atau target sensor dan target tersebut akan memotong medan elektromagnetik sehingga tegangan atau arus output akan mengalami perubahan. Semakin dekat jarak antara sensor dan shaft maka amplitudo vibrasi akan semakin kecil. Jika shaft bergerak tidak seimbang atau bergetar maka jarak antara sensor dan shaft akan bervariasi yang menyebabkan amplitudonya bervariasi membentuk suatu gelombang vibrasi. Selanjutnya sinyal ini akan diproses untuk dijadikan sebagai sinyal instrumentasi 4 – 20 mA dan dibangkitkan sinyal switch pada nilai tertentu yang dapat dipergunakan sebagai sinyal *alarm* maupun sinyal *trip* sistem.

C. Root Cause Failure Analysis (RCFA)

Root Cause Failure Analysis (RCFA) adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab (*root causes*) kegagalan atau masalah dalam suatu sistem, peralatan, atau proses. Tujuannya adalah untuk memahami dan mengatasi masalah atau kegagalan dengan mencari akar penyebabnya, sehingga langkah-langkah perbaikan yang tepat dapat diambil untuk mencegah kejadian serupa di masa depan.

Langkah – langkah umum dalam melakukan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) meliputi mengidentifikasi masalah atau kegagalan yang perlu diatasi dan memastikan masalah terdokumentasi dengan baik. Selanjutnya membentuk tim analisis yang terdiri dari individu yang memiliki pemahaman yang baik tentang sistem atau peralatan yang mengalami kegagalan. Tim harus mencakup orang-orang dengan berbagai latar belakang dan keterampilan yang relevan. Mengumpulkan data dan informasi yang relevan terkait masalah atau kegagalan meliputi data historis, laporan insiden, dokumentasi peralatan, dan pengamatan lapangan. Menganalisa kejadian dari semua faktor yang terkait dengan kejadian tersebut. Mengidentifikasi tindakan yang diambil sebelum, selama, dan setelah kegagalan terjadi. Mengidentifikasi akar penyebab dengan tim analisis yang harus bekerja sama untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan. Ini melibatkan penggunaan metode seperti "5 Whys" atau teknik analisis lainnya untuk menggali lebih dalam dan menentukan penyebab-penyebab mendasar yang menyebabkan kegagalan. Setelah akar penyebab diidentifikasi, prioritaskan mereka berdasarkan dampak dan kemungkinan terjadinya kegagalan. Hal ini membantu dalam menentukan tindakan perbaikan yang paling penting. Mengambil tindakan perbaikan yang sesuai untuk mengatasi akar penyebab kegagalan. Pastikan tindakan ini efektif dalam mencegah kegagalan di masa depan. Melakukan pemantauan sistem atau peralatan setelah tindakan perbaikan diambil untuk memastikan bahwa masalah telah diatasi dan

tidak terulang. RCFA adalah alat penting dalam manajemen kualitas, perbaikan proses, dan analisis insiden di berbagai industri untuk memastikan keandalan dan kinerja yang lebih baik dari sistem, peralatan, dan proses.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Overview over vibration pada CWP*

Pompa CWP pada PT. X telah dipasang sistem monitoring dan proteksi kegagalan yang merupakan bagian dari *safety instrumentation system* (SIS). SIS pada pompa CWP dirancang dengan keandalan yang tinggi sebagai tuntutan standar pengamanan sistem di PT. X. Jika terjadi kondisi *over vibration* maka sistem SIS akan memberikan *alarm* sistem hingga melakukan *trip* atau *shutdown* sehingga produksi akan berhenti dan dilakukan analisa kegagalan untuk dilakukan penanganan sebelum dilakukan *start up* ulang.

Ada beberapa kondisi *alarm* pada sistem SIS di CWP diantaranya adalah *High Alarm* yang merupakan keadaan dimana sebuah sensor vibrasi menghasilkan sinyal *over vibration* yang dipergunakan untuk memberi peringatan kepada operator untuk mengecek sistem dan mengembalikannya ke kondisi *normal operation*. Jika operator gagal mengidentifikasi dan memperbaiki sistem sehingga vibrasinya meningkat terus hingga terjadi kondisi *High-High Alarm*, yaitu kondisi terjadinya *trip* sistem. Nilai setting alarm ditentukan oleh kondisi keamanan yang ditentukan oleh operator, misa sensor vibrasi mampu mendeteksi kondisi vibrasi dari 0 – 100%, maka operator bisa menentukan nilai 80% sebagai kondisi *High Alarm* dan nilai 100% sebagai kondisi *High – high Alarm* dengan harapan rentang 20% yaitu dari 80% ke 100% dapat memberikan waktu bagi operator untuk mengembalikan ke *normal operation*. Selain itu juga terdapat kondisi *Low Alarm* yaitu kondisi sensor vibrasi tidak memberikan output sehingga low signal. Kondisi ini tentunya juga membahayakan karena menunjukkan sistem pengaman tidak bekerja.

Penyebab terjadinya *over* vibrasi pada CWP dapat dikelompokkan menjadi sebagai berikut, diantaranya kondisi *unbalance* yaitu merupakan kondisi tidak meratanya suatu massa *rotor* dan pemasangan sisi poros yang kurang tepat. Pada sisi *rotor* turbin, ketidakseimbangan dapat ditimbulkan dari sudu yang terkikis dari pengikisan cairan. Kondisi *over* vibrasi dapat disebabkan adanya kerusakan bantalan, bantalan adalah suatu bagian dari sisi mesin yang berkontribusi cukup penting disebabkan fungsinya sendiri untuk sebagai tumpuan poros agar poros yang sedang berjalan bisa berputar tanpa adanya gesekan yang berlebihan. *Bearing* atau bantalan juga membantu meminimalisir gesekan antara 2 permukaan agar sistem bisa berjalan. Maka bearing itu harus bisa untuk memungkinkan setiap elemen bekerja dengan bagus. Poros bengkok juga dapat menyebabkan *over vibration*. Poros bengkok merupakan kondisi pada salah satu sistem poros kopling yang terhubung dalam kondisi yang tidak satu garis sumbu. Poros bengkok dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu paralel dan angular, kebanyakan yang terjadi adalah gabungan keduanya.

Selain hal diatas, kondisi lingkungan dapat juga menjadi penyebab terjadinya *over* vibrasi, misal adanya gempa, banjir, suhu lingkungan yang panas, getaran dari suara yang keras seperti petir dan lain-lain. Sinyal *over vibration* juga dapat terjadi jika adanya sinyal interferensi dari peralatan peralatan yang membangkitkan gelombang suara atau juga gelombang elektromagnetik yang dapat mempengaruhi kerja sensor sehingga diterjemahkan sebagai sinyal *over vibration*

Pada artikel ini, terjadi kegagalan sistem, yaitu terjadi kondisi *trip* sistem tanpa melalui kondisi *High Alarm* sehingga operator melakukan analisa untuk menemukan penyebab kegagalan. Kondisi *trip* terjadi sesaat setelah adanya petir, akan tetapi jika peralatan terkena petir tentu peralatan akan rusak terlebih dahulu tetapi pada kenyataannya peralatan masih dalam kondisi baik secara visual.

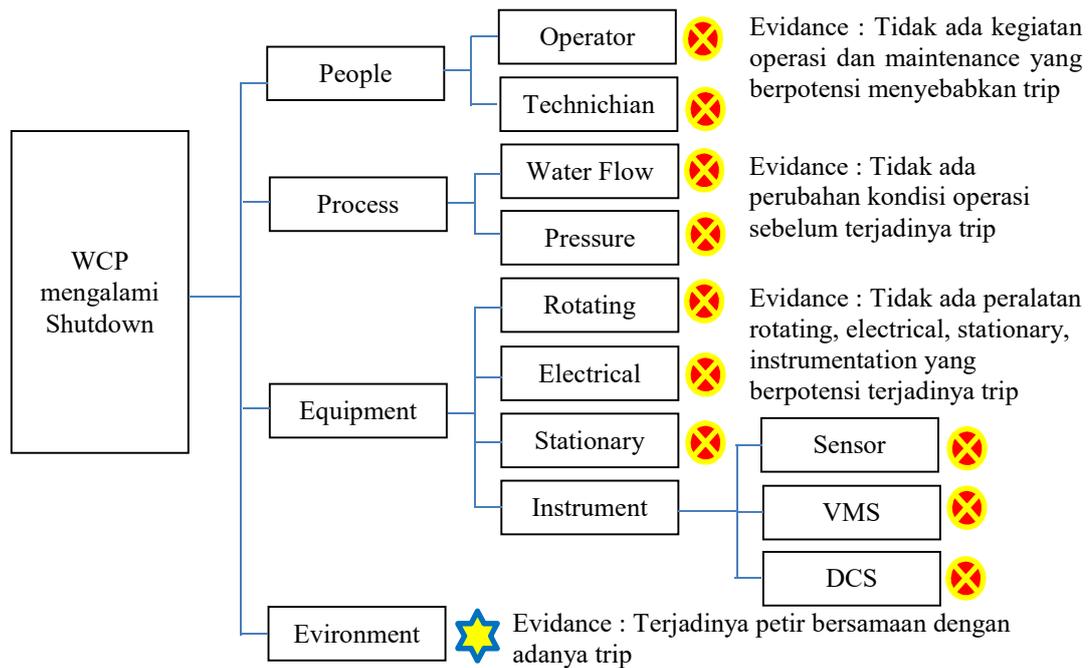
B. *Root Cause Failure Analysis pada CWP*

Untuk menganalisa penyebab kegagalan sistem CWP yang terjadi pada kasus diatas, penulis melakukan analisa dengan pendekatan *root cause failure analysis*, dimana untuk menganalisa tersebut didekati dengan menggunakan *fault tree analysis* [14] yang melihat kegagalan sistem dari 4 (empat) aspek sumber kegagalan yaitu ditinjau dari manusia dalam hal ini operator dan teknisi, proses yaitu proses sirkulasi air, peralatan dan lingkungan.

Dari sisi manusia atau operator dan teknisi, pada saat kejadian operator dalam kondisi *stand by* di control room dan teknisi tidak sedang melakukan kegiatan maintenance, sehingga diyakini bahwa operator dan teknisi bukanlah penyebab dari kegagalan sistem. Dari faktor proses atau proses aliran air sirkulasi, didasari dari hasil rekaman proses, tidak ada perubahan nilai proses baik itu flow aliran maupun tekanannya, sehingga faktor proses juga bukan penyebab terjadinya kegagalan sistem. Sementara dari peralatan, setelah dilakukan pengecekan juga bukan menjadi penyebab kegagalan. Pengecekan peralatan dilakukan dengan melihat secara visual untuk mencari kondisi peralatan apakah dalam kondisi normal, tidak ada bekas terbakar, terbongkar atau bekas adanya perbaikan. Selain itu juga dilakukan pengecekan secara fisik gap antara *stator shaft* dan sensor apakah masih dalam kondisi standar. Selanjutnya juga dilakukan pengujian *wiring* dari *vibration monitoring system* (VMS) ke DCS, hal ini perlu dilakukan karena VMS tersambung dengan DCS untuk dilakukan

monitoring hasil pengukuran vibrasi melalui *control room*. Pengecekan pada bagian VMS juga dilakukan untuk melihat apakah range pengukuran vibrasi baik *low range value* (LRV) maupun *upper range value* (URV) masih seperti setting sebelumnya. Pengecekan ini sangat penting mengingat pada bagian VMS ini yang menerjemahkan hasil pengukuran sensor vibrasi menjadi sinyal pengukuran 4 – 20 mA dan diterjemahkan menjadi nilai vibrasi yang selanjutnya dijadikan sinyal apakah dalam kondisi *normal* atau *alarm*.

Hal yang menjadi kesimpulan penyebab kegagalan sistem adalah kondisi lingkungan, yaitu adanya petir yang menyertai kondisi *trip*, kondisi petir yang dimaksud adalah getaran akibat petir. Saat terjadinya petir disertai adanya getaran yang cukup besar meskipun sesaat yang mengaktifasi sensor langsung di kondisi *high – high alarm*, oleh karena itu sistem langsung *trip* tanpa melalui sinyal alarm. Hal tersebut ditunjukkan dari *data recoding* yang menunjukkan kejadian yang tiba-tiba tanpa adanya *trend* kenaikan atau penurunan yang bersifat *ramp*.



Gambar 3. *Fault Tree Analysis* pada CWP

Dari hasil analisa tersebut diatas, tindakan yang perlu diambil untuk mencegah kejadian berulang adalah memberi *delay* atas adanya kejadian sehingga respon sistem tidak serta merta mengambil aksi sinyal *trip*, tetapi memastikan sinyal *fail* memang berasal dari sistem yang diukur. Dengan memberi *delay* maka saat terdapat sinyal *failure* sistem memastikan untuk beberapa saat, jika sinyal *fail* masih terjadi maka dipastikan bahwa sinyal *fail* benar-benar terjadi dan sistem dapat dilakukan untuk mengirim sinyal *trip*. Sinyal petir terjadi dengan waktu sekitar 0,2 detik atau 200 ms [15], maka untuk menghindari sinyal trip dari petir maka delay yang diusulkan cukup sekitar 300 ms, artinya jika terjadi petir maka sistem akan menerima sinyal fail selama 200 ms dan karena *delay* nya 300 ms maka sinyal sensor selama 300 ms dinyatakan tidak aktif sehingga sistem tidak akan trip. Sebaliknya jika terdapat sinyal fail yang terjadi selama 300 ms atau lebih maka sinyal trip akan diaktifkan sehingga dengan memasang *delay* 300 ms diharapkan sistem tetap bekerja sebagaimana fungsi sistem yang direncanakan.

C. Maintenance Shinkawa Vibration Sensor pada unit CWP

Untuk menjaga unjuk kerja sistem proteksi vibrasi pada CWP, *Shinkawa Vibration Sensor* perlu dilakukan perawatan sehingga sistem akan memberikan kehandalan yang terpelihara. Untuk memastikan sistem masih bekerja sesuai fungsinya maka perlu dilakukan pengecekan pada VMS. VMS merupakan bagian sistem monitoring vibrasi yang memiliki beberapa tombol untuk mengatur dan memonitoring keadaan vibrasi pada unit *local*. Monitoring dilakukan agar mengetahui *process value* pada lapangan sesuai dengan *range* yang ditentukan. Pengaturan range atau *delay* diatur dengan ketentuan operator agar memaksimalkan proses pengukurannya. VMS merupakan *calibrator* khusus yang dimiliki oleh sensor vibrasi, VMS memiliki kelebihan

husus untuk mengatur kapasitas ukur sensor, pengaturan tersebut digunakan saat setelah terjadi *error* pembacaan.

VMS dipergunakan untuk monitoring kondisi mesin yang bergerak dengan prinsip putaran, pemantauannya dengan parameter vibrasi poros, casing, percepatan putaran, bantalan alat tersebut. Pada VMS dapat dipergunakan untuk pengaturan range guna menyesuaikan dengan adanya *over vibration* melalui pengaturan nilai LRV (*Low Range Value*) dan URV (*Upper Range Value*) sesuai kondisi vibrasi yang ingin diproteksi.

Tabel 1. Datasheet Shinkawa FK-202 F *Non Contact Displacemen/Vibration Transducer* [16]

Sensitivity	3.94mV/mm/s (100mV/in/s REF.)pk \pm 5% at 100Hz, 25°C (77°F REF.)		
Max. Velocity	1,270mm/s (50in/s REF.)pk		
Vibration Limit	2,450m/s ² (250g REF.)pk		
Shock Limit	24,500m/s ² (2,500g REF.)pk (non-Intrinsically Safe) 23,520m/s ² (2,400g REF.)pk (Intrinsically Safe)		
Max. Shock Energy	4J (Intrinsically safe)		
Linearity	\pm 1% of F.S.		
Natural Frequency	15kHz		
Frequency Response	2.5 to 3,500Hz \pm 10%, 2 to 7,000Hz \pm 3dB		
Transverse Sensitivity	Max.5%		
Output Impedance	200 Ω (typical)		
Grounding	Case isolated, internally shielded		
Temperature Response	\pm 10% (around the operating temperature range)		
Power Supply	18 to 30VDC, 2 to 10mADC (constant current)		
Operating Temperature Range	-50 to +120°C (-58 to +248°F REF.)		
Range of Temperature at Explosion proofconstruction	EX1,7:	-20 to +60°C (Transducer, Cable)	EX8 : -50 to +120°C (Transducer, Cable)
Relative Humidity	100%RH		
Case Material	Stainless Steel		
Sealing	Hermetic		
Protection Rating	IP67(CV-861 & CW- $\square\square$ F-FF, CV-862)		
Weight	Approx.145g(CV-861) Approx.250g(CV-862(including cable))		
Accessories Supplied	M6 mounting stud		
Output Connector*4	MIL-C-5015 2-pin		
Matching Connector*4	MS3106A-10SL-4S		
Cabling	CV-861: Twisted pair shielded cable CV-862: Coax. cable (integral cabling type)		
Recommended Specifications	Cable	Shielded	AWG No.20 to No.16 gage (0.5mm ² to 1.25mm ²) Twisted pair shielded cable

Akibat dari vibrasi berlebih adalah menyebabkan *trip* unit pada sebuah CWP di pembangkitan dan akan mengakibatkan berbagai macam masalah dalam sistem operasi, oleh karena itu penanganan yang tepat dan tentunya sesuai pedoman *datasheet sensor* perlu dilakukan. Untuk memastikan bahwa sinyal *trigger* yang dapat diprediksi perlu dilakukan pengecekan pada beberapa hal. Pengecekan pada bagian *stator* mesin sangat diperlukan mengingat sensor vibrasi diletakkan pada bagian ini guna memonitor sistem mekanis, jika ditemukan temuan semacam ketidakseimbangan bearing maka pastikan sinyal alarm masuk VMS dan sinyal dikirim ke DCS.

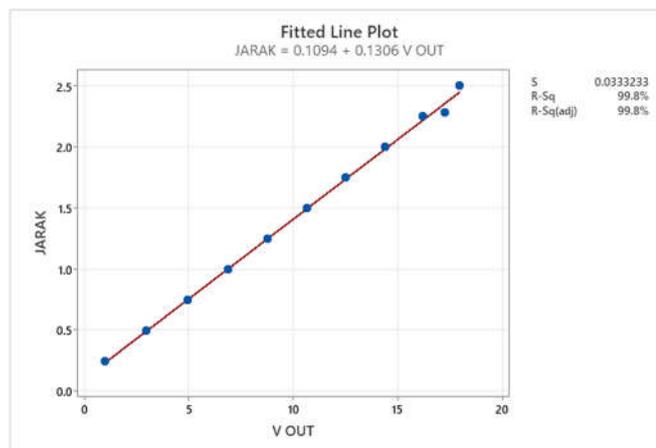
Pengecekan *wiring* perlu dilakukan karena *wiring* merupakan pusat inti dari sebuah sistem, jika *wiring* atau pengkabelan mengalami kerusakan akan menimbulkan transmisi dari penyaluran data CWP Lokal-DCS terganggu oleh karena itu disarankan baiknya rutin melakukan cek *wiring* dari lapangan hingga kontroller.

Pengecekan pada VMS panel sangat disarankan karena VMS merupakan kalibrator inti untuk mengatur LRV-URV atau titik pengukuran terendah hingga tertinggi dalam *Shinkawa Vibration Sensors* dan oleh karena itu kemungkinan besar sensor perlu dikalibrasi ulang dan dilakukan analisis kestabilan dengan berbagai macam metode untuk mencapai titik linear sensor tersebut.

Pengujian sensitivitas atau kepekaan pada sebuah sensor adalah sangat penting dimana jika sensitivitas sensor terlalu peka, bukan tidak mungkin sensor mengalami salah pembacaan. Pengujian sensitivitas sensor meliputi beberapa uji yaitu uji gap dan tegangan output sensor. Uji gap dan tegangan output sensor dilakukan dengan memvariasi gap sensor dan mengukur tegangan untuk beberapa titik gap sensor. Selanjutnya dilakukan uji regresi antara gap dan tegangan pada sensor guna mengetahui linearitas gap dan sensor serta mendapatkan persamaan hubungan gap dan tegangan sensor untuk dinyatakan hubungan sensitivitasnya. Berikut ini adalah beberapa pengujian gap dan tegangan pada sensor.

Tabel 2 Hasil Uji Sensor

GAP (Jarak)	V Out
0.25	1
0.5	2.98
0.75	4.96
1	6.89
1.25	8.79
1.5	10.66
1.75	12.5
2	14.37
2.25	16.2
2.5	17.94
2.28	17.24



Gambar 4. Grafik liniaritas sensor

Pada data hasil pengujian regresi linear diatas menunjukkan beberapa fakta hubungan sensor dengan pernyataan dalam grafik *fitted line spot* terlihat bahwa terdapat garis regresi yang ditarisir untuk memodelkan regresi linear dan pada worksheet dilihat hasil taksir permodelan regresinya adalah: $JARAK = 0.1094 + 0.1306 V OUT$. Lalu pada deviasi standarnya serta koefisien determinasi sebesar masing-masing 99.83% dan 99.81%. Dari hasil pengukuran sensor, sensor masih memiliki linearitas yang baik, terdapat sebuah data yang berada pada nilai diluar garis linearitas yang secara statistik dapat diabaikan atau dihilangkan.

4. KESIMPULAN

CWP merupakan salah satu unit penyedia air sirkulasi untuk sistem pendingan pada unit penyedia energi di PT. X yang mengalami *fail detection* dan sistem mengalami *trip* sistem saat terjadi petir. Berdasarkan analisa menggunakan *Root Cause Failure Analysis* dan menggunakan *Fault Tree Analysis* disimpulkan bahwa penyebab terjadinya *trip* sistem adalah adanya petir yang menimbulkan getaran dan dideteksi oleh sensor vibrasi dengan kriteria *high-high alarm*. Untuk meningkatkan kehandalan sistem diusulkan untuk memberikan *time delay* jika terdapat *over vibration* untuk memastikan over vibrasi benar terjadi, bukan karena fail detection. Dari hasil pengujian dan pengecekan menunjukkan bahwa sistem instrumentasi masih dalam kondisi baik dan sensor memerikan nilai sesuai dengan spesifikasi dan memiliki linieritas yang baik pula.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. K. Caturwati, Y. Yusuf, R. Rosyadi e M. I. A. F. Al Faiz, "Performance of Gas Turbine Cooling System (Radiator) at PLTGU XYZ against Environmental Air Temperature," *Jurnal Rekayasa Energi Manufaktur*, vol. 5, n° 1, pp. 15 - 21, e-ISSN 25283723, 2020.
- [2] J. E. Hartanto e M. Tamjidillah, "Analisa Pengoperasian 1 CWP dan 2 CWP Pada Cooling Water System PLTU Asam Asam Unit 4," *SJME Kinematika*, vol. 4, n° 2, pp. 37 - 52, 2019.
- [3] P. Yuliyarty e Fachrurrozi, "Pemeliharaan Circulating Water Pumps Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Blok 1 PT. Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Muara Karang," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 3, n° 2, pp. 102 - 109, 2015.
- [4] S. Nugroho, A. Hamid, G. D. Haryadi e Khaeroman, "Failure Analysis of Shaft Circulating Water Pump (CWP) used in Power Plant," em *MATEC Web of Conference, IJAEC & ISAMPE*, DOI: 10.1051/mateconf/201815902027, Semarang, 2018.
- [5] P. Busono e S. Pujiarta, "Analisis Penyebab Terjadinya Vibrasi pompa Sistem Pendingin Sekunder PA-02 AP001," *Bulletin of Nuclear Reactor Management*, vol. XVIII, n° 1, pp. 40 - 50, 2021.
- [6] F. R. Adi e Suwarmin, "Identifikasi Keausan Bantalan Tirus (Tapered Bearing) Berbasis Analisis Vibrasi dengan Metode Support Vector Machine (SVM)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, n° 2, pp. 2337-3520, 2017.
- [7] P. A. S. G. Adnyana, R. S. Hartati e . I. G. D. Arjana, "Rancang Bangun Data Logger Monitoring Vibrasi Pada Motor Listrik 6,3 KV Berbasis IOT Secara Real Time di PLTU Jeranjang," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9, n° 1, pp. 121 - 129, 2022.

- [8] D. Goyal e B. Pabla, “The Vibration Monitoring Methods and Signal Processing Techniques for Structural Health Monitoring: A Review,” *Arch Computat Methods Eng* 23, 585–594 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11831-015-9145-0>, vol. 23, pp. 585–594, <https://doi.org/10.1007/s11831-015-9145-0>, 2016.
- [9] M. H. M. Ghazali e W. Rahiman, “Vibration Analysis for Machine Monitoring and Diagnosis: A Systematic Review,” *Shock and Vibration*, vol. 2021, pp. 1 -25, <https://doi.org/10.1155/2021/9469318>, 2021.
- [10] M. Tiboni, C. Remino, R. Bussola e C. Amici, “A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotating Machinery,” *Applied Sciences*, vol. 12, n° 972, p. DOI: 10.3390/app12030972, 2022.
- [11] R. J. Shipley, B. A. Miller e R. J. Parrington, “Introduction to Failure Analysis and Prevention,” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 22, pp. 9 - 41, <https://doi.org/10.1007/s11668-021-01324-2>, 2022.
- [12] R. Subagyo e B. R. Hendratno, “Analisa Performance Pompa Sentrifugal di Unit 2 PT. Pupuk Kalimantan Timur,” *ELEMEN (Jurnal Teknik Mesin)*, vol. 8, n° 1, pp. 30 - 38, 2021.
- [13] Omron , “Proximity Sensor,” Omron Industrial Automation, 10 October 2023. [Online]. Available: https://www.ia.omron.com/support/guide/41/explanation_of_terms.html. [Acesso em 10 October 2023].
- [14] M. Yazdi, J. Mohammadpour, H. Li, H.-Z. Huang, E. Zarei, R. G. Pirbalouti e S. Adumene, “Fault tree analysis improvements: A bibliometric analysis and literature review,” *Quality and Reliability Engineering*, p. DOI: 10.1002/qre.3271, 2023.
- [15] J. Bodhika, W. G. D. Dharmaratna, M. Fernando e V. Cooray, “A preliminary study on characteristics of thunder pulses of lightning,” em *International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Shanghai, China, 2014.
- [16] Shinkawa, “FK-202F Non-Contact Displacement/Vibration Trnsducer,” Shinkawa Sensor Technology Inc., Japan, 2011.