

Kinerja Sistem Monitoring Suhu Dan Getaran Pada Turbin Uap Berbasis HMI-PLC

Temperature and Vibration Monitoring System Performance of Steam Turbine based on HMI-PLC

Yohana Eunike Stefi Situmorang¹, Yayak Dwi Handoyo¹, Murie Dwiyaniti^{1,2},
Imam Halimi³

^{1,2}Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,
Jl Prof. DR G.A Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425, Indonesia

³ Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,
Jl Prof. DR G.A Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425, Indonesia

murie.dwiyaniti@elektro.pnj.ac.id

ABSTRAK

Pengukuran suhu dan getaran pada turbin uap sangat penting karena variabel tersebut menentukan *lifetime* turbin uap. Jika suhu dan getaran diluar batas aman, turbin uap akan mengalami kerusakan seperti terbakar dan komponen rusak/retak. Hal ini akan membahayakan mesin, manusia, dan lingkungan sekitar. Untuk itu, diperlukan sistem kontrol dan monitoring suhu dan getaran pada turbin uap berbasis PLC dan HMI dengan integrasi sensor. Data pengukuran suhu dan getaran dapat dilihat pada layar HMI dan di *update* secara *realtime* setiap detik. Dengan adanya sistem ini diharapkan kinerja dan keselamatan turbin meningkat dan efisien dalam kontrol dan monitoring suhu dan getaran pada turbin uap. Hasil dari sistem kontrol dan monitoring suhu dan getaran dapat berfungsi dengan baik. Hal ini ditandai dengan nilai suhu turbin normal sekitar 100 dan nilai getaran normal sekitar 1,1 mm/s.

Kata kunci: *Sistem Monitoring, PLC, HMI, suhu, getaran*

ABSTRACT

Measurement of temperature and vibration in a steam turbine is very important because these variables determine the lifetime of the steam turbine. If the temperature and vibration are outside safe limits, the steam turbine will suffer damage such as burning and broken/cracked components. This will harm the surrounding environment. For this reason, a temperature and vibration control and monitoring system is needed on a PLC and HMI-based steam turbine with sensor integration. Temperature and vibration measurement data can be seen on the HMI layer and updated in real time every second. With this system, it is hoped that the performance and safety of the turbine will increase and be efficient in controlling and monitoring temperature and vibration in the steam turbine. The results of the temperature and vibration control and monitoring system can function properly. This is characterized by a normal turbine temperature value of around 100 and a normal vibration value of around 1.1 mm/s.

Keywords: *Monitoring system, PLC, HMI, Temp, vibration*

1. PENDAHULUAN

Turbin uap merupakan mesin yang dirancang untuk mengubah energi panas dari uap menjadi energi mekanik berupa putaran pada poros turbin. Mesin ini merupakan salah satu jenis mesin yang memiliki tingkat kritis yang tinggi. Ketika turbin mengalami gangguan atau kerusakan akan mengakibatkan kerugian besar baik materiil dan moril serta keselamatan kerja [1][2].

Dalam proses pembangkitan listrik, turbin uap memiliki peranan penting, yaitu sebagai penggerak generator untuk menghasilkan listrik. Komponen yang mengkonversi energi untuk menggerakkan generator disebut sudu turbin [3]. Saat beroperasi sudut gerak turbin dipengaruhi oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran rotor. Gaya tersebut menimbulkan tegangan bending pada sudu gerak sehingga mempersulit kerja sudu yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan dini [4].

Suhu tinggi dan peningkatan getaran merupakan beberapa indikator yang menyebabkan kerusakan sudu turbin [5]. Pada turbin sering ditemui kasus suhu yang melebihi standar yang telah ditentukan dan mengalami *overheating* sehingga turbin tersebut *blackout* [6]. Pada turbin uap, panas yang dipindahkan melalui rumah turbin dapat mengubah ukuran turbin uap karena pemuaian (ekspansi termal) mempengaruhi keselarasan poros selama putaran [7]. Begitu pula dengan getaran rotor yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan yaitu rotor bending, rotor rubs, rotor and casing misalignment dan rotor unbalance [1].

Sifat-sifat getaran yang ditimbulkan pada suatu mesin dapat menggambarkan kondisi gerakan yang tidak diinginkan pada komponen-komponen mesin, sehingga pengukuran dan analisa getaran dapat dipergunakan untuk mendiagnosa kondisi suatu mesin dan meminimalisir gangguan [8] [9]. Pada umum ya montiroting dilakukan oleh operator dengan metode preventive maintenance [1].

Berdasarkan kasus-kasus terdahulu, nilai suhu dan getaran dipergunakan untuk mengetahui apakah sebuah turbin masih layak berfungsi secara ideal tanpa mengalami perubahan yang cukup signifikan. Sehingga perlu dilakukan monitoring terhadap nilai suhu dan getaran turbin agar kondisi mesin selalu dalam performa yang handal. Adanya pemantauan tersebut juga dapat mendeteksi kerusakan turbin sedini mungkin, sehingga kerusakan lebih lanjut dan kerugian akibat terhentinya mesin dapat dicegah.

PT. Cargill Indonesia yang berada di Kalimantan Barat merupakan perusahaan produsen *Crude Palm Oil* (CPO). Perusahaan ini memanfaatkan turbin uap dalam proses produksinya, dimana generator digerakkan oleh uap dari boiler. Kondisi eksisting turbin yang terpasang pada perusahaan tersebut dilengkapi dengan thermometer dan vibration sensor yang nilainya harus dibaca secara manual oleh operator per 2 jam.

Jika pembacaan variabel suhu dan getaran dilakukan secara manual maka operator tidak bisa melihat secara realtime terus menerus pada tiap turbin. Selain itu, operator tidak bisa secara langsung melakukan pengamanan seperti mematikan turbin ketika suhu dan getaran melebihi standar sehingga membuat monitoring secara manual tidak efektif (*human error*) [10]. Ketika turbin overload dan operator sedang tidak standby untuk mengecek turbin maka semakin lama getaran pada turbin akan semakin membesar dan membuat turbin mengalami keretakan di beberapa bagian [11].

Monitoring adalah pemantauan pada suatu sistem untuk mencapai hasil data yang diinginkan baik secara kuantitas dan kualitas supaya mendapatkan hasil seoptimal mungkin atau setidaknya sumber daya yang dipergunakan seimbang dengan hasil yang dicapai [12]. Sistem monitoring ini dipilih karena sensor mengirim data secara *realtime* ke PLC, kemudian PLC mengontrol dan mengolah data dari sensor. HMI bertugas untuk menampilkan data dari PLC sesuai kebutuhan sistem turbin. Selain itu, sistem ini dapat memantau kondisi mesin yang dapat memberikan informasi kondisi mesin melalui sensor yang dipasang di mesin untuk cek kondisi secara realtime maupun mendatang melalui trend indikasi sinyal data dari sensor [13].

Dari latar belakang tersebut, pada penelitian ini dirancang bangun suatu sistem monitoring suhu dan getaran turbin yang nilainya akan dipantau melalui *Human Machine Interface* (HMI). Nilai yang tampil pada HMI merupakan hasil dari proses yang dilakukan oleh *Programmable Logic Controllers* (PLC). Perancangan sistem ini menggunakan PLC agar dapat mengkonversi output TT dan VT dari bentuk keluaran arus menjadi tampilan suhu dan getaran. Selain itu, controller ini juga dapat beroperasi pada keadaan temperatur tinggi, kotor dan berdebu, dan mempunyai daya tahan terhadap getaran bahkan benturan yang cocok digunakan di area produksi. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi di industri, terutama pada sistem pemantauan suhu dan getaran turbin.

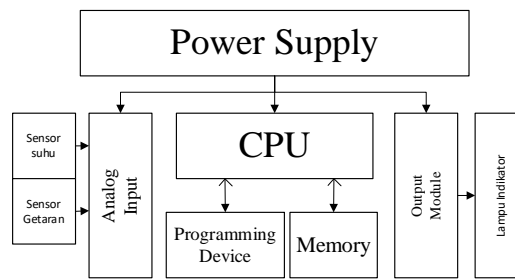
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan adalah rancang bangun sistem kontrol dan monitoring suhu dan getaran turbin menggunakan HMI berbasis PLC. Tahapan penelitian dimulai dari:

1. Perancangan panel monitoring yang terdiri dari pemilihan spesifikasi, peletakan komponen, dan wiring diagram.
2. Pemasangan komponen dan pengkabelan pada panel monitoring
3. Pembuatan program PLC
4. Pembuatan program HMI
5. Koneksi PLC-HMI
6. Running program PLC-HMI
7. Pengujian sistem

2.1 Deskripsi Alat

Sistem ini bekerja dengan membaca nilai yang diperoleh sensor suhu dan sensor getaran berdasarkan kondisi di sekitar turbin. Masukan nilai analog diproses oleh CPU dengan programming device dan memory. CPU dapat bekerja apabila terdapat supply 24 VDC dari powersupply. Setelah diproses sesuai logic dan alarm yang akan diterapkan pada turbin, PLC mengeluarkan output berupa lampu indikator merah, kuning, hijau sebanyak 2 buah dan buzzer sebanyak 1 buah. Lampu merah status alarm, lampu kuning status warning, dan lampu hijau status aktif / normal. Blok diagram sistem terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Blok diagram input proses dan output

2.2 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat/komponen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Alat

No	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
1	CPU PLC	Siemens / SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, DC/DC/DC	1 Unit
2	Analog Input	Siemens / SIMATIC S7-1200, Analog input, SM 1231, 8 AI	4 Unit
3	HMI	Siemens / SIMATIC HMI TP1200 Comfort, 12" widescreen	1 Unit
4	MCB	Schneider / 1C60N, 2P, 6A, C curve	1 Unit
5	Surge Arrester	OBO / 2-pole, 12V AC/DC	1 Unit
6	Relay	Schneider / Zelio RXM 2 C/O 24 V DC 12 A with LED	10 Unit
7	Sensor Getaran	IFM / VKV021 Vibration Monitor, range 0-25 mm/s	12 Unit
9	Sensor Suhu PT100	PT100 SS304, Range 0C-150C, Ouput 4-20mA	16 Unit

2.3 Cara Kerja

Terdapat 2 nilai yang dapat dimonitoring yaitu getaran dan suhu, dengan deskripsi kerja sebagai berikut:

Monitoring Getaran

1. Sistem bekerja sesuai input getaran yang terbaca oleh sensor getaran.

2. Hasil pengukuran getaran akan diproses PLC dan nilai aktualnya ditampilkan melalui HMI.
3. Tombol *interlock* di aktifkan (ON).
4. Menginput nilai setpoint warning dan alarm pada layar HMI.
5. Ketika getaran aktual naik melebihi setpoint warning, maka status warning menyala.
6. Ketika getaran aktual naik melebihi setpoint alarm, maka dalam 2 detik status alarm menyala dan mengaktifkan buzzer dan mengakibatkan cut off pada turbin.
7. Tekan tombol reset untuk menonaktifkan alarm cut off turbin (nilai aktual getaran harus dibawah setpoint agar dapat di *reset*)
8. Tekan Tombol OFF *interlock* jika tidak ingin menggunakan sistem *cut off* turbin (jika alarm aktif maka sistem tidak akan otomatis melakukan *cut off* turbin).

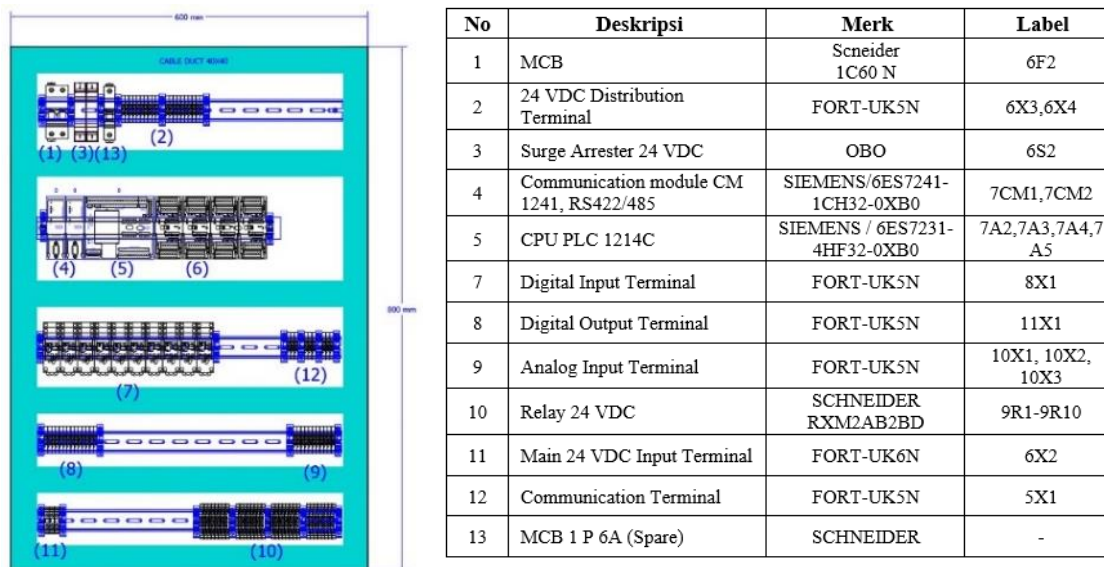
Monitoring Suhu

1. Sistem bekerja sesuai input suhu yang terbaca oleh sensor suhu.
2. Hasil pengukuran suhu akan diproses PLC dan nilai aktualnya ditampilkan melalui HMI.
3. Tombol *interlock* di aktifkan (ON).
4. Menginput nilai setpoint warning dan alarm pada layar HMI.
5. Ketika suhu aktual naik melebihi setpoint warning, maka status warning menyala.
6. Ketika suhu aktual naik melebihi setpoint alarm, maka dalam 2 detik status alarm menyala dan mengaktifkan buzzer dan mengakibatkan cut off pada turbin.
7. Tekan tombol reset untuk menonaktifkan alarm cut off turbin (nilai aktual suhu harus dibawah setpoint agar dapat di *reset*)
8. Tekan Tombol OFF *interlock* jika tidak ingin menggunakan sistem *cut off* turbin (jika alarm aktif maka sistem tidak akan otomatis melakukan cut off turbin).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Realisasi Alat

Panel monitoring ini merupakan sistem yang menampilkan nilai suhu dan getaran turbin untuk pemantauan kondisi dan sebagai proteksi ketika nilai suhu ataupun getaran diatas standar yang ditentukan. Komponen utama yaitu PLC SIMATIC S7-1200 dan SIMATIC HMI TP1200. Komunikasi PLC dengan HMI adalah komunikasi Ethernet. Layout panel dan komponennya terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Layout dan komponen panel

Pada baris pertama disusun komponen proteksi dan terminal distribusi daya 24VDC. Komponen proteksi yang dimiliki panel ini adalah MCB 2P 6A sebagai pengaman beban lebih dan *surge arrester* sebagai pengaman lonjakan tegangan. MCB dan *surge arrester* diletakkan di baris pertama karena

merupakan komponen pertama yang akan dilalui sumber listrik. Terminal distribusi daya 24VDC diletakkan disebelah kanan komponen proteksi. Peletakan ini dilakukan untuk mempermudah pendistribusian kabel-kabel ke komponen lain yang membutuhkan daya.

Baris kedua berisi komponen-komponen control, yaitu modul komunikasi, CPU PLC, dan analog input module. Peletakan ini merujuk pada estetika wiring dan dapat mempermudah pengecekan. Panel ini mempunyai 2 modul komunikasi. Modul komunikasi pertama untuk menghubungkan amperemeter, sedangkan modul komunikasi kedua untuk menghubungkan powermeter.

Baris ketiga berisi susunan relai 24VDC dan terminal komunikasi. Kabel yang terhubung pada input relai merupakan keluaran dari digital output module. Input terminal komunikasi terhubung dengan modul komunikasi menggunakan kabel profibus. Maka dari itu, relai dan terminal komunikasi disusun secara horizontal pada pada baris ketiga guna meminimalisir penggunaan kabel.

Baris keempat hanya berisi terminal digital input dan terminal digital output. Kedua jenis terminal ini diletakkan terpisah, terminal digital input di sisi kiri sedangkan terminal digital output di sisi kanan untuk mempermudah pengecekan. Hal ini juga menjadi antisipasi jika ada penambahan terminal. Jumlah terminal yang dipasang disesuaikan dengan jumlah slot digital input dan digital output pada CPU PLC, yaitu 14 digital input dan 10 digital output.

Baris kelima berisi terminal input 24VDC dan terminal analog input. Terminal input menerima tegangan 24VDC dari power supply 24VDC yang terpasang di panel yang berbeda. Kabel tegangan input 24VDC masuk melalui cable gland yang terpasang di permukaan bawah panel. Hal tersebut yang menyebabkan terminal input 24VDC dipasang di baris terbawah panel. Terminal analog input diletakkan di baris kelima karena jumlahnya yang cukup banyak sehingga tidak memungkinkan untuk diletakkan di baris keempat.

Setiap digital output, digital input, dan analog input terhubung dengan terminal *block* agar memudahkan dalam perawatan penggantian perangkat. Masing-masing modul PLC membutuhkan *supply* 24 VDC dari terminal block 24 VDC. Selain modul PLC relay membutuhkan *supply* 24 VDC untuk menghidupkan *coil* dan menghubungkan kontak relay pada output.

Sensor yang digunakan adalah temperature transmitter dan vibration transmitter dengan output analog 4-20mA. Sensor mengirimkan sinyal analog ke module analog input PLC. Sinyal analog 4-20mA yang diterima PLC di konversikan menggunakan Analog Digital Converter (ADC) menjadi bilangan desimal dengan range 0-27648.

Pemasangan sensor suhu dan sensor getaran terlihat seperti Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Pemasangan Sensor Suhu Pada Turbin



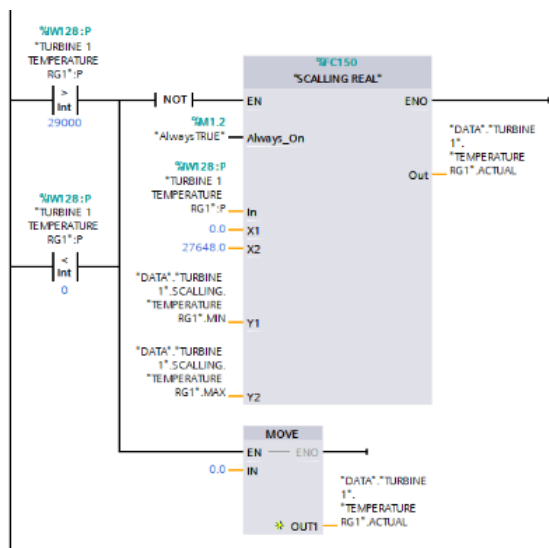
Gambar 4 Pemasangan Sensor Getaran Pada Turbin

Sensor suhu ditempatkan pada turbin (Gambar 3) untuk mengukur suhu sekaligus memonitor suhu pada turbin agar sesuai dengan standar turbin. Ketika turbin memiliki suhu yang tidak wajar (melebihi dari standar) maka akan berpengaruh pada kinerja turbin.

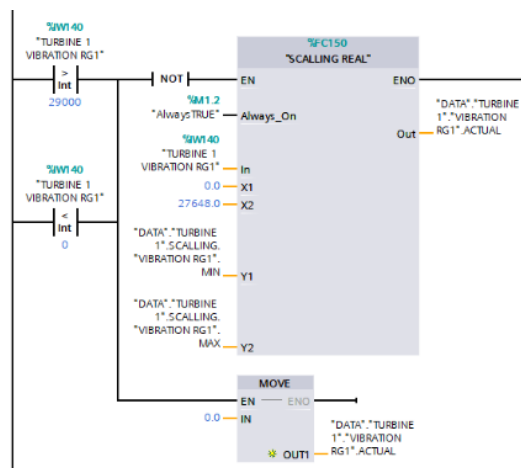
Sensor getaran dipasang seperti Gambar 4. Fungsi sensor getaran pada turbin untuk memonitor suhu pada turbin agar sesuai dengan standar turbin sesuai dengan standar turbin (105°C), PLS (115°C), ataupun PLST (120°C) [14].

3.2 Realisasi Sistem

Perancangan sistem ini menggunakan PLC agar dapat mengkonversi output TT dan VT dari bentuk keluaran arus menjadi tampilan suhu dan getaran. Selain itu, *controller* ini juga dapat beroperasi pada keadaan temperatur tinggi, kotor dan berdebu, dan mempunyai daya tahan terhadap getaran bahkan benturan yang cocok digunakan di area produksi. Sistem ini dimulai dengan *scaling* masukan analog dengan pemrograman PLC, terlihat Gambar 5 program *scaling* sensor suhu dan Gambar 6 sensor getaran.



Gambar 5 *Scaling* Sensor Suhu



Gambar 6 *Scaling* Sensor Getaran

Berdasarkan program *scaling* suhu pada Gambar 5, sensor suhu mengirimkan sinyal dengan *range* 0 – 27648 dan nilainya dikonversi PLC melalui proses *scaling*. Jika nilai yang dikirimkan sensor suhu < 0 dan > 29000, maka program akan menonaktifkan *scaling* dan memindahkan nilai 0 ke address actual pembacaan. Ini menandakan ketidaknormalan pada sensor suhu atau sensor suhu rusak.

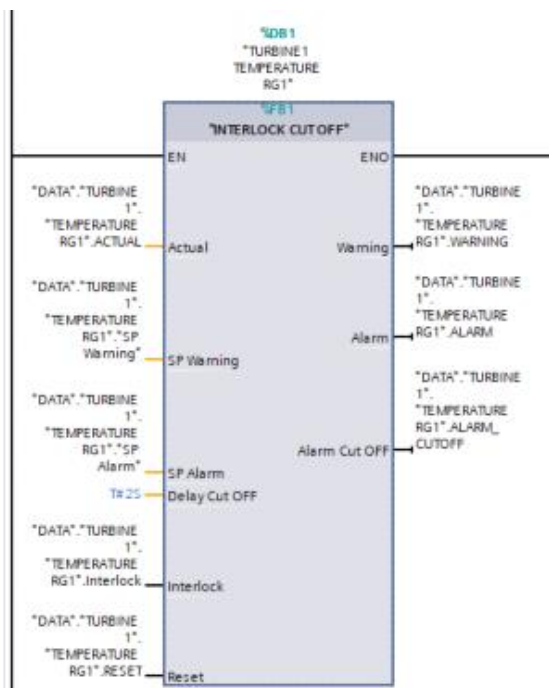
Sedangkan berdasarkan program *scaling* getaran pada Gambar 6, sensor getaran mengirimkan sinyal dengan *range* 0 – 27648 dan nilainya dikonversi PLC melalui proses *scaling*. Jika nilai yang dikirimkan sensor suhu < 0 dan > 29000, maka program akan menonaktifkan *scaling* dan memindahkan nilai 0 ke address actual pembacaan. Ini menandakan ketidaknormalan pada sensor getaran atau sensor getaran rusak.

Keterangan Gambar 5 dan 6:

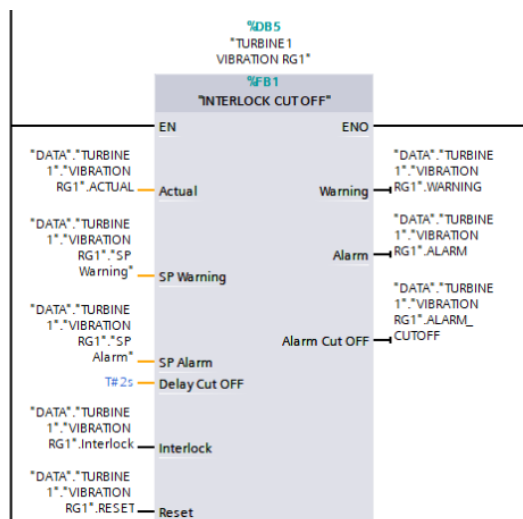
- In = Nilai yang terbaca pada sensor
- X1 = Nilai minimal sensor
- X2 = Nilai maksimal sensor
- Y1 = Set poin minimal *scaling*
- Y2 = Set poin maksimal *scaling*
- Out = Hasil *scaling* aktual

Pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat nilai masukan sensor bernilai 0-27648.

Berdasarkan *function block* program suhu dan getaran *cut off* Gambar 7 dan 8, status *warning* akan aktif saat nilai aktual suhu atau getaran lebih besar atau sama dengan nilai set point *warning*. Kemudian status alarm akan aktif dan buzzer menyala saat nilai aktual suhu atau getaran lebih besar atau sama dengan nilai set poin alarm. Ketika tombol ON interlock pada HMI ditekan, maka alarm cut off aktif.

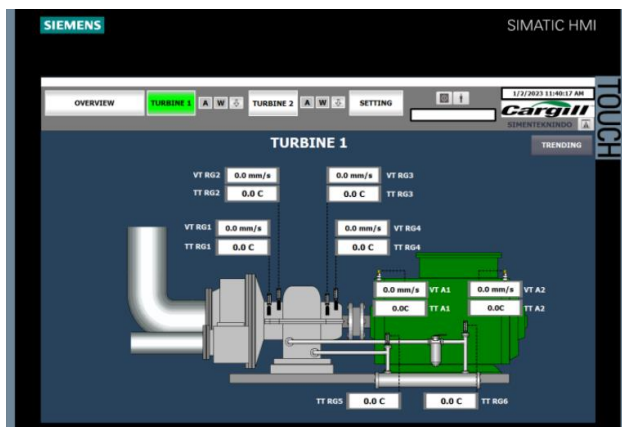


Gambar 7 Program Suhu cut off Turbin



Gambar 8 Program Getaran cut off Turbin

Tampilan sistem monitoring seperti Gambar 9 dan 10. Tampilan pada HMI terdiri dari proses, parameter yang aktif, alarm apabila tidak sesuai dengan *setpoint*, dan trending dari setiap parameter. Pada bagian atas terdapat tombol dan simbol yang memiliki fungsinya masing-masing.



Gambar 9 Tampilan HMI



Gambar 10 Tampilan HMI pada Panel

Nilai dari sensor suhu dan getaran ditampilkan pada layar setiap turbin seperti Gambar 10. Alarm akan aktif jika suhu atau getaran melebihi *setpoint* standar yang ditentukan pada turbin. Alarm nantinya akan dicatat secara realtime untuk mengetahui waktu normal maupun gangguan agar dapat dianalisa untuk perawatan oleh operator.

3.3 Pengujian Sensor Suhu dan Getaran

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon dari sensor suhu dan getaran terhadap sistem monitoring secara real time. Sensor memiliki output 4-20mA dan nilai tersebut dikonversi menggunakan ADC menjadi bilangan desimal dengan range 0-27648. Berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa, nilai 0 yang diberikan pada PLC berarti sensor mengeluarkan output 4mA. Sensor suhu dan getaran akan bekerja saat program pada software TIA Portal V16 dijalankan dan diberikan trigger nilai sebesar 27648. Total sensor yang akan diuji sebanyak 28 sensor yang terdiri dari 16 sensor suhu dan 12 sensor

getaran, maka pengujian dilakukan sebanyak 28 kali percobaan. Setiap percobaan dilakukan pengujian setiap 1 menit untuk melihat respon dan nilai dari sensor suhu dan getaran. Data hasil pengujian sensor suhu dan getaran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor

Sensor	Tes Inject Arus	Nilai Hasil pada PLC	Nilai pada HMI	Kondisi
VT RG1	20 mA	27648	15	Normal
VT RG2	20 mA	27648	15	Normal
VT RG3	20 mA	27648	15	Normal
VT RG4	20 mA	27648	15	Normal
VT RG5	20 mA	27648	15	Normal
VT RG6	20 mA	27648	15	Normal
TT RG1	20 mA	27648	100	Normal
TT RG2	20 mA	27648	100	Normal
TT RG3	20 mA	27648	100	Normal
TT RG4	20 mA	27648	100	Normal
TT RG5	20 mA	27648	100	Normal
TT RG6	20 mA	27648	100	Normal
TT A1	20 mA	27648	100	Normal
TT A2	20 mA	27648	100	Normal
TT A1	20 mA	27648		Normal
TT A2	20 mA	27648		Normal

3.3 Data Sistem Monitoring

Tabel 3 menampilkan monitoring nilai suhu dalam selama 15 menit. Terlihat bahwa nilai suhu turbin dalam kondisi normal (aman). Suhu turbin memiliki 2 jenis proteksi yaitu warning dan alarm [15]. Warning sebagai peringatan pada sistem monitoring tanpa Tindakan cut off mesin turbin sedangkan alarm sebagai proteksi pada sistem monitoring dengan melakukan cut off pada turbin.

Tabel 4 menampilkan monitoring nilai getaran dalam selama 15 menit. Dari data diatas menunjukkan bahwa selama waktu tersebut nilai getaran selalu dalam batas normal. Suhu dan getaran turbin dalam keadaan normal sehingga tidak membahayakan alat, operator maupun lingkungan sekitar.

Tabel 3 Data Monitoring Suhu

Waktu	Suhu (°C)	Warning (°C)	Alarm (°C)
4.00 PM	101	105	115
4.05 PM	99		
4.10 PM	102		
4.15 PM	100		
4.20 PM	100		

Tabel 4 Data Monitoring Getaran

Waktu	Getaran (mm/s)	Set point (mm/s)	Warning (mm/s)
3.40 PM	1,1	1-1,2	5
3.45 PM	1		
3.50 PM	1,1		
3.55 PM	1,2		
3.60 PM	1		

4. SIMPULAN

Penelitian ini dimulai dengan perancangan panel kontrol dengan memperhatikan ketentuan client, perusahaan dan standar elektrikal. Dalam perancangan *part layout* dan diagram *wiring, datasheet* dan *manual book* komponen elektrikal sangat diperlukan untuk mengetahui jenis sambungan, tipe, dan konfigurasi lainnya. Dalam pembuatan program PLC dan HMI, programmer harus memahami alur proses yang diinginkan *user*. Sistem monitoring yang telah direalisasikan berjalan lancar dan dapat membaca nilai suhu dan getaran pada turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. I. R. P, and Prasetyo, "INSPEKSI GETARAN PADA TURBIN UAP PENGGERAK POMPA DI INDUSTRI PUPUK," *J. Rekayasa Mesin*, pp. 7–14, 2019.
- [2] N. ; S. ; S. Priyanto, "Analisa prestasi kerja turbin uap pada beban yang bervariasi," pp. 1–12, 1958.
- [3] S. K. Putri, "Analisis Remaining Life Sudu Turbin Gas Mw701D Stage 2 Dari Pengamatan Mw701D Second Stage By Its Microstructure," 2016.
- [4] B. Cornelia Tjiptady, M. Rohman, D. Agus Sudjimat, and D. Ratnawati, "Analisis tegangan, deformasi, dan retak pada gas turbine blade dengan metode elemen hingga," vol. 8, no. 2, pp. 47–54, 2020.
- [5] A. Y. E. Risano, "Review Dan Analisa Karakteristik Dan Penyebab Kerusakan Sudu Turbin Gas," vol. 1, 2010.
- [6] P. Y. Pratikno and E. Darmana, "STUDI NAIKNYA TEMPERATUR PADA TURBIN UAP MEREK SHINKO BERDAYA 4000 KW PADA PT. PERKEBUNAN NUSANTARA XDI PABRIK GULA DJOMBANG BARU," 2019.
- [7] D. Febriansyah, B. Tambunan, R. Harmadi, B. N. Fadjrinn, E. I. Technology, and S. Tangerang, "INFLUENCE OF THERMAL EXPANSION ON STEAM TURBINE SHAFT ALIGNMENT," pp. 71–76, 2020.
- [8] K. Fadli, "Analisa Pengontrolan Vibrasi Pada Turbin PT. Pupuk Iskandar Muda," 2017, [Online]. Available: <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/13344>
- [9] S. Sihombing, Suriady; Ginting, "PENGARUH PUTARAN MOTOR INDUKSI PADA GENERATOR LISTRIK YANG DIGERAKKAN TURBIN UAP PROTECTED DITINJAU BERDASARKAN KARAKTERISTIK GETARAN DAN TIME DOMAIN".
- [10] A. Nagar and S. Mehta, "Steam turbine lube oil system protections using SCADA & PLC," *Proc. 2017 Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICICCS 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 1376–1381, 2017, doi: 10.1109/ICCONS.2017.8250695.
- [11] O. Natan, A. I. Gunawan, B. Sumantri, C. Wiryono, and A. Hendrawan, "SCADA-based Automation System for Steam Turbine Protection and Supervision," *2018 Int. Electron. Symp. Eng. Technol. Appl. IES-ETA 2018 - Proc.*, pp. 13–18, 2019, doi: 10.1109/ELECSYM.2018.8615466.
- [12] M. I. Alfitroh and H. K. Wardana, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus , Tegangan , Kecepatan Putar Turbin dan Suhu Berbasis IoT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mini Skala Laboratorium," vol. 16, no. 1, pp. 9–16, 2023.
- [13] A. Widodo, "Development of Alarm Prediction System for Monitoring Steam Turbine Based on SCADA Data," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 6, pp. 2535–2542, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/53862020.
- [14] T. J. Pramono and A. Maskus, "Studi analisis sistem monitoring temperatur ruang bearing," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 8, no. 11, p. 8, 1967.
- [15] H. Muchtar and Z. A. Prasetyo, "Analisa Trip Gas Turbin Dari Proteksi Flame Off Di Pltgu Muara Tawar," *eLEKTUM*, no. Mmi, pp. 33–37, 2017, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/view/885%0Ahttps://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/viewFile/885/809>