

Performance Comparison of Resistance Temperature Detector and Liquid Filled Thermometer on Turbine Guide Bearing at Siguragura HPP.

Fajar Nur Prayitno¹, Rahmaniar^{1*}, Siti Anisah²

¹ Sains dan Teknologi, Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

*Corresponding Author: rahmaniar@dosen.pancabudi.ac.id

Abstract

The Turbine Guide Bearing (TGB) is a critical component at the Siguragura Hydroelectric Power Plant (HPP), responsible for ensuring the turbine shaft rotates on its axis, allowing the turbine to operate efficiently without excessive heat buildup that could lead to failure. This requires continuous temperature monitoring of the Turbine Guide Bearing. The temperature sensors used for this monitoring are the Resistance Temperature Detector (RTD) and the Liquid Filled Thermometer. These two sensors operate based on different mechanisms, making it essential to analyze their performance to ensure compatibility and maintain the accuracy and reliability of temperature measurements. Based on calibration and field testing results, the RTD sensor demonstrated more accurate and stable temperature readings, with a minimal deviation from the standard and linear, non-fluctuating results. On the other hand, the Liquid Filled Thermometer was more responsive, with a faster response time to reach the reference temperature. Therefore, the most suitable sensor for measuring the temperature of the Turbine Guide Bearing at Siguragura HPP is the RTD as the primary sensor, while the Liquid Filled Thermometer can serve as a redundant sensor.

Keywords: Turbine Guide Bearing (TGB); Resistance Temperature Detector (RTD); Liquid Filled Thermometer; Temperature Monitoring; Sensor Performance Analysis

1. Introduction

PLTA Siguragura merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga air di Indonesia yang sangat bergantung pada kondisi operasional optimal dari berbagai komponennya. Salah satu komponennya adalah *Turbine Guide Bearing (TGB)* yang berfungsi untuk menjaga poros turbin agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya [1]. *Turbine Guide Bearing* adalah komponen krusial dalam memastikan operasi berkelanjutan pada PLTA. Stabilitasnya memastikan unit dapat beroperasi secara efisien tanpa mengalami panas berlebih, yang sering menjadi penyebab kerusakan mesin pada pembangkit.

Peranan penting *Turbine Guide Bearing* di PLTA mengharuskan adanya pemantauan suhu secara kontinu. Pemantauan suhu yang akurat pada *Turbine Guide Bearing* sangat penting untuk mencegah kegagalan dan memastikan operasi yang efisien di pembangkit listrik tenaga air [2]. Kegagalan *Turbine Guide Bearing* dapat mengakibatkan *downtime* dan biaya pemeliharaan yang tinggi.

Penggunaan sensor untuk mengukur suhu *Turbine Guide Bearing* di PLTA Siguragura terbagi menjadi dua jenis, yaitu sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* dan sensor *Liquid Filled Thermometer*. Sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* yang berbasis resistansi, menawarkan akurasi dan kecepatan respons yang lebih baik, tetapi lebih rentan terhadap interferensi elektromagnetik. Di sisi lain, *Liquid Filled Thermometer* sering digunakan di aplikasi industri karena ketahanannya terhadap lingkungan ekstrem, namun

kurang akurat dalam mengukur suhu yang sangat rendah atau tinggi. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis kinerja sensor untuk memastikan kesesuaian dengan aplikasi pemantauan, serta menjaga akurasi dan keandalan pengukuran suhu [3].

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kinerja kedua sensor tersebut dalam hal akurasi, stabilitas, dan responsivitas terhadap perubahan suhu yang terjadi pada saat kalibrasi sensor dan selama operasi turbin.
2. Mengidentifikasi sensor yang paling tepat untuk pengukuran suhu di *Turbine Guide Bearing* PLTA Siguragura
3. Memberikan rekomendasi terkait implementasi sensor dalam sistem pemantauan suhu di *Turbine Guide Bearing* PLTA Siguragura

Sensor Resistance Temperature Detector (RTD)

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi dan sering berfungsi untuk mengukur besaran [4]. *Resistance Temperature Detector (RTD)* atau detektor suhu berbasis resistansi, adalah sensor yang digunakan untuk mengukur suhu. Terbuat dari platinum sebagai elemen resistifnya, RTD memiliki ketahanan terhadap pengukuran suhu yang dapat berulang dan kisaran suhu pengoperasian -2000°C hingga 8500°C . RTD mengandung resistor yang nilai resistansinya berubah seiring perubahan suhu [5].

Ketika suhu berubah, resistansi logam berubah, dan sinyal listrik dikirim ke *transducer* untuk dikonversi menjadi sinyal yang dapat ditampilkan di *recorder*. RTD PT50, khususnya, memiliki resistansi nominal $50\ \Omega$ pada 0°C dan umum digunakan untuk pengukuran suhu yang presisi dalam aplikasi industri. Dalam studi penentuan nilai penyimpangan resistansi, observasi dan literatur penelitian dilakukan untuk mengamati data kinerja sensor pada hasil pengujian [6].

Rumus penyimpangan resistansi RTD :

$$\Delta R = R_M - R_S \quad (1)$$

Rumus penyimpangan suhu RTD :

$$\Delta T = \frac{\Delta R}{\alpha \cdot R_0} \quad (2)$$

Sensor Liquid Filled Thermometer

Liquid Filled Thermometer adalah alat pengukur suhu yang menggunakan prinsip fisika *thermal expansion of liquids*. Ekspansi termal adalah kecenderungan materi untuk mengubah bentuk, luas, dan volume sebagai respons terhadap perubahan suhu. Tujuan utamanya adalah untuk meninjau ekspansi termal padatan dan penerapannya [7].

Dalam tipe sensor ini, cairan (biasanya alkohol atau merkuri) akan mengalami perubahan volume ketika suhu berubah. Saat suhu meningkat, molekul-molekul dalam cairan bergerak lebih cepat dan saling menjauh satu sama lain, yang menyebabkan cairan dalam tabung mengembang dan mendorong jarum pada dial untuk menunjukkan suhu yang sesuai [6].

Alat ini sederhana, tidak memerlukan sumber daya eksternal, dan dapat berfungsi baik dalam kondisi lingkungan yang ekstrim. Meskipun demikian, kecepatan responsnya cenderung lambat dan dapat terpengaruh oleh perubahan suhu yang cepat. Termometer dial banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena kesederhanaan dan daya tahannya.

Rumus penyimpangan suhu *Liquid Filled Thermometer* :

$$\Delta T = T_S - T_M \quad (3)$$

2. Material dan methods

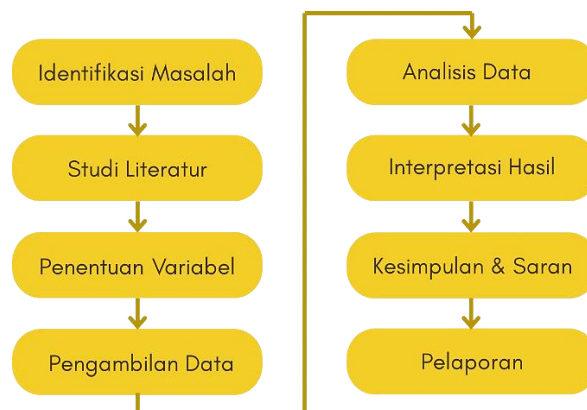
Lokasi penelitian dilaksanakan di PLTA Siguragura, tepatnya pada bagian *Turbine Guide Bearing*. Populasi dalam penelitian ini adalah keseluruhan pengukuran suhu yang dilakukan di Turbine Guide Bearing. Sedangkan sampel dalam penelitian ini adalah pengukuran suhu yang dilakukan selama beberapa jam operasi turbin, menggunakan dua jenis sensor tersebut.

Metode Penelitian Kuantitatif

Penelitian ini bersifat kuantitatif, dengan fokus pada analisis data numerik yang diperoleh dari pengukuran suhu menggunakan sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* dan *Liquid Filled Thermometer*. Metode ini bertujuan untuk menguji hipotesis dan menjelaskan fenomena dengan menganalisis data. Penelitian kuantitatif adalah pendekatan untuk menguji teori objektif dengan memeriksa hubungan antar variabel [8].

Langkah-langkah dalam Metode Penelitian Kuantitatif :

1. Identifikasi Masalah : Menentukan masalah yang akan diteliti. Identifikasi ini merupakan masalah yang ingin dipecahkan dengan pentuan tujuan spesifik yang ingin dicapai [9].
2. Studi Literatur : Mengumpulkan dan menganalisis informasi dari sumber-sumber yang ada untuk memahami konteks masalah. Meninjau studi literatur seperti kepustakaan yang terkait dengan masalah yang akan dibahas [10].
3. Penentuan Variabel : Menetapkan variabel yang akan diukur dan diuji dalam penelitian.
4. Pengambilan Data : Mengumpulkan data menggunakan metode yang sesuai (misalnya, survei, eksperimen).
5. Analisis Data : Menggunakan teknik statistik untuk menganalisis data yang telah dikumpulkan.
6. Interpretasi Hasil : Menginterpretasikan hasil analisis untuk memberikan makna pada data yang diperoleh.
7. Kesimpulan dan Saran : Menarik kesimpulan berdasarkan hasil dan memberikan rekomendasi.
8. Pelaporan : Menyusun laporan penelitian yang mencakup semua langkah dan hasil penelitian.



Gambar 1. Flowchart langkah-langkah dalam metode penelitian kuantitatif

Sensor dan Kalibrator

Sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sensor umum yang sering digunakan di PLTA. Sedangkan kalibrator yang digunakan merupakan kalibrator multifungsi yang *compact* dan mudah dalam penggunaannya. Berikut adalah spesifikasi sensor dan kalibrator yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi Sensor dan Kalibrator

	Sensor Suhu		Pembaca Resistansi RTD	Kalibrator Standar
	Resistance Temperature Detector (RTD)	Liquid Filled Thermometer		
Type	PT50	KP4	CA-100	3447-01
Range	0 - 97.57 Ω / 0 ~ 250°C	-70 ~ 400 °C	0 ~ 400 °C	-100 ~ 300 °C
Accuracy/Class	B	1,5	0.025% of rdg	$\pm 0.1\%$ of rdg
Maker	Yamari	Thyoda	Yokogawa	Hioki

Sirkulator dan Cairan Pemindah Panas

Pelaksanaan kalibrasi membutuhkan alat yang berfungsi sebagai media uji yang dapat diatur suhunya sesuai referensi kalibrasi. Alat tersebut akan mensirkulasikan panas melalui media yang ada didalamnya. Berikut adalah spesifikasi sirkulator dan media cairan pemindah panas yang digunakan.

Tabel 2. Spesifikasi Sirkulator dan Cairan Pemindah Panas

Sirkulator		Cairan Pemindah Panas	
Type	Heating Circulator SE-12	Type	Bath Fluid Thermal H20S
Working Temp.	20 ~ 220°C	Clasification	Heat Transfer Fluid (HTF)
Temp. Control	ICC (Intelligent Cascade Control)	Working Temp.	0 ~ 220°C
Temp. Stability	$\pm 0.01^\circ\text{C}$	Flash Point	230°C
Heater Capacity	3000 W	Viscosity (20 °C in mm ² /s)	22.3
		Density (20 °C in g/cm ³)	0.95

Teknik Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan prosedur kalibrasi untuk memvalidasi akurasi dan stabilitas sensor terhadap kalibrator, diikuti dengan pengujian lapangan pada kondisi beban penuh untuk mengevaluasi responsivitas dan stabilitasnya secara operasional.

Direct Callibration Comparison (Kalibrasi Perbandingan Langsung)

Prosedur kalibrasi perbandingan langsung merupakan prosedur kalibrasi yang paling umum digunakan dibandingkan metode kalibrasi lainnya. Pada metode ini, objek dikalibrasi dengan cara dibandingkan langsung hasil pengukurannya dengan pengukuran alat pada standar [11]. Kondisi suhu ruang yang dikendalikan pada 22°C. Prosedur ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil kalibrasi kedua sensor konsisten, dengan perbandingan hasil pengukuran yang diperoleh dalam waktu yang sama.

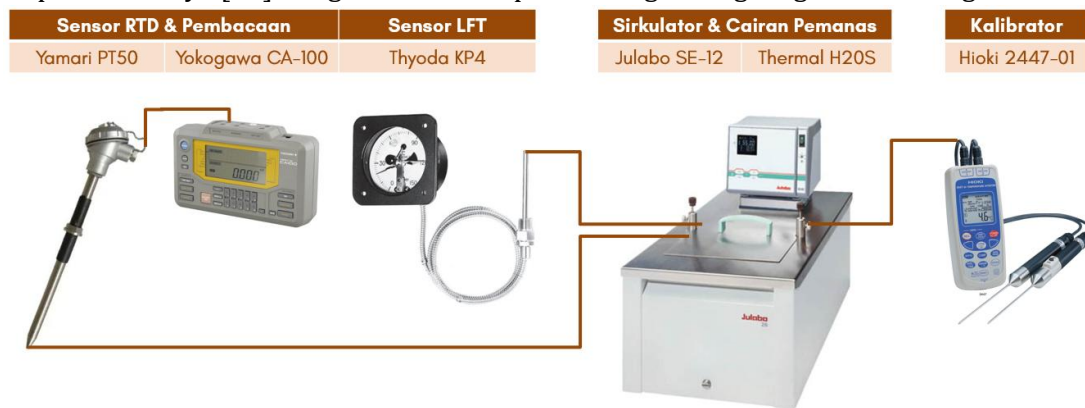
Kalibrasi perbandingan langsung ini menggunakan media cairan pemindah panas yang terdapat di dalam sirkulator pemanas, suhu diatur sesuai dengan standar yang diinginkan. Proses kalibrasi melibatkan perbandingan keluaran yang dihasilkan oleh parameter ukur dengan parameter yang diketahui secara akurat, dan kemudian disesuaikan skalanya [12]. Untuk memastikan pengukuran sensor dengan ketelitian tinggi, maka harus melalui proses pemanasan [13].

Berikut adalah langkah-langkah dalam kalibrasi perbandingan langsung :

1. Siapkan sensor, alat sirkulator pemanas, kalibrator, *transducer*, dan penampil data *RTD*.

2. Sambungkan kabel dari sensor *RTD* ke alat pembaca CA-100.
3. Masukkan cairan pemindah panas ke dalam sirkulator.
4. Masukkan ujung sensor *RTD*, *Liquid Filled Thermometer*, dan sensor kalibrator ke dalam sirkulator.
5. Hidupkan sirkulator pemanas dan amati suhu terbaca di kalibrator 3447-01.
6. Catat data suhu terbaca di sensor *RTD* dan *Liquid Filled Thermometer* pada saat suhu kalibrator di 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°C.
7. Matikan seluruh alat setelah selesai digunakan.
8. Tuliskan hasil kalibrasi ke dalam *checkseet*.

Diagram adalah pernyataan hubungan berurutan dari satu atau lebih komponen yang memiliki entitas kerja yang terpisah, dan setiap blok komponen mempengaruhi komponen lainnya [14]. Diagram kalibrasi perbandingan langsung adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram kalibrasi perbandingan langsung

Field Testing (Pengujian Lapangan)

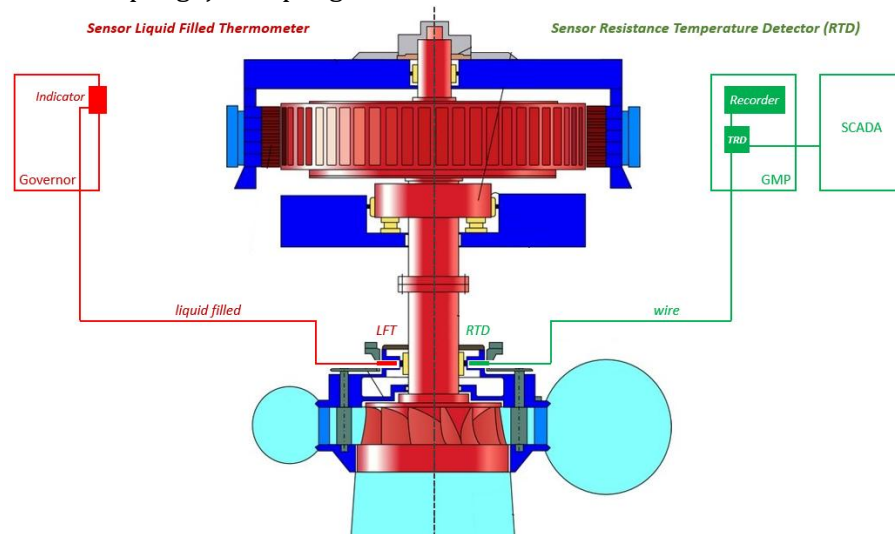
Prosedur pengujian lapangan bertujuan untuk menguji performa sistem dalam kondisi nyata, termasuk interaksi dengan faktor-faktor lingkungan yang kompleks seperti suhu ruang, sirkulasi udara, dan tingkat kebisingan yang mungkin mempengaruhi operasi sensor dan respons sistem [15]. Dalam penelitian ini, prosedur pengujian lapangan yang dilakukan dengan mengoperasikan pembangkit listrik pada kapasitas maksimum dalam kondisi beban penuh (operasi generator ± 71 MW) selama 3 jam 10 menit. Dengan menerapkan kondisi beban penuh selama waktu yang lama, akurasi respons sensor dapat dievaluasi di lingkungan tekanan tinggi yang mewakili kondisi operasional sebenarnya.

Pengujian lapangan pada Sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* dan *Liquid Filled Thermometer* dilakukan pada *Turbine Guide Bearing* di PLTA Siguragura. Posisi sensor terletak di *bearing* yang ada di dalam *guide cover* yang terisi minyak pelumas. Data sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* tertampil di SCADA dan Recorder, sedangkan data sensor *Liquid Filled Thermometer* tertampil pada Governor. Supaya sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* dapat terbaca dari resistansi menjadi suhu pada SCADA dan Recorder, diperlukan alat konversi dari resistansi tegangan, yaitu *transducer*.

Berikut adalah langkah-langkah dalam pengujian lapangan :

1. Pasang sensor *RTD* dan *Liquid Filled Thermometer*, serta alat pendukung lainnya sesuai dengan lokasi masing-masing.
2. Koneksikan seluruh pengkabelan pada sensor RTD.
3. Posisikan personil pengambil data pada masing-masing pembacaan sensor.
4. Operasikan generator dengan pembebanan secara bertahap.
5. Ketika beban generator sudah maksimum di 71,9 MW, berikan instruksi untuk mulai catat data.

6. Sampaikan instruksi catat data kembali setiap 10 menit selama 10 kali, kemudian setiap 30 menit selama 3 kali.
7. Turunkan beban generator secara bertahap dan stop.
8. Tuliskan hasil pengujian lapangan ke dalam *checkseet*.



Gambar 3. Diagram pengujian langsung saat beban penuh

3. Results and discussion

Hasil Kalibrasi Perbandingan Langsung

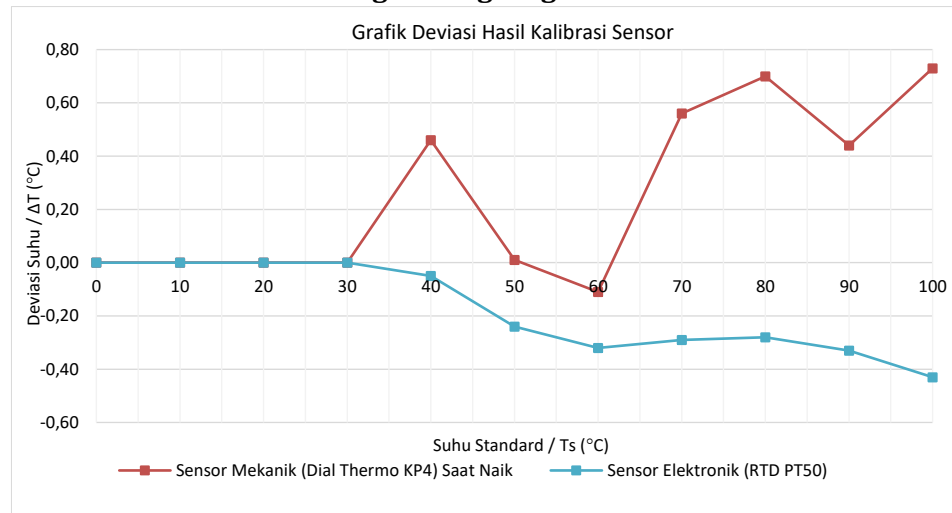
Hasil kalibrasi sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* menunjukkan bahwa sensor *resistance temperature detector (RTD)* memiliki deviasi resistansi maksimum (ΔR) sebesar $\pm 0.11 \Omega$ pada suhu standar 100°C . Perhitungan deviasi suhu (ΔT) maksimum menghasilkan nilai -0.43°C pada suhu standar 100°C , yang masih berada dalam batas toleransi kelas sensor ($\pm 1.0^\circ\text{C}$). Penyimpangan yang didapatkan negatif pada semua titik standar. Misalnya, pada standar 40°C , penyimpangan sebesar -0.05°C , dan pada standar 90°C penyimpangan mencapai -0.33°C . Penyimpangan ini konsisten menunjukkan bahwa sensor cenderung *undervalued* (memiliki nilai yang lebih rendah daripada nilai seharusnya).

Tabel 3. Hasil Kalibrasi Sensor

Standard Temp. ($^\circ\text{C}$)	<i>Resistance Temperature Detector (RTD)</i>				<i>Liquid Filled Thermometer</i>	
	Resistance $R_s (\Omega)$	Measure. $R_m (\Omega)$	Deviation		Measure. ($^\circ\text{C}$)	Deviation $\Delta T (^\circ\text{C})$
0	50	-	-	-	-	-
10	51,98	-	-	-	-	-
20	53,96	-	-	-	-	-
30	55,94	-	-	-	-	-
40	57,90	57,89	-0,01	-0,05	39,54	0,46
50	59,86	59,81	-0,05	-0,24	49,99	0,01
60	61,82	61,76	-0,06	-0,32	60,11	-0,11
70	63,77	63,72	-0,05	-0,29	69,44	0,56
80	65,71	65,66	-0,05	-0,28	79,30	0,70
90	67,65	67,59	-0,07	-0,33	89,56	0,44
100	69,58	69,50	-0,11	-0,43	99,27	0,73

Sedangkan sensor *Liquid Filled Thermometer*, sebelum dilakukan penyesuaian (sebelum disetel) menunjukkan deviasi suhu maksimum $0,73^{\circ}\text{C}$. Sensor ini tidak dilakukan penyesuaian dikarenakan deviasi masih dalam batas yang diizinkan (dibawah $\pm 2^{\circ}\text{C}$). Penyimpangan positif yang signifikan tercatat, misalnya $0,70^{\circ}\text{C}$ pada standar 80°C , dan $0,73^{\circ}\text{C}$ pada standar 100°C . Penyimpangan negatif yang tercatat hanya satu yaitu $-0,11^{\circ}\text{C}$ pada standar 60°C dan hampir mendekati standar dengan deviasi $0,01^{\circ}\text{C}$ pada standar 50°C .

Analisa Hasil Kalibrasi Perbandingan Langsung



Gambar 4. Grafik Deviasi Hasil Kalibrasi Sensor

Pada grafik deviasi hasil kalibrasi sensor diatas menunjukkan deviasi suhu terhadap suhu standar selama proses kalibrasi. Sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) memberikan hasil dengan rata-rata deviasi yang lebih mendekati standar dibandingkan sensor *Liquid Filled Thermometer* yang memiliki rata-rata deviasi yang lebih besar, terutama pada suhu tinggi. Hal ini membuat sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) memiliki akurasi yang lebih baik pada suhu $0-100^{\circ}\text{C}$ karena nilai deviasi tetap kecil di seluruh rentang suhu kalibrasi.

Fluktuasi nilai deviasi yang cukup tinggi pada sensor *Liquid Filled Thermometer* menunjukkan bahwa sensor ini kurang stabil terhadap perubahan suhu yang cepat. Berbeda dengan sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) yang memiliki nilai deviasi yang lebih linear seiring dengan perubahan suhu yang semakin tinggi. Hal ini menandakan bahwa sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) cenderung lebih stabil dalam perubahan suhu yang cepat dalam rentang suhu $0-100^{\circ}\text{C}$.

Hasil Pengujian Lapangan

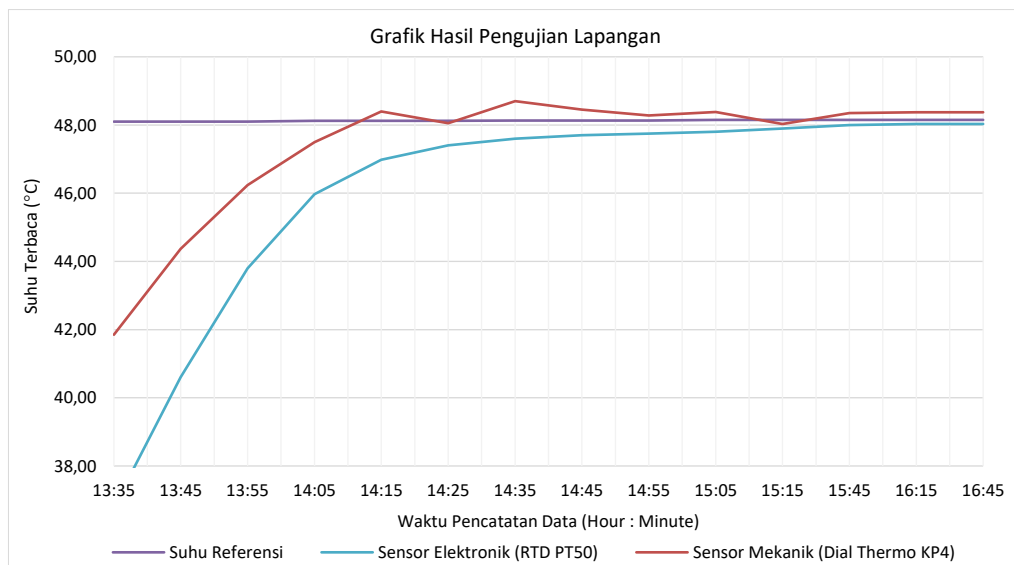
Pada sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) rentang suhu yang terdeteksi adalah $36,80^{\circ}\text{C}$ hingga $48,03^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada sensor *Liquid Filled Thermometer*, rentang suhu yang terdeteksi adalah $41,85^{\circ}\text{C}$ hingga $48,37^{\circ}\text{C}$. Saat pukul 13:35 kedua sensor menunjukkan nilai yang lebih rendah ($36,80^{\circ}\text{C}$ dan $41,85^{\circ}\text{C}$) dari suhu referensi ($48,10^{\circ}\text{C}$). Hal ini dikarenakan operasi beban penuh dari generator baru tercapai setelah menaikkan beban secara bertahap. Kemudian, setelah beberapa lama dengan operasi beban penuh, pembacaan sensor mulai mendekati suhu referensi.

Tabel 4. Hasil Pengujian Lapangan

Time (H:m)	Oputput Power (MW)	Suhu Referensi (°C)	Sensor Suhu	
			Resistance Temperature Detector (RTD)	Liquid Filled Thermometer
13:35	71,79	48,10	36,80	41,85
13:45	71,70	48,10	40,60	44,37
13:55	71,79	48,10	43,80	46,24
14:05	71,70	48,12	45,97	47,50
14:15	71,98	48,12	46,98	48,40
14:25	71,70	48,12	47,40	48,05
14:35	71,69	48,13	47,60	48,70
14:45	71,90	48,13	47,70	48,45
14:55	71,73	48,13	47,75	48,28
15:05	71,44	48,15	47,80	48,38
15:15	71,46	48,15	47,90	48,03
15:45	71,93	48,15	48,00	48,35
16:15	71,39	48,15	48,03	48,37
16:45	71,73	48,15	48,03	48,37

Pembacaan paling tinggi untuk sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* terjadi pada pukul 16:15 yaitu 48,03°C dan untuk sensor *Liquid Filled Thermometer* terjadi pada pukul 14:35 yaitu 48,70°C. Mulai pukul 16:15, tepatnya setelah operasi beban penuh selama 2 jam 45 menit, kedua sensor mulai memiliki pembacaan suhu yang sama. Suhu referensi stabil dikarenakan pembacaan suhu dari sensor unit generator yang lain dimana kondisi sama-sama beroperasi beban penuh (± 71 MW).

Analisa Hasil Pengujian Lapangan



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Lapangan

Grafik pengujian lapangan diatas menunjukkan tren suhu yang diukur oleh kedua sensor selama pengujian. Tahap awal pengambilan data, menunjukkan bahwa grafik pembacaan sensor *Liquid Filled Thermometer* lebih tinggi dari sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* dan cenderung lebih cepat mendekati suhu referensi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor *Liquid Filled Thermometer* memiliki waktu respon yang lebih cepat. Akan tetapi, respon yang cepat ini menyebabkan sensor *Liquid Filled Thermometer*

kurang stabil karena fluktuasi pembacaan yang cukup tinggi, bahkan beberapa kali berada diatas suhu referensi.

Sedangkan pada sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)*, meskipun respon terhadap perubahan suhu cenderung lebih lambat, tetapi nilai pembacaan tidak fluktuatif dan tidak ada yang melebihi suhu referensi. Hasil pembacaan dalam pengujian ini juga lebih linear, sehingga sensor ini dapat dikatakan memiliki pembacaan yang lebih stabil daripada sensor *Liquid Filled Thermometer*. Kestabilan kedua sensor terlihat mulai pukul 16:15 dengan pembacaan sensor *Liquid Filled Thermometer* lebih tinggi dari suhu referensi, dan sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* yang lebih rendah dari suhu referensi.

Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian yang Relevan

Sebuah penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* pada aplikasi industri, khususnya untuk kalibrasi dan pemantauan suhu pada peralatan di PLTA, memberikan hasil akurasi yang tinggi dalam rentang pengukuran suhu di 0-100°C, serta cenderung linier terhadap perubahan suhu [16]. Ini sejalan dengan temuan dalam penelitian ini, yang menunjukkan bahwa sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan sensor *Liquid Filled Thermometer*.

Penelitian lain juga mendukung hasil ini, dimana *Resistance Temperature Detector (RTD)* lebih disarankan untuk aplikasi yang memerlukan kestabilan suhu dan ketelitian tinggi [17]. Dalam penelitian tersebut menyimpulkan bahwa bahwa sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* menawarkan konsistensi nilai deviasi suhu yang lebih sedikit. Sedangkan sensor lain seperti *Liquid Filled Thermometer*, cenderung memiliki fluktuasi nilai deviasi yang lebih besar terutama pada suhu yang tinggi [18].

Dalam hal stabilitas dan performa, penelitian lain menegaskan bahwa RTD memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik terhadap perubahan suhu ekstrem, menjadikannya pilihan yang lebih tepat untuk aplikasi di PLTA yang sering mengalami perubahan suhu mendalam akibat perubahan beban dan kondisi operasional yang bervariasi [17].

4. Conclusion

Analisis perbandingan kinerja sensor dilakukan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu akurasi, stabilitas, dan responsivitas. Dari segi akurasi, sensor *Resistance Temperature Detector (RTD)* menunjukkan hasil terbaik berdasarkan kalibrasi, dengan deviasi yang kecil meskipun terjadi perubahan suhu yang cepat. Stabilitasnya juga sangat baik karena hasil pembacaan cenderung linear dan tidak fluktuatif. Sementara itu, dalam hal responsivitas, sensor *Liquid Filled Thermometer* lebih unggul karena mampu mencapai suhu referensi lebih cepat dibandingkan RTD.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sensor yang paling tepat untuk pengukuran suhu Turbine Guide Bearing di PLTA Siguragura adalah RTD. Pemilihan ini didasarkan pada kebutuhan pemantauan suhu yang akurat di area kritis seperti Turbine Guide Bearing, terutama karena beban operasi generator yang selalu berubah, sehingga stabilitas dalam pembacaan suhu sangat diperlukan.

Sebagai rekomendasi, RTD dapat dijadikan sensor utama dalam sistem pemantauan suhu karena keunggulannya dalam akurasi dan stabilitas. Sementara itu, sensor *Liquid Filled Thermometer* dapat digunakan sebagai sensor redundan yang berfungsi sebagai pemberi sinyal awal saat terjadi perubahan suhu signifikan serta sebagai backup apabila terjadi kerusakan pada RTD. Implementasi kombinasi kedua sensor ini akan meningkatkan keandalan sistem pemantauan suhu di Turbine Guide Bearing PLTA Siguragura.

References

- [1] B. A. Pratama, M. Mukhnizar, Z. Zulkarnain, V. Selviyanty, and R. Abu, "Analisis Kenaikan Temperature pada Turbine Guide Bearing untuk Pemeliharaan Periodik Unit 2 PLTA Maninjau," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 3, pp. 759–769, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i3.17093.
- [2] C. G. S. Gunasekara, P. Fernando, and J. Claesson, "Modeling and simulation of temperature variation in bearings in a hydro electric power generating unit," vol. 2009, no. December, pp. 13–14, 2020, [Online]. Available: <http://dl.lib.mrt.ac.lk/handle/123/9201%0Ahttp://dl.lib.mrt.ac.lk/bitstream/handle/123/9201/62.pdf?sequence=1>
- [3] E. Barajas, X. Aragones, D. Mateo, and J. Altet, "Differential temperature sensors: Review of applications in the test and characterization of circuits, usage and design methodology," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 21, 2021, doi: 10.3390/s19214815.
- [4] P. Wibowo, S. A. Lubis, . Hermansyah, . Hamdani, and Z. Tharo, "Smart Home Security System Design Sensor Based on Pir and Microcontroller," *Int. J. Glob. Sustain.*, vol. 1, no. 1, p. 67, 2020, doi: 10.5296/ijgs.v1i1.12053.
- [5] R. Z. S. K. M. B. & B. Z. Ali Zamani Paydar, "Resistance Temperature Detector (RTD) Systemin Nuclear Power Plant (A Short Review)," *Glob. J. Res. Eng.*, vol. 23, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [6] A. Junaidi, Rahmaniar, R. Salman, J. S. Rambey, A. K. Hamid, and Baharuddin, "Modelling and simulation of symmetrical and unsymmetrical faults on 14 bus IEEE-Power systems," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 99, no. 21, pp. 4704–4714, 2021.
- [7] T. T. Somano, "Takele Teshome Somano. The Physical Properties of Thermal Expansion of Solid Matter," *Am. J. Mod. Phys.*, vol. 11, no. 5, pp. 79–84, 2022, doi: 10.11648/j.ajmp.20221105.11.
- [8] J. Mackiewicz, *A Mixed-Method Approach*. 2020. doi: 10.4324/9780429469237-3.
- [9] S. Supiyandi, C. Rizal, M. Iqbal, M. N. H. Siregar, and M. Eka, "Smart Home Berbasis Internet of Things (IoT) Dalam Mengendalikan dan Monitoring Keamanan Rumah," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 1302–1307, 2023, doi: 10.47065/josh.v4i4.3822.
- [10] S. Aryza *et al.*, "Implementasi Iot Node Mcu Dalam Pengendali," pp. 428–435, 2020.
- [11] A. Hapiddin, A. M. Boynawan, R. -, Y. I. Pawestri, and S. Agmal, "Peningkatan Kemampuan Kalibrasi Stopwatch -Timer Digital 3 Digit Di Puslit Metrologi-Lipi Melalui Metode Totalized," *Instrumentasi*, vol. 42, no. 1, p. 9, 2022, doi: 10.14203/instrumentasi.v42i1.124.
- [12] R. Pratiwi, S. Aryza, and A. D. Tarigan, "The Performance Testing Analysis Of Electric Wheelchair Batteries Under Various Operational Conditions," vol. 13, no. 04, pp. 1432–1442, 2024.
- [13] B. Satria and H. Alam, "Monitoring Air Quality System Based On Smart Device Intelligent. Beni Satria, et.al Monitoring Air Quality System Based On Smart Device Intelligent," *J. Ekon.*, vol. 12, no. 01, p. 2023, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/Ekonomi>
- [14] Yusnidah, "Meningkatkan Perancangan Alat Keamanan Menggunakan Sensor Light Dependent Resistor (Ldr) Melalui Ponsel," *J. Elektro dan Telekomunikasi*, vol. 2, no. 3, pp. 18–24, 2022.
- [15] E. D. Madyatmadja, L. Kusumawati, S. P. Jamil, W. Kusumawardhana, S. Informasi, and U. B. Nusantara, "Infotech: journal of technology information," *Raden Ario Damar*, vol. 7, no. 1, pp. 55–62, 2021.
- [16] R. Maulana and P. Raflesia, "Penggunaan Resistance Temperature Detector Pada Air Cooler Generator Unit 1 Ulpl Ta Musi," vol. 3, no. 2, 2023.
- [17] M. P. Hasibuan, "Implementasi Metode Regresi Linear Untuk Kalibrasi dan Pengukuran Suhu pada Sensor Suhu PT100," vol. 11, pp. 503–511, 2024.
- [18] C. D. Cross, W. W. Miller, D. C. Ripple, and G. F. Strouse, "NIST Special Publication 1088 Maintenance, Validation, and Recalibration of Liquid-in-Glass Thermometers," no. February, 2020.