

## **Pengembangan Model *Condition-Based Monitoring* Multi-Parameter Untuk Deteksi Dini Potensi Kerusakan Pompa Sentrifugal Pada Sistem Distribusi Air Bersih**

**Indra Feriadi<sup>1</sup>, Muhamad Riva'i<sup>2</sup>, Fajar Aswin<sup>3</sup>, Edi Pramono<sup>4</sup>, Nadi Iwan Putra<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup> Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Indonesia

### **Corresponding Author**

**Nama Penulis:** Indra Feriadi

**E-mail:** [indra@polman-babel.ac.id](mailto:indra@polman-babel.ac.id)

### **Abstrak**

*Condition-Based Monitoring (CBM)* merupakan metode pemeliharaan prediktif yang mengandalkan pemantauan parameter operasional untuk mendeteksi dini potensi kerusakan. Penelitian ini mengembangkan model CBM multi-parameter untuk memantau kondisi pompa sentrifugal pada sistem distribusi air bersih. Parameter yang diamati mencakup getaran, suhu, dan tekanan, yang dikumpulkan secara berkala dari empat unit pompa. Pengukuran dilakukan menggunakan vibration meter, infrared thermometer, dan manometer. Data dianalisis untuk mendeteksi tren degradasi dan anomali operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu dan tekanan pada beberapa pompa mengalami fluktuasi, sedangkan nilai getaran tetap berada dalam ambang batas aman. Pompa dengan suhu dan tekanan tidak stabil berpotensi mengalami degradasi performa yang lebih cepat. Penerapan CBM memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kegagalan, sehingga dapat mengurangi risiko downtime dan meningkatkan efisiensi pemeliharaan. Studi ini menekankan pentingnya pemantauan berbasis kondisi dalam menjaga keandalan sistem distribusi air bersih, terutama di lingkungan pendidikan yang memiliki keterbatasan anggaran pemeliharaan. Penelitian ini merekomendasikan pemantauan jangka panjang serta analisis lebih lanjut terhadap hubungan antara performa pompa dan konsumsi energi.

**Kata kunci** - pemantauan berdasarkan kondisi, pompa sentrifugal, sistem distribusi air

### **Abstract**

*Condition-Based Monitoring (CBM)* is a predictive maintenance method that relies on monitoring operational parameters to detect potential failures early. This study develops a multi-parameter CBM model to monitor the condition of centrifugal pumps in a clean water distribution system. The observed parameters include vibration, temperature, and pressure, collected periodically from four pumps. Measurements were conducted using a vibration meter, infrared thermometer, and manometer. The data were analyzed to detect degradation trends and operational anomalies. The results indicate that temperature and pressure in some pumps fluctuate, while vibration levels remain within safe limits. Pumps with unstable temperature and pressure have a higher potential for performance degradation. The implementation of CBM allows for early failure detection, reducing downtime risks and improving maintenance efficiency. This study highlights the importance of condition-based monitoring in ensuring the reliability of clean water distribution systems, particularly in educational environments with limited maintenance budgets. This research recommends long-term monitoring and further analysis of the relationship between pump performance and energy consumption.

**Keywords** - Condition-Based Monitoring, centrifugal pump, water distribution system

## PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi air. Pompa air ini berperan vital dalam menyediakan pasokan air yang konsisten dan berkelanjutan untuk mendukung berbagai aktivitas operasional. Kinerja dan keandalan pompa air bersih sangat berpengaruh terhadap kualitas layanan, sehingga pemeliharaan yang tepat menjadi aspek krusial untuk menjaga kelangsungan operasionalnya. Oleh karenanya pemantauan kondisi pompa sentrifugal pada sistem distribusi air penting untuk mendeteksi potensi kerusakan sebelum terjadi.

Selama penggunaan pompa sentrifugal, kegagalan seperti keausan bantalan, kerusakan impeler, ketidakseimbangan impeler, ketidaksejajaran poros, kavitasi, palu air, dan sebagainya, sering terjadi (Chen et al., 2022). Kegagalan ini sering terjadi dengan peningkatan suhu lokal dan getaran pompa (Zhao et al., 2020). Dengan memantau kuantitas fisik seperti getaran dan suhu peralatan, dimungkinkan untuk memahami status pengoperasian peralatan, menganalisis dan mengevaluasi status kesehatan pompa sentrifugal, dan melakukan diagnosis dan prediksi kesalahan untuk peralatan abnormal untuk melakukan pekerjaan pemeliharaan prediktif (Mobley, 2002).

Beberapa studi menunjukkan efektifitas penerapan *condition-based monitoring* untuk memantau kinerja pompa air sentrifugal. Liu et al. (2024) mengembangkan *framework* monitoring cerdas yang memadukan deteksi anomali dan diagnosis kesalahan untuk pompa pada pembangkit listrik tenaga nuklir. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi algoritma cerdas dapat meningkatkan akurasi prediksi, namun lebih berfokus pada aplikasi industri besar seperti pembangkit listrik dan tidak mengkaji implementasi pada sistem distribusi air bersih yang lebih sederhana seperti di lingkungan kampus. Chen et al. (2022) memfokuskan penelitian pada pemanfaatan sensor pintar dan sistem IoT untuk memonitor kondisi operasional pompa sentrifugal. Meskipun teknologi yang digunakan sudah cukup canggih, penelitian ini lebih menekankan pada pengembangan sistem berbasis sensor untuk mendeteksi kerusakan umum seperti keausan bantalan dan ketidakseimbangan impeller, tanpa eksplorasi mendalam mengenai parameter suhu, getaran, dan tekanan secara simultan dalam konteks aplikasi air bersih. Ali & Abdelhadi (2022) mengulas metode CBM dalam berbagai industri dan menyebutkan pentingnya integrasi sensor dan sistem kontrol untuk memonitor kesehatan mesin secara real-time. Namun, kajian tersebut lebih berfokus pada aplikasi di sektor manufaktur dan kurang mengulas penggunaan CBM dalam sistem distribusi air bersih, khususnya di area yang lebih terbatas seperti kampus atau fasilitas kecil lainnya.

Dalam studi ini diusulkan sebuah model pemantauan multi-parameter kondisi pompa sentrifugal untuk sistem distribusi air bersih. Parameter kondisi pompa yang dipantau meliputi getaran, temperatur, dan tekanan. Aplikasi pada sistem distribusi air bersih di kampus memberikan konteks baru dalam penerapan CBM yang belum banyak dieksplorasi, khususnya dalam sistem distribusi air bersih di lingkungan pendidikan yang memiliki karakteristik operasi berbeda dari industri besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pemantauan kondisi multi parameter sederhana terhadap operasi pompa yang dapat memberikan deteksi dini terhadap potensi kegagalan pada pompa sentrifugal di sistem distribusi air bersih.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Condition-Based Monitoring*

Mesin yang terus mengalami kerusakan (atau cacat) selama operasi normalnya sering kali menyebabkan kegagalan jika tidak dipantau secara teratur. Pemantauan kondisi adalah proses mengamati mesin untuk mendeteksi tanda-tanda potensi kerusakan sebelum terjadi yang dilakukan dengan mengumpulkan data kinerja mesin dan menganalisis tren untuk mendeteksi anomali (Kristi-Jo, 2023). Pemantauan Kondisi Mesin (*Condition-based Monitoring* – CBM) diakui sebagai strategi paling efisien untuk melaksanakan pemeliharaan di berbagai industri (Randall, 2021). CBM merupakan strategi pemeliharaan yang mengandalkan data kondisi operasi peralatan secara *real-time* untuk

mengidentifikasi dan memprediksi kerusakan sebelum terjadi kegagalan. Suatu pendekatan yang lebih andal yang dapat memantau kondisi kesehatan selama operasi pabrik dan memprediksi kerusakan (atau kesalahan), sebelum kegagalan (Sinha, 2020). CBM bergantung pada asumsi bahwa sebagian besar kerusakan tidak terjadi secara instan, dan mungkin untuk mendeteksi kemunculannya pada tahap awal proses kerusakan (Teixeira et al., 2020). Tujuan utama CBM adalah untuk merekomendasikan keputusan pemeliharaan berdasarkan informasi yang diperoleh melalui pemantauan kondisi (Jardine et al., 2006).

Menurut Sinha (2020), saat ini tersedia beberapa teknik uji non-destruktif (NDT) yang digunakan dalam industri untuk memenuhi kebutuhan pemantauan kondisi, yaitu pemantauan parameter mesin dan proses, suhu, pelumas, deteksi kebocoran, kebisingan, emisi akustik, dan getaran.

#### **Kerusakan pada pompa sentrifugal**

Pompa sentrifugal terdiri dari komponen berputar dan statis yang bekerja memindahkan cairan, namun interaksi antara bagian yang bergerak dengan cairan serta permukaan padat statis dapat menyebabkan munculnya berbagai kerusakan (Olesen & Shaker, 2020). Forbes (2011) membagi kegagalan pada pompa kedalam tiga kategori, yaitu: 1. Kerusakan hidrolis yang disebabkan oleh kondisi cairan yang mempengaruhi kinerja dan merusak komponen; 2. Kerusakan mekanis yang terjadi akibat interaksi antara komponen bergerak dan statis yang menyebabkan keausan; 3. Kategori lainnya yang mencakup masalah yang tidak termasuk dalam dua kategori tersebut, dimana konsumsi daya pompa sering kali digunakan sebagai indikator kinerja. Berdasarkan ketiga kategori tersebut, Olesen & Shaker (2020) menyajikan gambaran umum kesalahan yang dapat dideteksi dengan data terkait sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1.

#### **Kerusakan pada Motor Induksi**

Kerusakan motor terdiri dari kerusakan mekanik dan kelistrikan, dimana kerusakan mekanik meliputi kerusakan bearing dan eksentrisitas, sedangkan kerusakan kelistrikan meliputi kerusakan lilitan stator dan batang rotor (Thomson & Gilmore, 2003). Kerusakan bantalan dan kerusakan belitan stator merupakan dua kerusakan krusial yang sering terjadi dan memengaruhi pengoperasian pompa (Salloum Gaeid et al., 2012). Tanda-tanda kerusakan pada motor tersebut dapat dideteksi dengan cara: kerusakan rotor menggunakan analisis arus, getaran, atau suhu; kerusakan bantalan menggunakan analisis arus motor dan getaran; kerusakan lilitan stator menggunakan analisis arus motor (Sunal et al., 2022).

Tabel 1.

Jenis Kerusakan Pompa Sentrifugal.

Kategori	Jenis Kerusakan	Data terkait yang relevan
Kerusakan Hidrolik	Kavitasi	Getaran, efisiensi pompa, suara, tekanan, laju aliran
	Pulsasi tekanan	Getaran, Tekanan
	Dorongan radial	Temperatur
	Dorongan aksial	Temperatur
	Resirkulasi Hisap dan Buang	Tekanan, Suara
Kerusakan Mekanik	Kerusakan bantalan	Getaran, Tekanan, (gelombang tekanan/denyut kejut)
	Kerusakan Seal	Temperatur
	Kegagalan Pelumasan	Temperatur
	Getaran Berlebihan	Getaran
Kerusakan Lainnya	Konsumsi Daya Berlebihan	Tegangan, arus, kecepatan impeller
	Penyumbatan	Laju aliran

#### **Parameter Kinerja Pompa**

Pemantauan dan analisis getaran mungkin metode pemantauan kondisi yang paling banyak diterapkan untuk mesin berputar secara umum, dan cocok untuk mendeteksi kesalahan seperti

ketidakseimbangan, ketidaksejajaran, kelonggaran (Bloch & Budris, 2014). Menurut Beebe (2004), analisis kinerja pompa memerlukan pengukuran berulang terhadap parameter proses seperti suhu, tekanan, aliran, perpindahan, kecepatan, daya, dan waktu. Penelitian ini mengusulkan tiga parameter sebagai ukuran kinerja pompa sentrifugal dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Suhu merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan kondisi pompa untuk mendeteksi kegagalan dini pada komponen kritis (Chen et al., 2022).
- Peningkatan getaran dapat mengindikasikan masalah pada komponen rotasi pompa seperti ketidakseimbangan atau kerusakan impeller, yang berdampak langsung pada penurunan efisiensi operasional pompa (Liu et al., 2024).
- Perubahan tekanan adalah indikator umum dari kondisi pompa yang buruk dan dapat digunakan sebagai metrik utama untuk memprediksi performa dan mendeteksi masalah yang memerlukan perhatian lebih lanjut (Ali & Abdelhadi, 2022).

## METODE

1. Persiapan sistem pemantauan yang dilakukan pada studi terdahulu oleh Pramono et al. (2024) meliputi penentuan pompa yang menjadi objek penelitian, merancang instrumen pemantauan, serta penetapan interval waktu pengukuran secara berkala. Objek penelitian terdiri dari pompa Pedrollo JDWm 1CX dua unit dan Shimizu Pc-260 BIT dua unit pada instalasi distribusi air bersih terdiri dari pompa (termasuk motor penggerak), pipa, katup, tandon penampung, dan lain-lain. Pekerjaan yang disajikan hanya berfokus pada pompa sentrifugal dan membandingkan hasil yang diperoleh pada empat pompa.
2. Pengumpulan data.
  - a. Data hasil pengukuran dikumpulkan secara berkala untuk mendapatkan representasi akurat dari kondisi operasional pompa. Interval pengumpulan data yang digunakan adalah setiap minggu selama satu bulan. Pengukuran ini bertujuan untuk mengukur perubahan parameter selama pompa beroperasi selama kurun waktu tersebut. Perubahan nilai parameter ini akan merepresentasikan kondisi pompa.
  - b. Pengukuran menggunakan instrumen pengumpul data genggam (*hand-held data collector*) dengan metode dan alat sebagai berikut: **Pengukuran getaran**. Pengukuran ini bertujuan untuk mengukur tingkat getaran yang dapat mempengaruhi kinerja dan menimbulkan keausan dini pada komponen pompa. Menggunakan *vibration meter* untuk mengukur amplitudo getaran pada pada titik kritis pompa, yaitu pada area bantalan. **Pengukuran temperatur**. Memonitor suhu pada komponen utama, motor dan bantalan. Menggunakan infrared thermometer untuk mengukur suhu pada motor dan bantalan. **Pengukuran tekanan**. Mencatat tekanan fluida pada sisi masuk (inlet) pompa. *Pressure Gauge* instrumen bawaan pompa terpasang pada sisi inlet pompa.



(a) Pengukuran getaran



(b) Pengukuran suhu



(c) Pengukuran tekanan

Gambar 1.

Pengukuran Parameter Operasi Pompa

- c. Instrumen akuisisi data: Instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan data hasil pengukuran berupa lembar *Monitoring Check List*.

MONITORING CHECK LIST		Pompa No:	Tgl:
Parameter	Standar	Alat	Hasil
<b>MOTOR</b>			
▪ Periksa getaran	2,8 mm/s	Vibration meter	
▪ Periksa suhu	80°C	Infrared thermometer	
<b>POMPA</b>			
▪ Periksa getaran	2,8 mm/s	Vibration meter	
▪ Periksa suhu	80°C	Infrared thermometer	
▪ Periksa tekanan	3 Bar	Manometer	

**Gambar 2.**  
*Monitoring Check List*

- Pengolahan Data.** Data hasil pengukuran dikumpulkan menggunakan *data collection plan* dengan struktur tabel yang terdiri dari kolom parameter, waktu pengukuran, nilai getaran, temperatur, dan tekanan. Setiap baris mewakili satu titik waktu pengukuran. Visualisasi data menggunakan grafik waktu terhadap masing-masing parameter, dimana plot setiap parameter terhadap waktu untuk mengidentifikasi tren dan anomali. Grafik dan plotting tren data dibuat menggunakan spreadsheet
- Analisis hasil pengolahan data.** Analisis statistik, tren, dan deteksi anomali digunakan untuk memahami distribusi data, mengidentifikasi degradasi performa, serta mendeteksi potensi masalah pada pompa. Analisis kondisi pompa berdasarkan standar ISO 10816-7, rekomendasi produsen, dan spesifikasi pompa. Interpretasi hasil evaluasi untuk menentukan normal atau tidaknya kondisi pompa.

## PEMBAHASAN

### Hasil Pengukuran

Tabel 2 berikut ini menyajikan data hasil pengukuran berbagai parameter operasional pada empat pompa (P1, P2, P3, dan P4) dalam periode empat minggu. Parameter yang diukur meliputi getaran (mm/s), suhu (°C), serta tekanan (Bar). Setiap parameter dibandingkan dengan nilai standar untuk menilai kondisi operasional masing-masing pompa.

**Tabel 2.**  
Data hasil pengukuran

Pompa	Bagian	Parameter	Standar	Hasil Pengukuran				
				Minggu-1 (29-05-24)	Minggu-2 (05-06-24)	Minggu-3 (12-06-24)	Minggu-4 (19-06-24)	Rata-rata
P1	Motor	Suhu (°C)	80	34,60	37,30	40,40	34,90	36,80
		Getaran (mm/s)	2,8	0,14	0,18	0,16	0,19	0,17
	Pompa	Suhu (°C)	80	37,40	35,50	38,20	40,10	37,80
		Getaran (mm/s)	2,8	0,21	0,20	0,18	0,25	0,21
		Tekanan (Bar)	2,4	1,80	2,00	1,80	2,00	1,90
P2	Motor	Suhu (°C)	80	69,60	59,50	65,00	55,80	62,48
		Getaran (mm/s)	2,8	0,14	0,15	0,15	0,13	0,14
	Pompa	Suhu (°C)	80	56,20	52,10	50,70	49,60	52,15
		Getaran (mm/s)	2,8	0,22	0,19	0,20	0,20	0,20
		Tekanan (Bar)	2,4	2,40	2,60	2,60	2,60	2,55

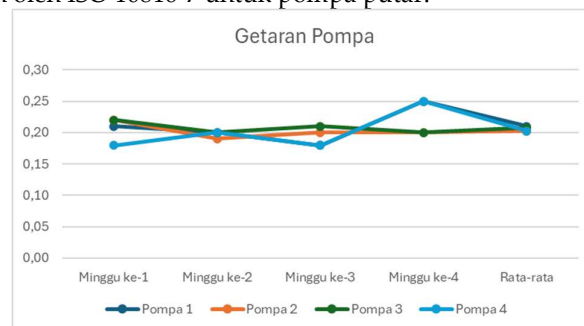
Motor	Suhu (°C)	80	54,30	59,90	52,50	46,00	53,18
	Getaran (mm/s)	2,8	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18
P3	Suhu (°C)	80	44,30	50,30	43,70	51,20	47,38
	Getaran (mm/s)	2,8	0,22	0,20	0,21	0,20	0,21
	Tekanan (Bar)	3	2,20	2,40	2,60	2,80	2,50
Motor	Suhu (°C)	80	51,30	56,40	46,70	43,00	49,35
	Getaran (mm/s)	2,8	0,19	0,25	0,21	0,23	0,22
P4	Suhu (°C)	80	57,50	62,50	43,30	57,40	55,18
	Getaran (mm/s)	2,8	0,18	0,20	0,18	0,25	0,20
	Tekanan (Bar)	3	2,40	2,80	2,40	2,60	2,55

Pada motor, suhu standar adalah 80°C, tetapi hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu aktual pada keempat pompa secara signifikan lebih rendah dari standar, berkisar antara 34,60°C hingga 69,60°C. Motor pompa P2 menunjukkan suhu tertinggi rata-rata sebesar 62,48°C, sementara motor pompa P1 memiliki suhu rata-rata terendah yaitu 36,80°C. Nilai getaran motor di semua pompa tetap berada di bawah standar 2,8 mm/s, dengan rentang antara 0,14 mm/s hingga 0,22 mm/s. Getaran pada pompa juga menunjukkan nilai yang relatif stabil dan jauh lebih rendah dari batas standar. Untuk suhu pada bagian pompa, nilai yang diukur juga berada di bawah standar 80°C. Pompa P4 mencatat suhu rata-rata tertinggi yaitu 55,18°C, sementara pompa P1 memiliki suhu rata-rata terendah yaitu 37,80°C. Getaran pada bagian pompa juga berada jauh di bawah standar, berkisar antara 0,18 mm/s hingga 0,25 mm/s. Sementara itu, tekanan yang diukur pada pompa menunjukkan variasi lebih besar, dengan nilai rata-rata berkisar antara 1,90 Bar hingga 2,55 Bar dibandingkan dengan standar 2,4 Bar atau 3 Bar.

### Analisis Kondisi Pompa

Analisis kondisi pompa menunjukkan beberapa tren yang relevan sebagaimana ditunjukkan grafik parameter operasi terhadap waktu pada Gambar 3, 4, dan 5.

**Getaran Vs. Waktu.** Grafik pada Gambar 3 menunjukkan perubahan amplitudo getaran seiring waktu. Berdasarkan grafik getaran terhadap waktu, amplitudo getaran yang terukur menunjukkan fluktuasi yang relatif kecil dan masih berada dalam batas standar 2,8 mm/s sebagaimana yang direkomendasikan oleh ISO 10816-7 untuk pompa putar.

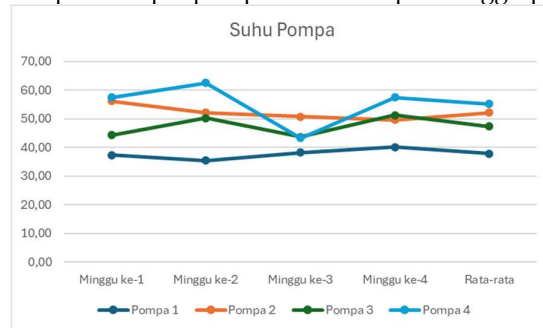


**Gambar 3.**  
Getaran Pompa Vs Waktu

Namun, terdapat beberapa tren menarik yang perlu dicermati, yaitu: Pompa P1 mengalami sedikit peningkatan getaran dari minggu ke minggu, dari 0,14 mm/s menjadi 0,19 mm/s. Walaupun masih dalam ambang batas aman, tren ini dapat mengindikasikan adanya awal degradasi pada bantalan atau sedikit ketidakseimbangan pada impeler. Pompa P4 memiliki nilai getaran tertinggi dibandingkan pompa lainnya, dengan fluktuasi antara 0,18 mm/s hingga 0,25 mm/s. Ini dapat mengindikasikan adanya potensi keausan komponen mekanis, meskipun belum mencapai level kritis. Analisis getaran

adalah salah satu metode paling efektif dalam *condition-based monitoring* untuk mendeteksi ketidakseimbangan dan ketidaksejajaran (Randall, 2021). Dengan demikian, pemantauan lebih lanjut diperlukan untuk menghindari peningkatan getaran yang dapat menyebabkan keausan lebih cepat.

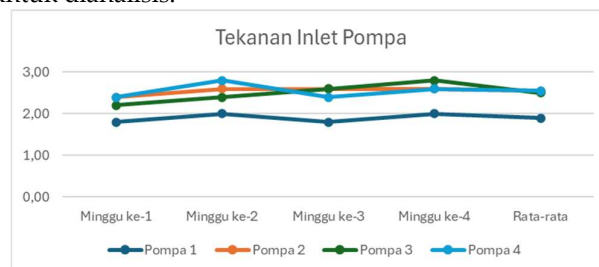
**Suhu Vs. Waktu.** Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan fluktuasi suhu selama periode pengamatan. Grafik tersebut menunjukkan fluktuasi suhu yang bervariasi pada setiap pompa. Grafik ini menunjukkan variasi suhu pada empat pompa selama empat minggu pengukuran.



**Gambar 4.**  
Suhu Pompa Vs Waktu

Secara umum, suhu setiap pompa mengalami fluktuasi tanpa pola yang benar-benar konsisten. Secara keseluruhan, suhu setiap pompa mengalami fluktuasi selama empat minggu, tetapi tetap berada dalam rentang yang relatif stabil. Pompa 2 menunjukkan kestabilan tertinggi, sedangkan Pompa 1 dan 4 mengalami variasi yang lebih signifikan. Tren ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan atau kondisi operasional mungkin berpengaruh terhadap perubahan suhu. Pemantauan lebih lanjut diperlukan untuk memastikan apakah fluktuasi ini berdampak pada kinerja pompa dalam jangka panjang. Peningkatan suhu bantalan dapat menjadi indikasi awal keausan komponen. Oleh karena itu, pemantauan lebih lanjut harus dilakukan untuk mencegah *overheating* yang dapat menyebabkan kerusakan prematur (Chen et al., 2022).

**Tekanan Vs. Waktu.** Grafik pada Gambar 5 menggambarkan variasi tekanan pada inlet pompa berdasarkan spesifikasi dan hasil pengukuran. Grafik tekanan menunjukkan variasi tekanan inlet pompa yang menarik untuk dianalisis.



**Gambar 5.**  
Tekanan Inlet Vs Waktu

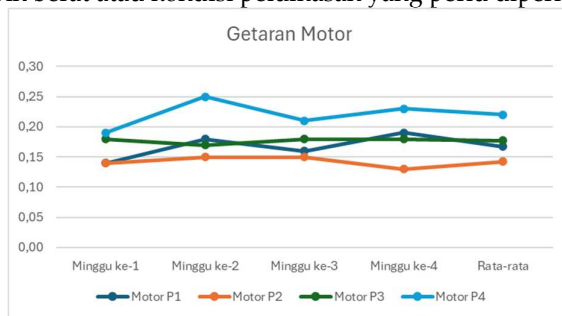
Pompa P1 memiliki rata-rata tekanan terendah, yaitu 1,90 bar, yang lebih rendah dari spesifikasi standar 2,4 bar. Hal ini dapat mengindikasikan adanya penyumbatan di jalur masuk atau kemungkinan kebocoran kecil dalam sistem. Fluktuasi tekanan yang signifikan dapat mengindikasikan adanya penyumbatan atau kavitasi (Ali & Abdelhadi, 2022). Pompa P3 dan P4 memiliki nilai tekanan yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan pompa lainnya, dengan nilai rata-rata masing-masing 2,50 bar dan 2,55 bar. Ini menunjukkan performa yang lebih optimal dibandingkan pompa P1. Pompa P2

memiliki nilai tekanan tertinggi (2,55 bar), yang sesuai dengan spesifikasi standar, menunjukkan bahwa sistem masih bekerja dalam kondisi normal tanpa hambatan signifikan.

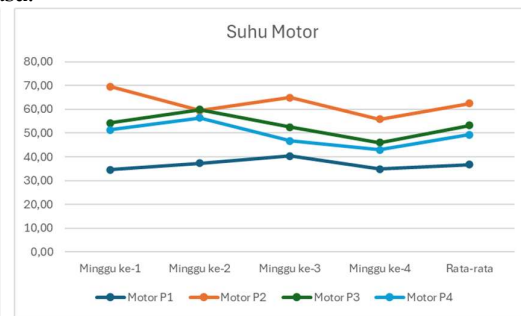
Fluktuasi tekanan mengindikasikan adanya penyumbatan atau kavitasi menunjukkan pentingnya untuk terus memantau kondisi tekanan untuk menghindari kegagalan operasional.

#### Analisis Kondisi Motor

Selain parameter pompa, analisis kondisi motor juga menunjukkan beberapa tren yang relevan sebagaimana ditunjukkan grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7. **Getaran motor.** Semua motor memiliki nilai getaran yang masih dalam ambang batas aman, dengan fluktuasi kecil. Namun, motor P4 menunjukkan sedikit peningkatan getaran dari 0,19 mm/s menjadi 0,25 mm/s, yang dapat mengindikasikan adanya ketidakseimbangan atau keausan pada bantalan motor. **Temperatur motor.** Motor pada P2 memiliki suhu tertinggi dibandingkan yang lain, dengan nilai rata-rata 62,48°C. Walaupun masih dalam batas aman, peningkatan suhu ini dapat dikaitkan dengan beban kerja yang lebih berat atau kondisi pelumasan yang perlu diperiksa.



Gambar 6. Getaran Pompa Vs Waktu



Gambar 7. Suhu Pompa Vs Waktu

**Fluktuasi suhu motor.** Motor P1 dan P3 memiliki fluktuasi suhu yang cukup signifikan, yang dapat dihubungkan dengan variasi beban atau efisiensi pendinginan motor yang tidak konsisten. Analisis suhu dan getaran motor sangat penting dalam mendeteksi potensi kerusakan pada lilitan stator dan bantalan. Oleh karena itu, pemantauan berkala diperlukan untuk memastikan performa optimal motor (Thomson & Gilmore, 2003).

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting dalam bidang pemeliharaan pompa sentrifugal, yaitu: a. Deteksi dini kerusakan. Dengan memantau tren parameter operasional, potensi kegagalan pompa dan motor dapat dideteksi lebih awal, memungkinkan tindakan korektif sebelum terjadi kegagalan total; b. Efisiensi operasional. Stabilitas suhu dan tekanan menunjukkan bahwa beberapa pompa beroperasi dalam kondisi optimal, sementara yang lainnya memerlukan perhatian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi; dan c. Pemeliharaan berbasis kondisi (CBM) lebih efektif. Metode ini memungkinkan pendekatan pemeliharaan yang lebih terencana dan berbasis data, mengurangi risiko *downtime* yang tidak terduga. Penelitian ini menegaskan pentingnya implementasi *Condition-Based Monitoring* (CBM) dalam sistem distribusi air bersih, khususnya di lingkungan pendidikan, yang memiliki keterbatasan dalam anggaran pemeliharaan tetapi membutuhkan keandalan operasional yang tinggi.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Condition-Based Monitoring* (CBM) multi parameter mampu memberikan deteksi dini terhadap potensi kegagalan pada pompa sentrifugal di sistem distribusi air bersih. Analisis parameter getaran, suhu, dan tekanan telah memberikan gambaran yang jelas tentang kondisi operasional pompa, serta mengidentifikasi anomali yang dapat menjadi indikasi awal degradasi komponen.

Sebagai saran untuk penelitian lanjutan, beberapa aspek berikut dapat menjadi fokus penelitian berikutnya, yaitu: 1. Mengkaji hubungan antara performa pompa dan konsumsi energi untuk meningkatkan efisiensi operasional; dan 2. Melakukan studi dengan durasi lebih lama untuk memahami tren degradasi pompa dan motor secara lebih komprehensif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., & Abdelhadi, A. (2022). Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. *Applied Science*, 12. <https://doi.org/10.3390/app12020688>
- Beebe, R. S. (2004). *Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring*. Elsevier Ltd.
- Bloch, H. P., & Budris, A. R. (2014). *Pump User's Handbook Life Extension* (4th ed.). The Fairmont Press, Inc.
- Chen, L., Wei, L., Wang, Y., Wang, J., & Li, W. (2022). Monitoring and Predictive Maintenance of Centrifugal Pumps Based on Smart Sensors. *Sensors*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/s22062106>
- Forbes, G. (2011). A review of major centrifugal pump failure modes with application to the water supply and sewerage industries. *ICOMS Asset Management Conference Proceedings*.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.09.012>
- Kristi-Jo, J. H. G.-R. (2023). *Reduce dreaded pump problems or failures with condition monitoring*. [www.Plantengineering.Com](https://www.plantengineering.com/articles/reduce-dreaded-pump-problems-or-failures-with-condition-monitoring/). <https://www.plantengineering.com/articles/reduce-dreaded-pump-problems-or-failures-with-condition-monitoring/>
- Liu, Y., Huang, Q., Li, H., Li, Y., Li, S., Zhu, R., & Fu, Q. (2024). A Novel Intelligent Condition Monitoring Framework of Essential Service Water Pumps. *Applied System Innovation*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/asi7040061>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (Second). Elsevier Science.
- Olesen, J. F., & Shaker, H. R. (2020). Predictive maintenance for pump systems and thermal power plants: State-of-the-art review, trends and challenges. *Sensors (Switzerland)*, 20(8). <https://doi.org/10.3390/s20082425>
- Pramono, E., Putra, N. I., Feriadi, I., & Riva'i, M. (2024). Perancangan Pemeliharaan Pompa Air di Kampus POLMAN BABEL Menggunakan Metode Condition-based Monitoring. *SNITT*, 234–239. <https://snitt.polman-babel.ac.id/index.php/snitt/article/view/581>
- Randall, R. B. (2021). *Vibration-based condition monitoring : industrial, automotive and aerospace applications* (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Sinha, J. K. (2020). Industrial Approaches in Vibration-Based Condition Monitoring. In *Industrial Approaches in Vibration-Based Condition Monitoring*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315147222>
- Sunal, C. E., Dyo, V., & Velisavljevic, V. (2022). Review of Machine Learning Based Fault Detection for Centrifugal Pump Induction Motors. *IEEE Access*, 10(June), 71344–71355. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3187718>
- Teixeira, H. N., Lopes, I., & Braga, A. C. (2020). Condition-based maintenance implementation: a literature review. *Procedia Manufacturing*, 51(2020), 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.033>
- Zhao, W., Egusquiza, M., Valero, C., Valentín, D., Presas, A., & Egusquiza, E. (2020). On the use of artificial neural networks for condition monitoring of pump-turbines with extended operation. *Measurement*, 163, 107952. <https://doi.org/10.1016/j.MEASUREMENT.2020.107952>