



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 11242-11247

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Implementasi Reliability Centered Maintenance (RCM) Berbasis Analisis Kuantitatif Vibrasi dan Infrared Thermography Pada Pompa Sentrifugal Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem

Ahmad Shidiq¹, Marscel Alpharo Samloy², Ahmad Taufik Joenoes³, Diki Ismail Permana⁴

^{1,2,3,4}Progam Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional

ahmad.shidiq@mhs.itenas.ac.id

Abstrak

Pompa sentrifugal merupakan peralatan vital dalam sistem industri yang berperan penting dalam menjaga kontinuitas proses produksi. Peralatan ini rentan terhadap berbagai kegagalan mekanis, seperti mass imbalance, misalignment, dan kerusakan bearing. Gangguan tersebut umumnya ditandai dengan meningkatnya tingkat getaran serta munculnya anomali temperatur pada komponen utama, yang apabila tidak segera ditangani dapat menyebabkan penurunan kinerja hingga kegagalan sistem. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pemeliharaan yang tepat untuk mendeteksi kerusakan sejak dini secara akurat dan sistematis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) berbasis pendekatan kuantitatif melalui integrasi analisis vibrasi dan Infrared Thermography. Pengukuran getaran dilakukan untuk mengidentifikasi spektrum frekuensi dominan, yang kemudian dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 dalam mengevaluasi tingkat keparahan getaran mesin. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai getaran berada pada zona C (kelas 3), yang mengindikasikan adanya potensi mass imbalance pada sistem pompa. Selanjutnya, analisis Infrared Thermography dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 18434-2 untuk mendeteksi distribusi temperatur pada area bearing housing dan coupling. Hasil pengamatan menunjukkan adanya pola pemanasan asimetris yang mengindikasikan potensi misalignment serta degradasi pelumasan. Integrasi kedua metode condition monitoring dalam kerangka RCM mampu meningkatkan ketepatan identifikasi failure mode, mengoptimalkan interval pemeliharaan, serta mendukung peningkatan keandalan dan efisiensi operasi pompa sentrifugal secara berkelanjutan dan optimal.

Kata kunci: RCM, Pompa Sentrifugal, Analisis Getaran, Infrared Thermography, Maintenance.

1. Latar Belakang

Pompa sentrifugal merupakan salah satu peralatan penting dalam sistem industri yang berfungsi untuk memindahkan fluida secara kontinu dengan tingkat keandalan operasi yang tinggi. Kinerja pompa yang optimal sangat berpengaruh terhadap kontinuitas proses produksi, sehingga gangguan pada sistem pompa dapat menyebabkan penurunan performa, peningkatan biaya operasional, hingga terjadinya downtime pada sistem produksi. Beberapa kegagalan mekanis yang umum terjadi pada pompa sentrifugal antara lain mass imbalance, misalignment, kerusakan bearing, serta degradasi sistem pelumasan. Kegagalan tersebut umumnya ditandai oleh peningkatan tingkat getaran dan perubahan distribusi temperatur pada komponen utama mesin.

Dalam upaya mendeteksi potensi kerusakan pada peralatan berputar, berbagai teknik condition monitoring telah banyak diterapkan di lingkungan industri. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah analisis vibrasi, yang mampu mengidentifikasi karakteristik spektrum frekuensi yang berkaitan dengan mode kegagalan tertentu berdasarkan standar ISO 10816-3. Selain itu, metode Infrared Thermography juga banyak digunakan sebagai teknik Non-Destructive Test (NDT) untuk mendeteksi distribusi temperatur pada permukaan komponen mesin sesuai dengan standar ISO 18434. Analisis vibrasi pada pompa sentrifugal mampu mengidentifikasi berbagai jenis cacat impeller dan kavitasi melalui pemrosesan data domain waktu dan frekuensi secara akurat [17]. Kedua metode tersebut memiliki keunggulan dalam mendeteksi indikasi awal kerusakan yang terjadi pada sistem pompa. [1]

Infrared Thermography telah berkembang menjadi teknik diagnosis kondisi non-kontak yang handal untuk mendeteksi berbagai mode kegagalan pada mesin berputar termasuk *bearing*, *gearbox*, dan rotor [2]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) berbasis integrasi analisis vibrasi dan Infrared Thermography pada pompa sentrifugal. RCM sendiri merupakan pendekatan sistematis dalam manajemen pemeliharaan yang bertujuan untuk menentukan strategi perawatan paling efektif guna menjaga fungsi sistem serta meningkatkan keandalan peralatan industri [3].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis condition monitoring pada pompa sentrifugal dengan integrasi analisis vibrasi dan Infrared Thermography dalam kerangka Reliability Centered Maintenance (RCM). Pendekatan RCM digunakan untuk mendukung evaluasi kondisi peralatan serta penyusunan strategi pemeliharaan berbasis mode kegagalan dan konsekuensi operasional [2], [3].

Pengambilan data dilakukan pada pompa sentrifugal yang beroperasi dalam kondisi normal. Pengukuran getaran dilakukan menggunakan vibration analyzer pada arah aksial, horizontal, dan vertikal pada sisi drive end (DE) dan non-drive end (NDE). Data vibrasi dianalisis dengan mengacu pada standar ISO 10816-3 untuk mengevaluasi tingkat keparahan getaran serta mengidentifikasi indikasi gangguan pada komponen sistem pemompaan [4], [5]. Gangguan yang teridentifikasi umumnya berkaitan dengan kondisi komponen seperti bearing, seal, dan impeller yang mempengaruhi stabilitas operasi pompa [6].

Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan kamera termal berbasis Infrared Thermography untuk merekam distribusi panas pada area bearing housing, casing pompa, dan coupling. Integrasi analisis vibrasi dan thermography digunakan untuk memperoleh gambaran kondisi peralatan secara lebih komprehensif, dimana analisis vibrasi mampu mendeteksi gangguan mekanis lebih awal sedangkan thermography menunjukkan distribusi temperatur pada komponen tertentu yang sulit dipantau melalui sensor getaran [7]. Interpretasi distribusi temperatur mengacu pada standar thermography untuk mendeteksi indikasi peningkatan gesekan maupun gangguan mekanis pada sistem.

Analisis data selanjutnya dilakukan menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) melalui identifikasi fungsi sistem, analisis mode kegagalan, serta penentuan prioritas pemeliharaan. Evaluasi kegagalan dilakukan menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Criticality Analysis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan serta tingkat dampaknya terhadap sistem operasi [8], [9].

Penentuan prioritas kegagalan dilakukan melalui perhitungan Risk Priority Number (RPN) yang diperoleh dari parameter severity, occurrence, dan detection. Nilai RPN digunakan untuk menentukan prioritas tindakan pemeliharaan pada komponen yang memiliki tingkat risiko kegagalan tertinggi (Taufik, 2025). Penerapan pendekatan FMEA dalam kerangka RCM pada sistem pompa sentrifugal juga digunakan untuk mendukung strategi pemeliharaan berbasis kondisi serta peningkatan keandalan peralatan [10], [11], [12].

Implementasi FMEA pada pompa sentrifugal terbukti mampu mengidentifikasi komponen kritis berdasarkan nilai RPN tertinggi sebagai dasar penentuan prioritas tindakan pemeliharaan preventif dan korektif [17]. "Pendekatan pemantauan kondisi berbasis analisis vibrasi yang diintegrasikan dengan kecerdasan buatan menunjukkan akurasi deteksi hingga 94% terhadap berbagai mode kegagalan pompa dibandingkan pemantauan berbasis ambang batas konvensional [18].

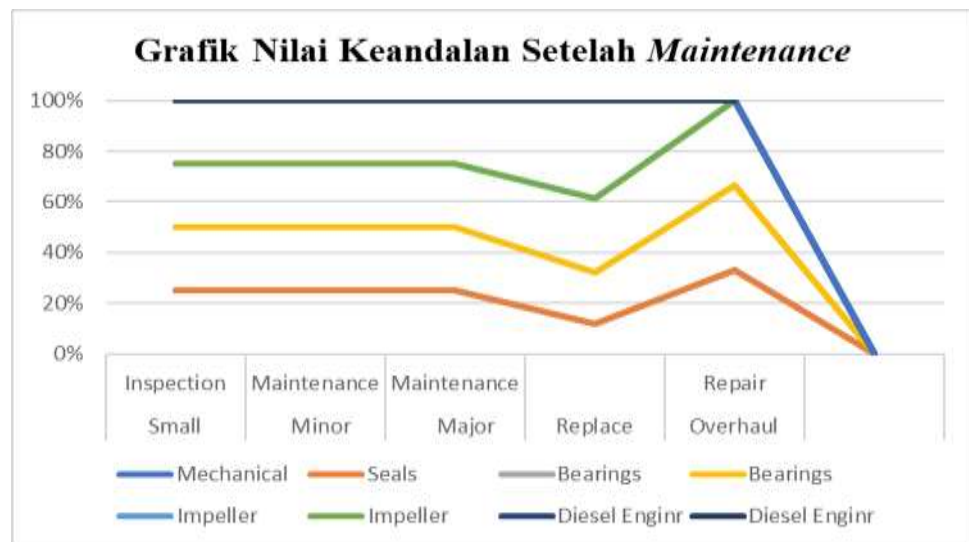
Hasil dan Diskusi

Perhitungan nilai keandalan menggunakan pola distribusi *Weibull* yang dinilai relevan pada metode RCM dengan nilai-nilai dari tabel MTBF (*Mean time before failure*) dan waktu pergantian/ *replacement*. Berdasarkan data-data yang sudah diperoleh maka didapatkan :



Gambar 5 Grafik Keandalan Komponen Pompa

Nilai keandalan komponen kritis akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jam operasi. Berdasarkan hasil perhitungan, waktu pelaksanaan *maintenance* ditetapkan pada saat nilai keandalan mencapai 0,5. Setelah tindakan perawatan dilakukan, nilai keandalan komponen akan kembali meningkat. Perubahan nilai keandalan tersebut dapat ditunjukkan pada grafik berikut ini :



Gambar 5 Grafik Keandalan Setelah Maintenance

Sesuai dengan perhitungan nilai keandalan, maka hasil yang diperoleh adalah interval waktu pada masing – masing komponen pada saat nilai keandalan mencapai 0,5. Oleh karena itu maka jadwal *maintenance* setiap komponen utama pompa sentrifugal akan disajikan pada tabel 1 berisikan tentang jenis perawatan untuk komponen pada komponen utama serta waktu yang direkomendasikan untuk perawatan berdasarkan *manual book*. Rekomendasi waktu melaksanakan diperoleh :

Tabel 1. *Strategy Maintenance of Centrifugal Pump* (Patterson,2016)

Nama Komponen	Small Inspection	Minor Maintenance	Major Maintenance	Replace	Overhaul Repair
Mechanical Seals	2 bulan	3 bulan	6 bulan	6.336 Jam	2 Tahun
Bearings	2 Minggu	3 bulan	6 bulan	11.160 Jam	2 Tahun
Impeller	2 Minggu	3 bulan	6 bulan	16.032 Jam	2 Tahun
Diesel Enginr	2 Minggu	3 bulan	6 bulan	20.911 Jam	2,5 Tahun

- **Reliability Centered Spares**

Berdasarkan perhitungan keandalan dan MBTF pada masing masing komponen, didapatkan estimasi kebutuhan untuk dua tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 2. *Tabel Reliability Centered Spares*

Komponen	Spare Stock
Mechanical seal	3 Pcs
Bearing	3 Pcs
Lubricant	1 Drum 300 ml
Impeller	2 Pcs
Power Unit Components	2 Pcs/systems

- **Biaya Maintenance**

Dengan estimasi biaya *maintenance* selama 2 tahun maka biaya maintenance unit pompa sentrifugal adalah sebagai berikut :

Tabel 3. *Biaya Maintenance*

Maintenance	Frekuensi	Waktu (Jam)	Gaji Operator (Jam)	Biaya
Inspeksi ringan	23	2	Rp19.570,00	Rp900.220,00
Minor Maintenance	4	2	Rp19.570,00	Rp156.560,00
Major Maintenance	2	3	Rp19.570,00	Rp117.420,00
Overhaul	1	48	Rp19.570,00	Rp939.360,00
Mechanical seal Replacement	2	10	Rp19.570,00	Rp391.400,00
Bearing replacement	1	12	Rp19.570,00	Rp234.840,00
Oil Replacement	4	4	Rp19.570,00	Rp 200.130,00
Impeller Replacement	1	16	Rp19.570,00	Rp313.120,00
Total			Rp 3.253,020	

Berdasarkan hasil analisis yang telah didapatkan, diketahui bahwa komponen pompa sentrifugal memiliki tingkat risiko kegagalan yang berbeda. Hasil perhitungan Risk Priority Number (RPN) menunjukkan bahwa komponen bearing[A4.1][A5.1][A5.2] memiliki nilai tertinggi dibandingkan komponen lainnya, yaitu sebesar 1920. Nilai tersebut menunjukkan bahwa bearing merupakan komponen paling kritis dalam sistem pompa dan perlu menjadi prioritas utama dalam program pemeliharaan. Tingginya nilai RPN ini menunjukkan bahwa

kegagalan pada bearing memiliki potensi dampak yang signifikan terhadap kinerja pompa dan dapat menyebabkan gangguan operasional serta peningkatan downtime pada sistem.

Hasil analisis vibrasi menunjukkan adanya indikasi mass imbalance yang ditandai dengan peningkatan amplitudo getaran pada frekuensi dominan 1x RPM. Kondisi ini dapat meningkatkan beban dinamis pada komponen berputar, khususnya pada bearing, sehingga mempercepat proses keausan dan menurunkan umur pakai komponen. Selain itu, hasil pengukuran menggunakan Infrared Thermography menunjukkan adanya distribusi temperatur yang tidak merata pada area bearing housing dan coupling yang ditandai dengan munculnya hotspot. Fenomena ini mengindikasikan adanya peningkatan gesekan mekanis yang kemungkinan disebabkan oleh misalignment atau degradasi sistem pelumasan pada komponen pompa hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yaitu anomali termal yang muncul sebagai hotspot pada area bearing housing yang terdeteksi melalui IRT berkorelasi langsung dengan kondisi kerusakan pelumasan dan peningkatan gesekan komponen, yang dapat dikonfirmasi melalui analisis vibrasi [13].

Serta Penelitian oleh Tauheed Mian beliau berpendapat bahwa pendekatan integrasi analisis vibrasi dan Infrared Thermography mampu mendiagnosis kombinasi kegagalan ganda komponen terutama bearing secara lebih komprehensif dibandingkan pendekatan tunggal, yang mendukung kerangka pengambilan keputusan RCM berbasis kondisi aktual[14].

Berdasarkan perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF), setiap komponen memiliki interval kegagalan yang berbeda sehingga strategi pemeliharaan perlu disesuaikan dengan karakteristik masing-masing komponen. Integrasi analisis vibrasi dan Infrared Thermography dalam kerangka Reliability Centered Maintenance (RCM) memungkinkan identifikasi mode kegagalan secara lebih komprehensif. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi diagnosis kondisi peralatan, tetapi juga membantu dalam menentukan interval maintenance yang lebih optimal guna meningkatkan keandalan serta kontinuitas operasi pompa sentrifugal. Temuan ini menyatakan bahwa ketidakseimbangan rotor dan kerusakan bearing merupakan penyebab utama peningkatan getaran pada mesin berputar.

Hasil penelitian ini juga menyatakan bahwa pada sistem pompa sentrifugal, komponen *bearing* sering menjadi komponen kritis dengan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi karena memiliki frekuensi kegagalan yang cukup tinggi serta berdampak langsung terhadap performa operasional pompa. Kerusakan pada bearing dapat menyebabkan peningkatan getaran, ketidakseimbangan sistem, serta menurunkan efisiensi kerja pompa sehingga komponen ini perlu mendapatkan prioritas utama dalam program perawatan berbasis *Reliability Centered Maintenance (RCM)* [6].

Peningkatan amplitudo getaran yang terdeteksi pada kondisi *bearing* rusak menunjukkan bahwa analisis vibrasi dapat menjadi dasar perencanaan pemeliharaan prediktif untuk meningkatkan keandalan sistem pompa sentrifugal [19].

Selain itu, fenomena peningkatan amplitudo getaran pada frekuensi dominan 1x RPM yang teridentifikasi pada penelitian ini menunjukkan *mass imbalance* pada poros menyebabkan gaya tidak seimbang yang menimbulkan getaran dan meningkatkan tegangan pada komponen seperti *bearing* dan *coupling* sehingga dapat mempercepat kegagalan sistem [15]. Penerapan FMEA berbasis nilai RPN pada sistem pompa menunjukkan bahwa kegagalan impeller dan bearing merupakan mode kegagalan dengan risiko tertinggi yang perlu diprioritaskan dalam program pemeliharaan [20].

Selanjutnya, hasil pengamatan Pemantauan Infrared thermography memiliki potensi besar sebagai metode deteksi dini terhadap kondisi kerusakan fisik pada bearing maupun gangguan sistem pelumasan. Kondisi kekurangan pelumasan yang tidak terdeteksi sejak awal dapat berlanjut menjadi kerusakan permanen pada komponen *bearing* sehingga pendekatan ini perlu mendapat perhatian lebih dalam program *condition monitoring* peralatan berputar[16].

Oleh karena itu hasil Penelitian ini mampu memberikan pendekatan diagnosis yang lebih akurat dalam mengidentifikasi komponen kritis pada pompa sentrifugal serta menentukan prioritas tindakan pemeliharaan yang efektif untuk meminimalkan potensi kegagalan sistem.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi analisis vibrasi dan Infrared Thermography dalam kerangka Reliability Centered Maintenance (RCM) mampu meningkatkan akurasi identifikasi mode kegagalan pada pompa sentrifugal secara lebih komprehensif dibandingkan pendekatan tunggal. Evaluasi berdasarkan ISO 10816-3 menunjukkan kondisi pompa berada pada Zona C (kelas 3) dengan indikasi dominan mass imbalance, yang diperkuat oleh temuan anomali termal pada bearing housing dan coupling sesuai ISO 18434-1. Validasi silang antara parameter dinamis dan termal menghasilkan diagnosis yang lebih reliabel dalam menentukan akar penyebab kegagalan Analisis Risk Priority Number (RPN) menempatkan komponen bearing sebagai prioritas utama perawatan, sementara perhitungan MTBF memberikan dasar kuantitatif dalam optimasi interval maintenance. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada model integrasi condition monitoring berbasis RCM yang mampu mendukung strategi pemeliharaan berbasis kondisi aktual, menekan potensi downtime, serta meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasi sistem pompa sentrifugal secara berkelanjutan.

Referensi

1. M. Hatamigrousi, P. Casoli, M. Karimi, dan M. Rundo, "Vibration Analysis of a Centrifugal Pump with Healthy and Defective Impellers and Fault Detection Using Multi-Layer Perceptron," 2024.
2. Y. Li et al., "A Review of Fault Diagnosis Methods for Rotating Machinery Using Infrared Thermography *Micromachines*", 2022.
3. A. Wicaksono, E. D. Priyana, and Y. P. Nugroho, "Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) pada Pompa Sentrifugal di PT. X," *J. Tek. Ind. (UIN Suska Riau)*, 2023.
4. J. Geisbush and S. T. Ariaratnam, "Reliability Centered Maintenance (RCM): Literature Review of Current Industry State of Practice," 2023.
5. J. T. Juwandono and J. Purnama, "Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Age Replacement," 2023.
6. F. Rahman, "Penggunaan Interval Kepercayaan dalam Analisis Efektivitas Promosi terhadap Penjualan Ritel," *J. Stat. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 34–42, 2023.
7. I. K. D. P. Putra, A. Taufik, and E. Saefudin, "Analisis Getaran Poros pada Motor dan Pompa yang Mengalami Misalignment," 2016.
8. D. Antoniohud, I. Pratiwi, and M. Z. Hermanto, "Analisis Perawatan Mesin Pompa Sentrifugal dengan Metode Reliability Centered Maintenance," *Profisiensi J. Progr. Stud. Tek. Ind.*, 2022.
9. D. M. El-Gazzar and M. A. Hashim, "Vibration Analysis and Infrared Thermography Technique for Evaluating Misalignment Problem," *Eur. J. Mech. Eng. Res.*, 2018.
10. A. Rahman and A. Sopanah, "Digitalisasi keuangan daerah dan kemandirian fiskal," *J. Akunt. Pemerintah.*, vol. 6, no. 1, pp. 23–37, 2021.
11. D. Sumarta, W. Suwea, and R. Setiawan, "Penerapan Metode Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA) pada Rem Mekanik Sub Komponen Alat Angkut Konveyor Rel," 2019.
12. S. A. E. Sinaga and A. C. Sembiring, "Perencanaan Pemeliharaan Mesin Pompa Centrifugal Menggunakan Metode RCM," 2024.
13. C. Okwuobi, B. Nkoi, and E. O. Isaac, "Cost Effective Maintenance Strategy for Centrifugal Pumps Using Reliability Centred Maintenance," *Int. J. Front. Eng. Technol. Res.*, 2023.
14. E. M. Widodo, "Application of Reliability Centered Maintenance Centrifugal Pumps to Minimize Downtime in PDAM Magelang City," 2023.
15. A. Choudhary, D. Goyal, and S. S. Letha, "Infrared Thermography-Based Fault Diagnosis of Induction Motor Bearings Using Machine Learning," 2021.
16. T. Mian, A. Choudhary, and S. Fatima, "Vibration and Infrared Thermography Based Multiple Fault Diagnosis of Bearing Using Deep Learning," *Nondestruct. Test. Eval.*, 2022.
17. V. Panagiotopoulou, E. Petriconi, M. Giglio, and C. Sbarufatti, "Deep Learning-Based Identification of Shaft Imbalance Faults in Rotating Machinery Using the NARX Model," 2025.
18. M. Wael, "A Passive Thermography Approach to Bearing Condition Monitoring," *JOJ Mater. Sci.*, vol. 1, no. 4, p. 555567, 2017.
19. Z. F. Emzain et al., "Implementation of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Centrifugal Pump Maintenance in Water Supply Distribution System," 2024.
20. R. Ergashev et al., "Assessment of the Condition of Pump Units Based on Vibration Diagnostic Indicators," *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2025.
21. F. Jameson, E. Ubom, dan U. Ukommi, "Vibration Analysis for Predictive Maintenance and Improved Machine Reliability of Electric Motors in Centrifugal Pumps," *Signals and Communication Technology*, Springer, 2024.
22. J. P. Siahaan et al., "Implementation of Failure Mode and Effects Analysis in the Maintenance Strategy for the Main Engine Cooling System Pump of Fishing Vessels," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 2025.