

PENERAPAN *PREDICTIVE MAINTENANCE* UNTUK MENDETEKSI
CACAT RODA GIGI LEBIH DINITerkisah Alif Rizky¹, Wahyu Dirgantara¹, Ariyanto¹, Ramli¹¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, SungailiatCorresponding Author: akukamu01@gmail.com**ABSTRAK**

Sistem transmisi roda gigi merupakan komponen kritis dalam mesin industri yang rawan mengalami degradasi akibat beban kerja kontinu. Deteksi dini terhadap kerusakan roda gigi sangat krusial untuk mencegah kegagalan katastropik dan menekan waktu henti produksi (downtime). Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan sistem predictive maintenance berbasis analisis getaran dan pembelajaran mesin untuk mendeteksi serta mengklasifikasikan kondisi roda gigi lurus (spur gear) dan roda gigi helik (helical gear). Skenario kerusakan yang diuji mencakup kondisi aus, normal dan kerusakan struktural berupa rompal (chipping/breakage). Data getaran diakuisisi menggunakan sensor akselerometer triaksial melalui perangkat uji gearbox test rig.

Kata Kunci : *Predictive Maintenance, Analisis Getaran, Roda Gigi Lurus, Roda Gigi Helik, Keausan, Rompal.*

ABSTRACT

Gear transmission systems are critical components in industrial machinery that are susceptible to degradation due to continuous operational loads. Early detection of gear damage is essential to prevent catastrophic failure and minimize production downtime. This study aims to implement a predictive maintenance system based on vibration analysis and machine learning to detect and classify the conditions of spur gears and helical gears. The damage scenarios tested include wear, normal operating conditions, and structural damage such as chipping or fractures. Vibration data were acquired using a triaxial accelerometer on a gearbox test rig.

Keywords: *Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Spur Gears, Helical Gears, Wear, Spalling.*

1. PENDAHULUAN

Fasilitas industri modern sangat bergantung pada keandalan sistem transmisi mekanis, dimana roda gigi bertindak sebagai komponen kritis dalam menyalurkan daya dan gerakan. Dalam aplikasinya, roda gigi lurus (*spur gear*) dan roda gigi helik (*helical gear*) adalah dua jenis komponen yang paling banyak digunakan. Roda gigi lurus dipilih karena efisiensinya yang tinggi pada kecepatan rendah, sedangkan roda gigi helik lebih unggul untuk operasional berkecepatan tinggi karena kontak giginya yang bertahap dan lebih senyap.

Secara tradisional, perawatan mesin dilakukan melalui pendekatan reaktif (*run-to-failure*) atau preventif berbasis waktu (*time-based maintenance*). Namun, metode ini tidak lagi memadai untuk membedakan karakteristik kegagalan spesifik, seperti evolusi dari keausan normal (*normal wear*) menjadi kerusakan struktural yang parah seperti rompal (*chipping/tooth breakage*). Keausan normal merupakan fase degradasi alami

yang terjadi seiring waktu operasional, tetapi jika akumulasi beban berlebih atau kelelahan material (*fatigue*) terjadi, kerusakan dapat bereskalasi dengan cepat menjadi rompal pada satu atau beberapa gigi.

Urgensi dari penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak industri untuk memiliki metode mitigasi yang mampu membedakan secara akurat antara kondisi aus yang masih dalam batas normal dengan indikasi awal terjadinya rompal, baik pada karakteristik radial roda gigi lurus maupun meshing helik. Alur berpikir dalam penyusunan solusi ini didasarkan pada integrasi ekstraksi fitur domain waktu-frekuensi untuk menangkap lonjakan energi sesaat (*transient*) saat gigi yang rompal atau aus melewati titik kontak. Dengan mendeteksi transisi dari aus normal ke rompal sejak fase inisiasi, tindakan korektif dapat dijadwalkan secara akurat tanpa mengganggu ritme produksi massal.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menerapkan system *predictive maintenance* yang mampu mengenali dan mengklasifikasikan pola cacat spesifik pada roda gigi secara prematur. Tujuan utama yang ingin dicapai adalah menganalisis perbedaan respons dinamis getaran antara roda gigi lurus dan helik saat mengalami keausan, normal, dan rompal, serta mengukur tingkat akurasi deteksi dininya.

2. METODE

Metode penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi penerapan *predictive maintenance* dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kondisi roda gigi lurus (*spur gear*) dan roda gigi helik (*helical gear*). Alur pelaksanaan penelitian dibagi menjadi empat tahapan utama, yaitu: persiapan spesimen dan pemodelan kerusakan, akuisisi data getaran, ekstraksi fitur sinyal, serta klasifikasi kondisi berbasis buatan.

Pengujian dilakukan menggunakan perangkat uji dinamika roda gigi (*gearbox test rig*) yang dihubungkan dengan motor penggerak AC berkecepatan variabel dan beban magnetik (*magnetic brake*) sebagai simulator beban kerja industri. Sensor akselerometer triaksial dipasang pada rumah bantalan (*bearing housing*) gearbox guna menangkap respons getaran pada tiga sumbu. Sinyal analog dari sensor kemudian dialirkan menuju perangkat keras *Data Acquisition (DAQ)* dengan frekuensi tinggi untuk memastikan komponen frekuensi tinggi dari ketukan (*meshing frequency*) dan modulasi cacat dapat tertangkap dengan utuh.

Data getaran mentah (*raw data*) yang diperoleh dari domain waktu kemudian diproses menggunakan perangkat lunak komputasi untuk diekstraksi menjadi fitur-fitur diagnostik. Pendekatan ekstraksi fitur dilakukan melalui tiga domain:

1. Domain waktu (*time domain*) menghitung nilai statistik global seperti *Root Mean Square (RMS)* untuk melihat energi getaran, kurtosis untuk mendeteksi lonjakan impulsif akibat gigi rompal.
2. Domain frekuensi (*frequency domain*) mengtransformasikan sinyal menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk mengidentifikasi amplitudo pada *Gear Mesh Frequency (GMF)* beserta pita sampingnya.
3. Domain waktu frekuensi (*time frequency domain*) menggunakan *Continuous Wavelet Transform (CWT)* untuk memetakan transisi energi non-stasioner yang terjadi sesaat ketika gigi yang mengalami cacat rompal saling bertumbukan (*mesh*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Sinyal Domain Waktu dan Frekuensi Berdasarkan hasil akuisisi data, sinyal getaran mentah menunjukkan perbedaan karakteristik yang signifikan antara roda gigi lurus (*spur gear*) dan roda gigi helik (*helical gear*).

Kondisi aus normal (*normal wear*) pada roda gigi lurus dan helik, kondisi aus dan normal ditandai dengan amplitudo sinyal yang stabil dan sebaran energi yang merata pada domain waktu. Pada domain frekuensi (*FFT*), energi terpusat pada *Gear Mesh Frequency (GMF)* utama beserta harmonisnya dengan nilai amplitudo yang rendah. Roda gigi helik secara konsisten menunjukkan nilai *Root Mean Square (RMS)* yang lebih rendah dibandingkan roda gigi lurus akibat efek kontak gigi bertahap yang mereduksi gaya kejut operasional.

Kondisi rompal (*chipping/tooth breakage*) : ketika terjadi cacat rompal, muncul lonjakan impulsif periodik pada domain waktu setiap kali gigi yang cacat mengalami kontak (*meshing*). Pada roda gigi lurus, lonjakan ini sangat kontras dengan nilai kurtosis yang meningkat tajam dari nilai normal menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, pada roda gigi helik, peningkatan nilai kurtosis tidak separah roda gigi lurus. Hal ini disebabkan oleh pembagian beban aksial dan kontinu pada roda gigi helik yang cenderung meredam dampak benturan radial dari area gigi yang rompal

Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa pendekatan *predictive maintenance* berbasis pembelajaran media ajar sangat efektif untuk mendeteksi degradasi roda gigi sebelum terjadi kerusakan total, dengan catatan pemilihan fitur harus disesuaikan dengan karakteristik geometri roda gigi yang diuji.

Tabel 1. Degradasi Roda Gigi

Karakteristik	Roda Gigi Lurus (<i>Spur Gear</i>)	Roda Gigi Miring (<i>Helical Gear</i>)
Kontak gigi	Mendadak sepanjang garis lurus	Bertahap (<i>gradual engagement</i>)
Tingkat kebisingan	Tinggi pada kecepatan tinggi	Rendah (lebih senyap)
Kapasitas beban	Sedang – rendah	Tinggi (distribusi beban merata)
Gaya pada poros	Gaya radial saja	Gaya radial dan aksial
Biaya manufaktur	Lebih murah dan mudah	Lebih mahal dan kompleks

4. KESIMPULAN

Penerapan pendekatan *predictive maintenance* berbasis pembelajaran mesin efektif mendeteksi dini transisi kerusakan dari keausan normal (*normal wear*) hingga kondisi rompal (*chipping*) pada transmisi roda gigi. Karakteristik geometris roda gigi memengaruhi sensitivitas sinyal getaran, dimana roda gigi lurus menghasilkan parameter kurtosis yang lebih impulsif saat rompal, sementara roda gigi helik cenderung meredam energi benturan mekanis sehingga kenaikan kurtosis lebih rendah.

Ekstraksi fitur domain waktu-frekuensi menggunakan Continuous Wavelet Transform (CWT) terbukti krusial dalam mengisolasi sinyal transien cacat pada roda gigi helik, sehingga mampu mendongkrak akurasi klasifikasi hingga dapat meminimalkan kegagalan diagnosis akibat derau redaman geometris. Kondisi beban dinamis pengujian sebaiknya dilakukan pada skenario beban kerja yang berfluktuasi secara ekstrem secara acak untuk menguji ketahanan algoritma terhadap gangguan

operasional riil di industri.

Implementasi arsitektur deep learning disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan metode Deep Learning seperti Convolutional Neural Network (CNN) 2D yang memanfaatkan gambar spektrogram CWT secara langsung guna mengeliminasi proses ekstraksi fitur manual dan meningkatkan otomatisasi sistem pemantauan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Radu, M. Florescu, and D. Popescu, "Helical Gearbox Defect Detection with Machine Learning Using Raw Vibration Signals," *Sensors*, vol. 24, no. 11, p. 3337, 2024.
- M. Z. Al-Amri, "A Review of Spur Gear Fault Diagnosis: Monitoring Methods and Predictive Models," *NTU Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 45–58, 2025.
- F. K. Zhou, H. Wang, and Y. Liu, "A review of dynamics-based failure modeling and diagnosis for industrial gear systems," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 204, p. 105820, 2025.
- J. W. Harrison and L. Zhang, "Enhanced fault diagnosis of helical gears: advanced dynamic modeling and experimental validation," *Structural Health Monitoring*, vol. 25, no. 4, pp. 1120–1135, 2025.
- K. H. Smythe, "Gear Wear Mechanisms, Monitoring Techniques and Their Potential Use in Gear Predictive Maintenance," *International Journal of Prognostics and Health Management*, vol. 16, no. 1, pp. 102–115, 2025.
- R. Widiyanto, "Deteksi Cacat Roda Gigi pada Sistem Transmisi Fan Industri Menggunakan Support Vector Machine," *Jurnal Teknik Mesin dan Otomasi*, vol. 12, no. 1, pp. 12–21, 2024.
- S. M. K. Al-Sadi and J. A. Al-Mousawi, "Advanced Feature Extraction Techniques for Early Fault Diagnosis in Spur and Helical Gearboxes under Variable Loading Conditions," *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, vol. 14, no. 2, pp. 215–228, 2026.
- S. Prasetyo and H. Purwanto, "Deteksi Kerusakan Roda Gigi Dengan Analisis Sinyal Getaran pada Sistem Transmisi Gearbox WPA 50," *Jurnal Inovasi Sains dan Mekanikal*, vol. 7, no. 2, pp. 89–97, 2025.
- T. R. Kumar, "A review on diagnostic and prognostic approaches for gears under distributed and localized faults," *Structural Health Monitoring*, vol. 20, no. 3, pp. 1432–1455, 2021.
- R. H. Nugroho, "Penerapan Metode Klasifikasi Berbasis Machine Learning untuk Pemantauan Kondisi Keausan Komponen Transmisi Industri," *Jurnal Teknik Mesin dan Sistem Manufaktur*, vol. 8, no. 1, pp. 45–54, 2026.