

RANCANG BANGUN MEDIA PEMBELAJARAN SIMULASI
KERUSAKAN BEARING BERBASIS ANALISIS GETARANAri Togar Maulana¹, Muhamad Fikri¹¹Politeknik Manufaktur Bangka Belitung, Sungailiat

Corresponding Author: kubilhuga23@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi industri 4.0 mendorong perubahan strategi pemeliharaan dari *corrective maintenance* menuju *predictive maintenance* yang berorientasi pada pemantauan kondisi mesin secara berkelanjutan. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pemeliharaan prediktif adalah analisis getaran karena mampu mendeteksi kerusakan komponen secara dini sebelum terjadi kegagalan yang menyebabkan *downtime*. Keterbatasan media pembelajaran pada mata kuliah Perawatan Prediktif menyebabkan mahasiswa belum memperoleh pengalaman praktikum yang memadai dalam memahami karakteristik kerusakan bearing berdasarkan sinyal getaran. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun media pembelajaran simulasi kerusakan bearing berbasis analisis getaran sebagai sarana praktikum untuk mendukung capaian pembelajaran mahasiswa. Metode penelitian meliputi pengumpulan data, perancangan alat, pembuatan komponen, perakitan sistem, serta pengujian fungsi alat. Sistem yang dirancang terdiri dari motor AC, poros, kopling, bearing housing, speed controller, dan beberapa jenis bearing dengan kondisi normal maupun rusak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat mampu mensimulasikan kerusakan bearing pada inner race, outer race, dan elemen gelinding sehingga menghasilkan karakteristik getaran yang berbeda pada setiap kondisi. Media pembelajaran ini mampu mendukung pembelajaran *predictive maintenance* secara lebih aplikatif dan interaktif.

Kata Kunci: bearing, analisis getaran, *predictive maintenance*, media pembelajaran, condition monitoring.

ABSTRACT

The development of Industry 4.0 has shifted maintenance strategies from *corrective maintenance* to *predictive maintenance* based on machine condition monitoring. Vibration analysis is widely used to detect machine failures before unexpected breakdowns occur. However, limited learning media in predictive maintenance courses reduce students' practical understanding of bearing fault characteristics. This study aims to design a vibration-based bearing fault simulation learning media to support practical learning activities. The research methods include data collection, tool design, manufacturing, assembly, and testing. The developed system consists of an AC motor, shaft, coupling, bearing housing, speed controller, and bearings with several fault conditions. The results indicate that the system can simulate inner race, outer race, and rolling element defects, producing different vibration characteristics. Therefore, the proposed learning media can improve students' understanding of predictive maintenance and vibration analysis in a practical manner.

Keywords: bearing, vibration analysis, predictive maintenance, learning media, condition monitoring.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri pada era Industry 4.0 telah mendorong perubahan strategi pemeliharaan mesin dari pendekatan *corrective maintenance* menuju *predictive maintenance* yang berbasis pada pemantauan kondisi peralatan secara berkelanjutan. Pendekatan ini memungkinkan aktivitas perawatan dilakukan sebelum terjadi kegagalan komponen sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem, memperpanjang umur pakai peralatan, serta mengurangi biaya perawatan dan downtime yang tidak terencana (Shah et al., 2025). Salah satu metode yang banyak digunakan dalam *predictive maintenance* adalah analisis getaran (*vibration analysis*), karena mampu mendeteksi berbagai gangguan pada mesin berputar melalui karakteristik sinyal getaran yang dihasilkan selama proses operasi. Evaluasi kondisi mesin berbasis getaran juga telah distandarisasi melalui ISO 20816-3:2022 sebagai acuan dalam penilaian kondisi mesin industri (Turkin et al., 2023).

Bearing merupakan salah satu komponen penting pada mesin berputar yang berfungsi menopang poros serta mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak. Kerusakan bearing menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kegagalan pada mesin, dengan jenis kerusakan yang umum meliputi kerusakan *inner race*, *outer race*, dan elemen gelinding (*ball defect*). Setiap jenis kerusakan menghasilkan karakteristik getaran yang berbeda sehingga dapat dimanfaatkan sebagai indikator kondisi komponen. Namun, keterbatasan media pembelajaran pada mata kuliah Perawatan Prediktif menyebabkan mahasiswa belum memperoleh pengalaman praktikum yang memadai dalam mempelajari karakteristik kerusakan bearing secara langsung.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa analisis getaran telah banyak digunakan untuk diagnosis kerusakan bearing dengan memanfaatkan teknologi *machine learning* dan *deep learning* guna meningkatkan akurasi identifikasi kerusakan (Li et al., 2024; Chennana et al., 2025). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan metode diagnosis berbasis data, sedangkan penelitian mengenai pengembangan media pembelajaran yang mampu mensimulasikan berbagai kondisi kerusakan bearing sebagai sarana praktikum masih relatif terbatas. Padahal, pembelajaran berbasis praktik memiliki peranan penting dalam pendidikan vokasi untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep *condition monitoring* dan *predictive maintenance*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun media pembelajaran simulasi kerusakan bearing berbasis analisis getaran sebagai sarana praktikum pada mata kuliah Perawatan Prediktif. Media pembelajaran yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih aplikatif, meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai karakteristik getaran pada berbagai kondisi bearing, serta mendukung penguasaan konsep *condition monitoring* dan *predictive maintenance* yang dibutuhkan pada sistem *rotating machinery* di lingkungan industri.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan *design and development* yang bertujuan untuk merancang dan membangun media pembelajaran simulasi kerusakan *bearing* berbasis analisis getaran sebagai sarana praktikum pada mata kuliah Perawatan Prediktif. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang meliputi tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, pembuatan dan perakitan alat, pengujian kinerja, serta

analisis hasil pengujian.

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi laboratorium, dan identifikasi kebutuhan media pembelajaran. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji jurnal ilmiah, standar ISO 20816-3:2022, serta referensi mengenai analisis getaran, diagnosis kerusakan *bearing*, dan *predictive maintenance*. Observasi dilakukan untuk menentukan spesifikasi media pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan praktikum mahasiswa.

Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, sistem dirancang menggunakan motor AC, poros baja, kopling fleksibel, *bearing housing*, *speed controller*, rangka profil aluminium, serta beberapa jenis *bearing* dengan kondisi normal, *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect* sebagai objek simulasi kerusakan.

2.2 Pembuatan dan Perakitan Sistem

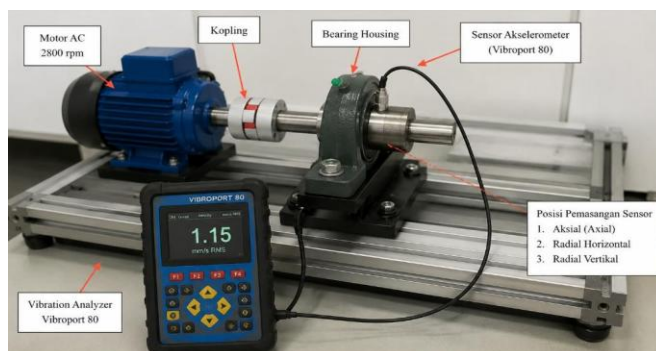
Pembuatan komponen dilakukan melalui proses pemotongan material, pengeboran, penggerindaan, serta pemasangan komponen sesuai dengan desain yang telah dibuat. Selanjutnya seluruh komponen dirakit menjadi satu sistem yang terdiri atas motor AC, poros, kopling, *bearing housing*, *speed controller*, dan rangka utama sehingga membentuk media pembelajaran simulasi kerusakan *bearing*.

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pemeriksaan keselarasan poros (*shaft alignment*) serta pemeriksaan kekencangan seluruh sambungan mekanik untuk memastikan sistem mampu beroperasi secara stabil. Tahapan ini bertujuan untuk meminimalkan kesalahan pengukuran akibat ketidaksejajaran poros sehingga data getaran yang diperoleh lebih representatif (Turkin *et al.*, 2023).

2.3 Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan media pembelajaran dalam mensimulasikan berbagai kondisi kerusakan *bearing*. Pengukuran karakteristik getaran dilakukan menggunakan *Vibration Analyzer Vibroport 80* dengan parameter pengukuran berupa *velocity*. Sensor dipasang pada *bearing housing* untuk memperoleh respon getaran dari sistem yang diuji.

Motor AC dioperasikan pada kecepatan 2800 rpm selama proses pengujian. Pengukuran dilakukan pada tiga arah, yaitu aksial, radial horizontal, dan radial vertikal. Pengujian dilakukan pada empat kondisi *bearing*, yaitu *bearing* normal, *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect*. Setiap kondisi diuji satu kali pada kondisi operasi yang sama sehingga hasil pengukuran dapat dibandingkan secara langsung.



Gambar 1. Setup Pengujian Media Pembelajaran Simulasi Kerusakan *Bearing* Menggunakan *Vibration Analyzer Vibroport 80*.

Berdasarkan Gambar 1, proses pengukuran getaran dilakukan menggunakan Vibration Analyzer Vibroport 80 yang terhubung dengan sensor akselerometer pada *bearing housing*. Posisi pemasangan sensor dilakukan pada arah aksial, radial horizontal, dan radial vertikal untuk memperoleh karakteristik getaran dari tiga arah pengukuran yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan motor AC yang beroperasi pada kecepatan konstan 2800 rpm sehingga kondisi operasi pada setiap pengujian tetap sama dan hasil pengukuran dapat dibandingkan secara langsung.

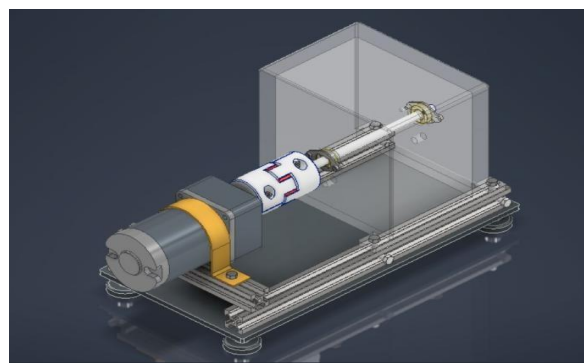
Penggunaan tiga arah pengukuran bertujuan untuk memperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai respons getaran yang dihasilkan oleh masing-masing kondisi *bearing*. Data *velocity* yang diperoleh dari setiap kondisi *bearing* selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik getaran antara *bearing* normal, *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect*. Hasil pengukuran tersebut kemudian dianalisis berdasarkan prinsip *condition monitoring* untuk mengevaluasi kemampuan media pembelajaran dalam mensimulasikan karakteristik kerusakan *bearing* sebagai media praktikum pada mata kuliah Perawatan Prediktif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Media Pembelajaran

Hasil penelitian berupa media pembelajaran simulasi kerusakan *bearing* berbasis analisis getaran yang dirancang sebagai sarana praktikum pada mata kuliah Perawatan Prediktif. Sistem terdiri atas motor AC, kopling, poros, *bearing housing*, *speed controller*, cover akrilik, dan rangka profil aluminium yang terintegrasi menjadi satu kesatuan sistem. Konfigurasi tersebut memungkinkan simulasi kondisi *bearing* normal, *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect* sehingga mendukung pembelajaran konsep *condition monitoring* dan *predictive maintenance*.

Media pembelajaran dirancang dengan konsep modular sehingga proses pemasangan dan penggantian *bearing* dapat dilakukan dengan mudah sesuai kebutuhan praktikum. Desain ini memungkinkan mahasiswa melakukan simulasi berbagai jenis kerusakan *bearing* tanpa harus membongkar keseluruhan sistem, sehingga proses praktikum menjadi lebih efisien. Selain itu, penggunaan cover akrilik sebagai pelindung meningkatkan aspek keselamatan kerja dengan mengurangi risiko kontak langsung terhadap komponen yang berputar selama proses pengujian. Rangka profil aluminium dipilih karena memiliki konstruksi yang kokoh, ringan, serta mampu menjaga kestabilan sistem selama pengoperasian, sehingga hasil pengukuran getaran menjadi lebih konsisten dan representatif.



Gambar 2. Desain Media Pembelajaran Simulasi Kerusakan Bearing Berbasis Analisis Getaran

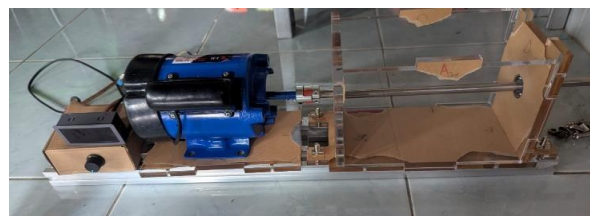
Gambar 2 menunjukkan desain media pembelajaran simulasi kerusakan bearing berbasis analisis getaran yang digunakan sebagai sarana praktikum pada mata kuliah Perawatan Prediktif. Sistem terdiri atas motor AC sebagai sumber putaran, kopling sebagai penghubung antara motor dan poros, poros transmisi, bearing housing sebagai dudukan bearing, cover akrilik sebagai pelindung, serta rangka profil aluminium sebagai penopang seluruh komponen. Konfigurasi tersebut memungkinkan simulasi kondisi bearing normal maupun kondisi kerusakan sehingga mendukung pembelajaran konsep *condition monitoring* dan *predictive maintenance*. Selain itu, desain yang sederhana dan modular memudahkan proses pengoperasian, perawatan, serta penggunaan secara berulang pada kegiatan praktikum.

Tabel 1. Komponen Utama Media Pembelajaran	
Komponen	Fungsi
Motor AC	Sumber putaran sistem
Poros	Mentransmisikan putaran
Kopling	Menghubungkan motor dan poros
Bearing Housing	Tempat pemasangan bearing
Bearing	Objek simulasi kerusakan
Speed Controller	Mengatur kecepatan putaran
Cover Akrilik	Pelindung sistem
Profil Aluminium	Rangka utama

Berdasarkan Tabel 1, seluruh komponen terintegrasi menjadi satu sistem yang mampu menghasilkan putaran stabil serta memudahkan proses pengukuran getaran.

3.2 Hasil Pembuatan dan Perakitan Sistem

Setelah proses pembuatan selesai, seluruh komponen dirakit dan dilakukan pengujian fungsi untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan baik.



Gambar 2. Hasil Perakitan Media Pembelajaran

Berdasarkan Gambar 2, hasil perakitan menunjukkan bahwa seluruh komponen mekanik dan elektrik telah terintegrasi dengan baik sehingga sistem mampu beroperasi secara stabil. Motor AC, poros, kopling, *bearing housing*, *speed controller*, dan rangka utama telah terpasang sesuai dengan desain yang direncanakan. Pemeriksaan awal menunjukkan bahwa putaran poros berlangsung tanpa terjadi gangguan mekanis yang signifikan, sedangkan *bearing housing* mampu mempertahankan posisi *bearing* selama proses pengujian berlangsung. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa media pembelajaran telah memenuhi fungsi dasar sebagai simulator kerusakan *bearing* berbasis analisis getaran. Stabilitas sistem mekanik dan keselarasan komponen merupakan faktor penting dalam memperoleh hasil pengukuran getaran yang akurat serta meminimalkan kesalahan pengukuran akibat getaran yang berasal dari sumber lain (Turkin *et al.*, 2023; Hassan *et al.*, 2024).

3.3 Analisis Karakteristik Getaran

Analisis karakteristik getaran dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan media pembelajaran dalam mensimulasikan berbagai kondisi kerusakan *bearing* berdasarkan respons getaran yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan menggunakan Vibration Analyzer Vibroport 80 dengan parameter *velocity* pada kecepatan putaran motor 2800 rpm. Data getaran diperoleh dari tiga arah pengukuran, yaitu radial horizontal, radial vertikal, dan aksial, pada empat kondisi *bearing* yang meliputi *bearing* normal, *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect*. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan untuk mengetahui perbedaan karakteristik getaran pada setiap kondisi *bearing*.

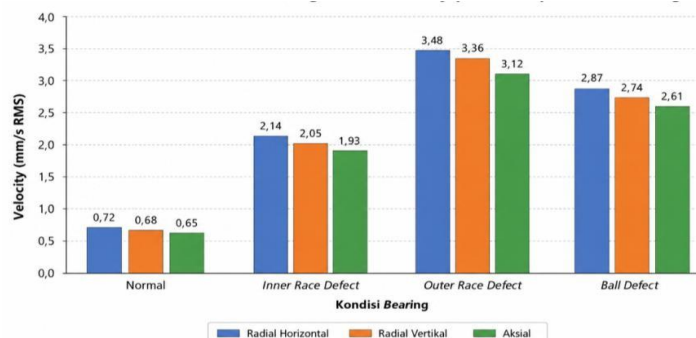
Selanjutnya, hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap kondisi *bearing* menghasilkan karakteristik getaran yang berbeda. *Bearing* normal menghasilkan getaran yang relatif rendah dan stabil, sedangkan kondisi *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect* menunjukkan peningkatan amplitudo getaran. Temuan ini sejalan dengan penelitian Li *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa setiap jenis kerusakan *bearing* memiliki *signature vibration* yang berbeda.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Overall Vibratio

Kondisi Bearing	Radial Horizontal (mm/s RMS)	Radial Vertikal (mm/s RMS)	Aksial (mm/s RMS)
Normal	0,72	0,68	0,65
Inner Race Defect	2,14	2,05	1,93
Outer Race Defect	3,48	3,36	3,12
Ball Defect	2,87	2,74	2,61

Berdasarkan Tabel 3, setiap kondisi *bearing* menghasilkan nilai *velocity* yang berbeda pada ketiga arah pengukuran. Kondisi *bearing* normal menunjukkan nilai getaran paling rendah karena elemen gelinding masih bekerja secara normal tanpa adanya kerusakan pada lintasan *bearing*. Sebaliknya, kondisi *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect* menunjukkan peningkatan nilai *velocity* akibat adanya tumbukan antara elemen gelinding dengan bagian *bearing* yang mengalami kerusakan.

Nilai *velocity* tertinggi diperoleh pada kondisi *outer race defect*, sedangkan kondisi *ball defect* dan *inner race defect* menghasilkan nilai getaran yang lebih tinggi dibandingkan *bearing* normal namun lebih rendah dibandingkan *outer race defect*.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Velocity pada Setiap Kondisi Bearing

Perbedaan nilai getaran tersebut menunjukkan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan mampu mensimulasikan karakteristik getaran pada berbagai jenis

kerusakan *bearing*, sehingga mahasiswa dapat mengamati perubahan respons getaran sesuai kondisi *bearing* yang diuji.

Berdasarkan Gambar 3, nilai *velocity* pada kondisi *bearing* normal merupakan yang paling rendah, sedangkan kondisi *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect* menunjukkan peningkatan nilai getaran. Kondisi *outer race defect* menghasilkan nilai *velocity* tertinggi pada seluruh arah pengukuran. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa setiap jenis kerusakan *bearing* memiliki karakteristik getaran yang berbeda sehingga dapat digunakan sebagai indikator dalam proses identifikasi kerusakan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Li et al. (2024) dan Hassan et al. (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan nilai getaran berkaitan dengan tingkat kerusakan *bearing*. Dengan demikian, media pembelajaran yang dikembangkan mampu memperlihatkan karakteristik getaran pada setiap kondisi *bearing* sehingga mendukung proses pembelajaran *condition monitoring* dan *predictive maintenance*.

3.4. Pembahasan

Media pembelajaran yang dikembangkan mampu memberikan pengalaman praktikum yang lebih aplikatif dibandingkan pembelajaran teoritis. Mahasiswa dapat mengamati secara langsung perubahan karakteristik getaran pada berbagai kondisi kerusakan bearing sehingga lebih mudah memahami konsep *condition monitoring* dan *predictive maintenance*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan tidak hanya mampu mensimulasikan kerusakan bearing secara representatif, tetapi juga dapat digunakan sebagai sarana pendukung pembelajaran pada pendidikan vokasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hassan et al. (2024) yang menyatakan bahwa penggunaan sistem berbasis pengukuran getaran berperan penting dalam meningkatkan pemahaman terhadap kondisi mesin dan implementasi *predictive maintenance*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, media pembelajaran simulasi kerusakan bearing berbasis analisis getaran berhasil dirancang dan dibangun sebagai sarana praktikum pada mata kuliah Perawatan Prediktif. Sistem yang dikembangkan mampu mensimulasikan kondisi bearing normal, *inner race defect*, *outer race defect*, dan *ball defect*, sehingga menghasilkan karakteristik getaran yang berbeda pada setiap kondisi. Secara umum, media pembelajaran ini dapat mendukung pembelajaran berbasis praktik serta meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai konsep *condition monitoring*, analisis getaran, dan *predictive maintenance*. Selain itu, media pembelajaran yang dikembangkan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi sensor dan teknologi kecerdasan buatan dalam diagnosis kerusakan bearing secara otomatis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, khususnya Program Studi Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing, tenaga laboratorium, serta seluruh pihak yang telah memberikan arahan, bantuan, dan motivasi selama proses perancangan, pembuatan, pengujian, hingga penyusunan artikel ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan media pembelajaran dan penerapan konsep *predictive maintenance* di lingkungan pendidikan vokasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alqunun, K., Bechiri, M. B., Naoui, M., Khechekhouche, A., Marouani, I., Guesmi, T., Alshammari, B. M., AlGhadhban, A., & Allal, A. (2025). An efficient bearing fault detection strategy based on a hybrid machine learning technique. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02439-4>.
- Chennana, A., Megherbi, A. C., Bessous, N., Sbaa, S., Teta, A., Belabbaci, E. O., Rabehi, A., Guermoui, M., & Agajie, T. F. (2025). Vibration signal analysis for rolling bearings faults diagnosis based on deep-shallow features fusion. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93133-y>.
- Hassan, I. U., Panduru, K., & Walsh, J. (2024). An In-Depth Study of Vibration Sensors for Condition Monitoring. In *Sensors* (Vol. 24, Number 3).
- Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24030740>.
- Lang, X., Nilsson, H., & Mao, W. (2024). A machine learning based analysis of bearing vibrations for predictive maintenance in a hydropower plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1411(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1411/1/012046>.
- Li, Y., Gu, X., & Wei, Y. (2024). A Deep Learning-Based Method for Bearing Fault Diagnosis with Few-Shot Learning. *Sensors*, 24(23). <https://doi.org/10.3390/s24237516>.
- Shah, R., Mittal, V., & Lotwin, M. (2025). Recent Advances in Vibration Analysis for Predictive Maintenance of Modern Automotive Powertrains. In *Vibration* (Vol. 8, Number 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/vibration8040068>.
- Turkin, I., Leznovskyi, V., Zelenkov, A., Nabizade, A., Volobuieva, L., & Turkina, V. (2023). The Use of IoT for Determination of Time and Frequency Vibration Characteristics of Industrial Equipment for Condition-Based Maintenance. *Computation*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/computation11090177>