

PERANCANGAN MEDIA AJAR PREDICTIVE MAINTENANCE BERDASARKAN GETARAN

Reyvan Arielka¹, Vicky Ahmad Rozi¹, Fajar Aswin^{1*}, Muhamad Riva'i¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*Corresponding Author: fajar.aswin@polman-babel.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan media ajar Predictive Maintenance pada kerusakan bearing berdasarkan analisis getaran sebagai sarana praktikum di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Pengembangan media ajar dilakukan untuk mengatasi keterbatasan peralatan praktikum serta menyediakan alternatif media pembelajaran yang lebih ekonomis dibandingkan instrumen pengukuran getaran industri. Sistem yang dikembangkan terdiri atas motor DC Minertia UGRMEM-02MA, bearing 6204, sensor getaran MEMS ADXL345, mikrokontroler STM32F446RE Nucleo, encoder incremental 1000 PPR, serta perangkat lunak PMIL DAQ STM32 Dashboard sebagai antarmuka pengguna. Metode penelitian bersifat Research and Development (R&D) yang meliputi studi literatur, perancangan sistem mekanik dan elektronik, pembuatan alat, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian fungsional, pengambilan data, serta analisis sinyal getaran menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). Hasil penelitian menunjukkan seluruh komponen sistem mampu bekerja dengan baik dan terintegrasi dalam melakukan akuisisi data getaran secara real-time. Sensor ADXL345 berhasil mengukur percepatan getaran pada tiga sumbu, sedangkan encoder mampu membaca kecepatan putaran poros secara kontinu. Data hasil pengukuran dianalisis pada domain waktu dan domain frekuensi serta dibandingkan dengan hasil pengukuran Vibroport 80 sebagai alat referensi. Media ajar yang dikembangkan mampu digunakan sebagai sarana pembelajaran Predictive Maintenance dan Condition Monitoring pada kerusakan bearing serta memberikan alternatif media praktikum yang lebih ekonomis.

Kata Kunci: Predictive Maintenance, Condition Monitoring, Analisis Getaran, Bearing, FFT.

ABSTRACT

This study aims to design and develop a Predictive Maintenance learning media for bearing fault diagnosis based on vibration analysis as a practical learning tool at Bangka Belitung Manufacturing Polytechnic. The learning media was developed to overcome the limitations of laboratory equipment and to provide a more economical alternative to industrial vibration measurement instruments. The developed system consists of a Minertia UGRMEM-02MA DC motor, a 6204 deep groove ball bearing, an ADXL345 MEMS accelerometer, an STM32F446RE Nucleo microcontroller, a 1000 PPR incremental encoder, and PMIL DAQ STM32 Dashboard software as the user interface. The research method is Research and Development (R&D), including literature review, mechanical and electronic system design, prototype fabrication, hardware-software integration, functional testing,

data acquisition, and vibration signal analysis using the Fast Fourier Transform (FFT) method. The results indicate that all system components operated properly and were successfully integrated to perform real-time vibration data acquisition. The ADXL345 sensor successfully measured three-axis vibration acceleration, while the incremental encoder continuously measured shaft rotational speed. The acquired data were analyzed in both time and frequency domains and compared with measurements from a Vibroport 80 as the reference instrument. The developed learning media is capable of supporting practical learning activities in Predictive Maintenance and Condition Monitoring for bearing fault diagnosis while providing a cost-effective educational platform.

Keywords: Predictive Maintenance, Condition Monitoring, Vibration Analysis, Bearing, Fast Fourier Transform.

1. PENDAHULUAN

Perawatan prediktif (predictive maintenance) merupakan salah satu strategi perawatan yang penting dalam dunia industri karena mampu mendeteksi potensi kerusakan mesin sejak dini melalui pemantauan kondisi komponen, salah satunya dengan analisis getaran pada bearing. Pemahaman konsep dan keterampilan praktis dalam pengujian getaran bearing menjadi kompetensi penting yang harus dimiliki oleh mahasiswa pada mata kuliah Predictive Maintenance.

Kondisi saat ini di Bengkel Mekanik Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung menunjukkan bahwa media ajar uji getaran bearing masih sangat terbatas. Media uji getaran yang tersedia dirancang khusus untuk pengukuran menggunakan Vibroport sehingga tidak dapat digunakan dengan jenis sensor lain, khususnya sensor getaran berbiaya rendah. Keterbatasan ini menyebabkan kegiatan praktikum harus dilakukan secara berkelompok dengan jumlah mahasiswa yang cukup banyak sehingga mengurangi efektivitas pembelajaran.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pengembangan media ajar sekaligus sistem predictive maintenance yang lebih fleksibel dan mudah digunakan. Sistem yang dikembangkan dirancang agar dapat digunakan dengan sensor MEMS ADXL345 berbasis STM32F446RE Nucleo serta dapat dibandingkan secara langsung dengan hasil pengukuran menggunakan Vibroport 80 sebagai alat ukur standar industri.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membangun media ajar predictive maintenance pada kerusakan bearing berdasarkan getaran yang mampu melakukan pengukuran menggunakan sensor MEMS ADXL345 serta membandingkan hasil pengukurannya dengan Vibroport 80, sehingga diperoleh media pembelajaran yang lebih fleksibel, ekonomis, dan memiliki hasil pengukuran yang mendekati instrumen standar industri (ISO 20816-1:2016; Randall, 2011).

2. METODE

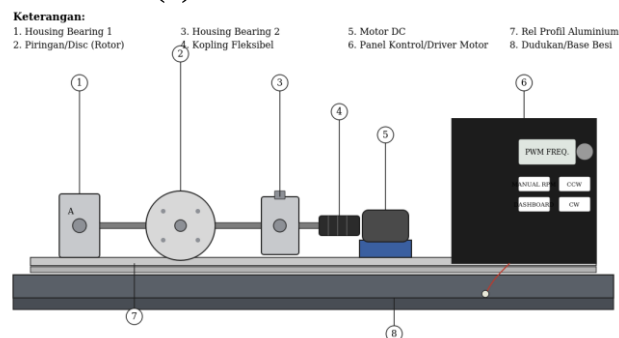
Penelitian ini merupakan penelitian Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk merancang, membuat, menguji, dan mengevaluasi media ajar Predictive Maintenance berdasarkan analisis getaran. Produk yang dihasilkan diuji kinerjanya melalui pengukuran getaran serta divalidasi menggunakan alat ukur standar industri, yaitu Vibroport 80. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem mekanik dan elektronik, pembuatan

alat, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, pengambilan data, analisis data getaran, validasi hasil pengukuran terhadap Vibroport 80, serta penarikan kesimpulan.

Alat utama yang digunakan meliputi laptop dan STM32CubeIDE untuk pemrograman mikrokontroler, Vibroport 80 sebagai alat ukur pembanding, power supply DC, multimeter digital, dan tachometer digital. Bahan penelitian terdiri atas motor DC Minertia UGRMEM-02MA (32 VDC), bearing 6204, dua housing bearing, poros baja diameter 20 mm, flexible coupling, sensor getaran MEMS ADXL345, mikrokontroler STM32F446RE Nucleo-64, serta encoder incremental resolusi 1000 PPR.

Perancangan sistem terdiri atas tiga bagian, yaitu perancangan mekanik (pemilihan dan penyusunan motor, poros, kopling, dudukan bearing, dan rangka), perancangan elektronik (pemilihan sensor getaran, mikrokontroler, dan sistem akuisisi data), serta perancangan sistem monitoring (penampilan data pengukuran dalam bentuk grafik dan parameter getaran melalui perangkat lunak PMIL DAQ STM32 Dashboard). Motor DC menggerakkan poros yang ditumpu oleh bearing, sedangkan sensor MEMS ADXL345 menangkap sinyal getaran pada housing bearing dan encoder incremental membaca kecepatan putaran poros. Kedua data tersebut dikirim ke mikrokontroler STM32F446RE Nucleo untuk diakuisisi, kemudian diteruskan ke laptop melalui komunikasi USB untuk diolah dan ditampilkan melalui perangkat lunak PMIL DAQ STM32 Dashboard.

Susunan komponen fisik media ajar secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1, dengan tata letak yang mengikuti konstruksi alat pada Gambar 2. Poros ditumpu oleh dua housing bearing (1 dan 3) yang masing-masing berisi bearing tipe 6204, dengan sebuah piringan atau disc (2) terpasang di antara keduanya sebagai elemen massa berputar. Ujung poros dihubungkan ke motor DC (5) melalui kopling fleksibel (4) yang di dalamnya terintegrasi encoder incremental 1000 PPR untuk membaca kecepatan putaran. Motor dikendalikan melalui panel kontrol/driver motor (6) yang dilengkapi tampilan digital serta tombol pengaturan arah dan kecepatan putaran. Seluruh komponen dipasang pada rel profil aluminium (7) yang ditopang oleh dudukan besi (8).

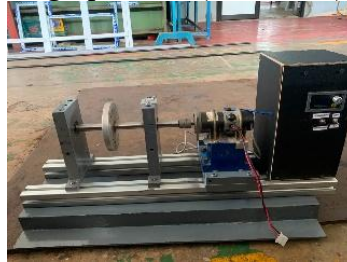


Gambar 1. Susunan Komponen Media Ajar Predictive Maintenance

Setelah alat dibuat, dilakukan pengujian sensor dan pengujian sistem secara keseluruhan pada kondisi normal maupun kondisi gangguan, dilanjutkan dengan pengambilan data getaran pada beberapa variasi kecepatan putaran motor. Data hasil pengukuran selanjutnya diolah menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk memperoleh spektrum frekuensi, kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran Vibroport 80.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah media ajar Predictive Maintenance berdasarkan getaran yang terdiri atas sistem mekanik, sistem elektronik, dan sistem akuisisi data yang saling terintegrasi. Sistem mekanik menggunakan motor DC Minertia UGRMEM-02MA sebagai penggerak utama yang dihubungkan dengan poros baja berdiameter 20 mm melalui flexible coupling. Poros ditumpu oleh dua housing bearing dengan bearing tipe 6204 (Gambar 2).



Gambar 2. Media Ajar Predictive Maintenance Berdasarkan Getaran

Perancangan sistem mekanik diawali dengan fabrikasi rangka menggunakan baja profil siku sebagai penopang seluruh komponen, dilanjutkan dengan pemasangan poros, motor DC, flexible coupling, serta dua housing bearing dengan memperhatikan keselarasan (alignment) poros agar getaran yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh kesalahan pemasangan (Gambar 3).



Gambar 3. Perancangan Sistem Mekanik Media Ajar

Sistem elektronik terdiri atas sensor MEMS ADXL345, mikrokontroler STM32F446RE Nucleo, encoder incremental 1000 PPR, driver PWM, dan catu daya. Sensor ADXL345 dipasang pada housing bearing agar mampu menangkap getaran yang dihasilkan oleh bearing selama motor beroperasi (Gambar 4). Data yang diperoleh dari sensor dikirim ke komputer melalui komunikasi USB untuk selanjutnya diproses menggunakan perangkat lunak PMIL DAQ STM32 Dashboard.



Gambar 5. Hasil pengujian fungsional Media Ajar

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang, meliputi motor DC, sensor ADXL345, encoder, STM32F446RE, komunikasi data, dan sistem pengolahan sinyal. Hasil pengujian fungsional ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional Media Ajar

No.	Komponen	Parameter Pengujian	Keterangan
1	Motor DC Minertia UGRMEM-02MA	Motor berputar sesuai kecepatan yang diatur	Berhasil
2	Bearing 6204	Berputar tanpa hambatan dan suara abnormal	Berhasil
3	Sensor Getaran ADXL345	Data percepatan sumbu X, Y, dan Z terbaca	Berhasil
4	STM32F446RE Nucleo	Akuisisi dan pemrosesan data berjalan normal	Berhasil
5	Encoder Incremental 1000 PPR	Nilai kecepatan putaran (RPM) terbaca	Berhasil

Pengujian getaran dilakukan pada beberapa variasi kecepatan putaran motor. Pada setiap variasi putaran, sensor ADXL345 merekam data percepatan getaran, sedangkan encoder mencatat kecepatan putaran poros. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi putaran untuk memperoleh hasil yang lebih konsisten, kemudian data diolah menggunakan metode FFT untuk memperoleh spektrum frekuensi. Hasil pengukuran menggunakan sensor MEMS ADXL345 selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan Vibroport 80 sebagai alat referensi. Parameter yang dibandingkan meliputi nilai percepatan (acceleration), kecepatan getaran (velocity RMS), frekuensi dominan, dan spektrum FFT pada titik pengukuran yang sama, yaitu pada housing bearing, dengan kondisi operasi dan variasi putaran motor yang sama (Bruel & Kjaer Vibro, Semakin kecil selisih hasil pengukuran antara kedua alat, maka semakin baik tingkat akurasi media ajar yang dikembangkan).

Tabel 2. Hasil Pengujian Getaran Media Ajar

No.	Kecepatan Putaran (RPM)	ADXL345 (mm/s RMS)	Vibroport 80 (mm/s RMS)	Selisih (mm/s)	Error (%)
1	5500	5,12	5,00	0,12	2,40
2	71000	6,55	6,39	0,16	2,44
3	91500	9,33	9,08	0,25	2,68

Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh komponen media ajar dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Motor DC mampu berputar secara stabil sesuai nilai setpoint yang diberikan, encoder incremental dapat membaca kecepatan putaran secara kontinu, sensor ADXL345 dapat mengukur percepatan getaran pada tiga sumbu, dan mikrokontroler STM32F446RE mampu mengirimkan data ke

komputer tanpa gangguan komunikasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak telah berjalan dengan baik sehingga media ajar layak digunakan sebagai sarana praktikum.

Pada tahap analisis getaran, data percepatan yang diperoleh dari sensor ADXL345 diolah menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Frekuensi dominan yang muncul kemudian dibandingkan dengan frekuensi karakteristik bearing, seperti Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO), Ball Pass Frequency Inner Race (BPFI), Ball Spin Frequency (BSF), dan Fundamental Train Frequency (FTF). Selain analisis FFT, parameter Velocity RMS digunakan sebagai indikator kondisi mesin karena merupakan acuan utama dalam standar ISO 20816. Melalui proses ini, mahasiswa tidak hanya mempelajari teknik pengukuran, tetapi juga memperoleh pengalaman melakukan interpretasi kondisi mesin berdasarkan standar internasional, sekaligus memahami pentingnya validasi data terhadap instrumen standar industri sebelum digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam kegiatan pemeliharaan prediktif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian, telah berhasil dirancang dan dibuat media ajar Predictive Maintenance pada kerusakan bearing berdasarkan getaran menggunakan sensor MEMS ADXL345 yang dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran pada mata kuliah Predictive Maintenance. Media ajar mampu mensimulasikan kondisi getaran bearing pada berbagai variasi kecepatan putaran, sehingga mahasiswa dapat mempelajari proses pemantauan kondisi mesin melalui metode analisis getaran. Sistem yang terdiri atas motor listrik, bearing, sensor ADXL345, mikrokontroler STM32F446RE, dan encoder mampu bekerja secara terintegrasi dalam proses pengambilan dan pengolahan data getaran secara real-time. Penggunaan media ajar berbasis sensor low cost ini memberikan alternatif pembelajaran yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan alat ukur industri, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan media praktikum dan efektivitas kegiatan praktikum di bengkel mekanik. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk merancang dan membuat media ajar uji getaran bearing yang fleksibel serta mendukung kegiatan praktikum Predictive Maintenance telah berhasil dicapai.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, dosen pembimbing, serta seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Analog Devices. 2023. ADXL345: Digital Accelerometer Datasheet (Rev. G). Analog Devices, Inc.
- Bruel & Kjaer Vibro. 2023. Vibration Measurement and Condition Monitoring Handbook.
- Harris, T. A. & Kotzalas, M. N. 2007. Rolling Bearing Analysis. 5th ed. CRC Press.

- International Organization for Standardization. 2016. ISO 20816-1:2016 Mechanical Vibration - Measurement and Evaluation of Machine Vibration - Part 1: General Guidelines. ISO.
- International Organization for Standardization. 2002. ISO 13373-1:2002 Condition Monitoring and Diagnostics of Machines - Vibration Condition Monitoring - Part 1: General Procedures. ISO.
- Mobley, R. K. 2002. An Introduction to Predictive Maintenance. 2nd ed. Butterworth-Heinemann.
- Randall, R. B. 2011. Vibration-Based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. John Wiley & Sons.
- STMicroelectronics. 2023. STM32F446xC/E Datasheet. STMicroelectronics.
- International Organization for Standardization. 2017. ISO 15243:2017 Rolling Bearings - Damage and Failures - Terms, Characteristics and Causes. ISO.
- SKF Group. 2018. Rolling Bearings Catalogue. SKF Group.