

Pengembangan Sistem Monitoring Getaran Mesin Berbasis Internet of Things Menggunakan Sensor MPU6050 dan ESP8266

Ramadhani¹, Ichsan², Mulia Kausar³

^{1,2,3} Program Studi Diploma III Teknologi Informasi,

Politeknik Aceh, Banda Aceh, Indonesia

E-mail: ¹ramadhani@politeknikaceh.ac.id, ²ichsan@politeknikaceh.ac.id,

³muliakausar55@gmail.com

ABSTRACT

Machine vibration monitoring is an important activity for identifying early indications of mechanical degradation, reducing unexpected failures, and supporting maintenance decisions. This study aims to design and evaluate an Internet of Things (IoT)-based machine vibration monitoring application using an MPU-6050 accelerometer, ESP8266 NodeMCU, TCP/IP communication, and MATLAB graphical user interface. The system was developed through the ADDIE model, which covers need analysis, system design, prototype development, implementation, and evaluation. Vibration acceleration data were acquired wirelessly from the sensor node, displayed in real time, and processed to obtain Root Mean Square (RMS), peak, peak-to-peak, average value, and machine condition status. Testing was conducted on four objects, namely a hand grinder, hand drill, kitchen blender, and water pump, with a monitoring duration of five minutes for each object. The test results showed RMS values of 0.86 m/s² for the hand grinder, 3.60 m/s² for the hand drill, 0.86 m/s² for the kitchen blender, and 0.71 m/s² for the water pump. These results indicate that the developed prototype is able to acquire, transmit, visualize, and classify vibration data as an initial reference for machine condition monitoring. However, further validation using industrial vibration measurement instruments is required to improve accuracy and reliability.

Keywords: vibration monitoring, MPU-6050, ESP8266, MATLAB, machine maintenance.

ABSTRAK

Monitoring getaran mesin merupakan aktivitas penting untuk mengidentifikasi indikasi awal penurunan kondisi mekanis, mengurangi risiko kerusakan tidak terduga, dan mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi aplikasi monitoring getaran mesin berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan sensor akselerometer MPU-6050, ESP8266 NodeMCU, komunikasi TCP/IP, dan antarmuka grafis MATLAB. Sistem dikembangkan menggunakan model ADDIE yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan prototipe, implementasi, dan evaluasi. Data percepatan getaran diperoleh secara nirkabel dari node sensor, ditampilkan secara real-time, kemudian diolah untuk menghasilkan nilai Root Mean Square (RMS), peak, peak-to-peak, average, dan status kondisi mesin. Pengujian dilakukan pada empat objek, yaitu gerinda tangan, bor tangan, blender dapur, dan mesin pompa air dengan durasi monitoring lima menit untuk setiap objek. Hasil pengujian menunjukkan nilai RMS sebesar 0,86 m/s² pada gerinda tangan, 3,60 m/s² pada bor tangan, 0,86 m/s² pada blender dapur, dan 0,71 m/s² pada mesin pompa air. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan mampu melakukan akuisisi, pengiriman, visualisasi, dan klasifikasi data getaran sebagai acuan awal monitoring kondisi mesin. Meskipun demikian, validasi lanjutan menggunakan alat ukur getaran standar industri masih diperlukan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan sistem.

Kata kunci: Monitoring Getaran, MPU-6050, ESP8266, MATLAB, Pemeliharaan Mesin.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Internet of Things (IoT) membuka peluang penerapan sistem pemantauan kondisi mesin yang lebih fleksibel, murah, dan mudah diakses. Pada sistem pemeliharaan konvensional, pemeriksaan kondisi mesin sering dilakukan secara manual sehingga data yang diperoleh bersifat periodik dan sangat bergantung pada waktu inspeksi. Integrasi sensor, mikrokontroler, jaringan lokal, dan aplikasi pemantauan memungkinkan data kondisi mesin dikirim secara nirkabel dan ditampilkan secara real-time. Dalam konteks perawatan mesin, pendekatan ini penting karena teknisi dapat memperoleh informasi awal mengenai perubahan getaran tanpa harus selalu menggunakan kabel serial atau melakukan pembacaan langsung di dekat mesin [1], [2], [3].

Mesin yang bekerja secara berulang dan terus-menerus membutuhkan pemeliharaan terstruktur agar mampu beroperasi secara andal. Salah satu parameter yang banyak digunakan untuk menilai kondisi mesin adalah getaran. Getaran yang meningkat atau berubah dari pola normal dapat mengindikasikan adanya ketidakseimbangan, keausan bearing, ketidaklurusan poros, kelonggaran komponen, atau gangguan mekanis lainnya. Oleh sebab itu, analisis getaran dapat digunakan sebagai pendekatan awal untuk mendeteksi potensi kerusakan sebelum berkembang menjadi kegagalan total yang berdampak pada biaya perawatan dan waktu henti mesin [3], [4], [5].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemantauan getaran berbasis sensor dan IoT telah banyak digunakan untuk mendukung condition monitoring dan predictive maintenance. Aswin et al. mengembangkan sistem monitoring getaran mesin rotasi secara online menggunakan sensor MEMS tiga sumbu dengan prinsip komunikasi nirkabel, sehingga data getaran dapat dianalisis secara real-time [6]. Al-Naggar et al. menerapkan IoT untuk monitoring empat mesin CNC secara simultan dengan memanfaatkan sinyal

percepatan pada domain waktu dan frekuensi; hasilnya menunjukkan bahwa data akselerometer dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi mesin secara real-time dalam konteks predictive maintenance [7].

Penelitian lain oleh Saravanan et al. menunjukkan bahwa node sensor berbiaya rendah yang terdiri atas NodeMCU ESP8266 dan akselerometer MPU6050 mampu melakukan pemantauan getaran real-time dan memberikan hasil yang sebanding dengan sensor standar, meskipun masih memiliki tantangan pada akurasi, frekuensi sampling, noise, baterai, dan transmisi data [8]. Hafizh et al. juga mengembangkan platform IoT untuk vibration condition monitoring pada rotating machinery dengan visualisasi dashboard dan pendekatan peringatan dini sebagai bagian dari predictive maintenance [9]. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini diarahkan pada pengembangan prototipe monitoring getaran mesin yang lebih sederhana dan sesuai untuk skala laboratorium atau bengkel, dengan fokus pada komunikasi TCP/IP lokal, visualisasi MATLAB, serta perhitungan parameter RMS, peak, peak-to-peak, dan average.

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah kebutuhan terhadap sistem monitoring getaran yang dapat digunakan sebagai alat bantu awal bagi teknisi, terutama ketika alat ukur getaran industri belum tersedia atau membutuhkan biaya relatif tinggi. Sistem yang dirancang tidak dimaksudkan untuk menggantikan alat ukur standar industri, melainkan sebagai prototipe monitoring awal yang mampu membaca percepatan getaran, mengirimkan data secara nirkabel, dan menampilkan hasil pengukuran melalui antarmuka aplikasi.

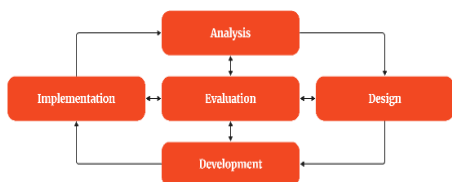
Kontribusi penelitian ini terletak pada perancangan aplikasi monitoring getaran mesin berbasis IoT menggunakan kombinasi sensor MPU-6050, ESP8266 NodeMCU, komunikasi TCP/IP, dan MATLAB GUI. Sistem ini dirancang untuk menampilkan grafik percepatan getaran secara real-time, menghitung parameter RMS, peak, peak-to-peak, dan average, serta memberikan status

kondisi mesin berdasarkan ambang getaran yang digunakan dalam pengujian. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan perangkat monitoring getaran yang lebih akurat, portabel, dan mudah diimplementasikan pada kegiatan praktik, laboratorium, maupun pemeliharaan mesin skala kecil.

II. METODE PENELITIAN

A. Model Pengembangan

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun dengan model pengembangan ADDIE. Model ini dipilih karena menyediakan tahapan kerja yang runtut untuk mengembangkan prototipe sistem teknis, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi fungsi sistem. Dalam penelitian ini, ADDIE tidak digunakan sebagai model pembelajaran, melainkan sebagai kerangka pengembangan produk yang mencakup analysis, design, development, implementation, dan evaluation [10].



Gambar 1. Model pengembangan ADDIE

Tahap analysis dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem monitoring getaran, meliputi kebutuhan akuisisi data percepatan, komunikasi nirkabel, visualisasi data, serta perhitungan indikator kondisi mesin. Tahap design dilakukan dengan menyusun alur kerja sistem, rancangan blok diagram, flowchart aplikasi, dan rancangan antarmuka pengguna. Tahap development dilaksanakan melalui perakitan perangkat keras dan pembuatan aplikasi MATLAB GUI. Tahap implementation dilakukan dengan menguji sistem pada beberapa objek mesin, sedangkan tahap evaluation digunakan untuk

menilai ketercapaian fungsi sistem berdasarkan hasil pengujian.

B. Kebutuhan Sistem

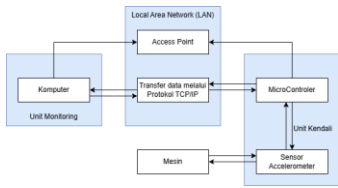
Sistem yang dikembangkan terdiri atas empat bagian utama, yaitu unit pembaca getaran, unit pengolah dan pengirim data, jaringan komunikasi, serta antarmuka monitoring. Unit pembaca getaran menggunakan sensor MPU-6050 untuk memperoleh data percepatan. Unit pengolah dan pengirim data menggunakan ESP8266 NodeMCU yang berfungsi menerima data sensor dan mengirimkannya ke komputer monitoring melalui jaringan lokal. Antarmuka monitoring dibuat menggunakan MATLAB GUI untuk menampilkan grafik, nilai parameter getaran, dan status kondisi mesin.

Tabel 1. Komponen Utama Sistem

Komponen	Fungsi
MPU-6050	Membaca percepatan getaran pada bodi mesin.
ESP8266 NodeMCU	Mengolah dan mengirim data sensor melalui Wi-Fi.
TCP/IP LAN	Media komunikasi antara hardware dan komputer monitoring.
MATLAB	Menampilkan grafik real-time dan hasil perhitungan parameter getaran.
LCD dan tombol	Menampilkan status perangkat serta mendukung pengaturan dasar.

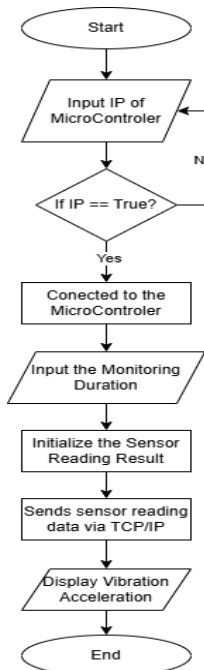
C. Rancangan Arsitektur dan Alur Sistem

Arsitektur sistem dirancang dalam bentuk hubungan antara sensor, mikrokontroler, jaringan lokal, dan aplikasi monitoring. Sensor akselerometer ditempelkan pada bodi mesin, terutama pada area yang dekat dengan bearing atau komponen berputar agar getaran mekanis dapat terbaca dengan lebih representatif. Data dari sensor dikirim ke ESP8266 NodeMCU, kemudian diteruskan ke komputer melalui komunikasi TCP/IP pada jaringan Wi-Fi yang sama. Aplikasi MATLAB menerima data tersebut, menampilkannya dalam bentuk grafik waktu nyata, dan menghitung parameter analisis getaran.



Gambar 2. Blok diagram sistem monitoring getaran mesin

Alur kerja sistem dimulai dari pengguna memasukkan IP address mikrokontroler pada aplikasi. Setelah koneksi berhasil, pengguna menentukan durasi monitoring, kemudian sistem membaca data sensor secara kontinu. Data yang telah diperoleh dikirim melalui protokol TCP/IP ke komputer monitoring. Pada sisi aplikasi, data divisualisasikan sebagai grafik percepatan getaran dan diolah menjadi nilai RMS, peak, peak-to-peak, dan average. Setelah proses monitoring selesai, aplikasi menampilkan status kondisi mesin berdasarkan ambang klasifikasi yang telah ditentukan.



Gambar 3. Flowchart aplikasi monitoring getaran

D. Pengolahan Data Getaran

Data dari akselerometer awalnya berada dalam bentuk nilai digital hasil pembacaan sensor. Nilai tersebut dikonversi menjadi satuan percepatan melalui proses kalibrasi berdasarkan faktor sensitivitas sensor. Dalam pengujian ini, parameter utama yang digunakan untuk menilai tingkat getaran adalah Root Mean Square (RMS) karena RMS dapat merepresentasikan energi efektif dari sinyal getaran selama periode pengukuran. Selain RMS, sistem juga menghitung peak, peak-to-peak, dan average untuk memperkaya informasi kondisi getaran mesin.

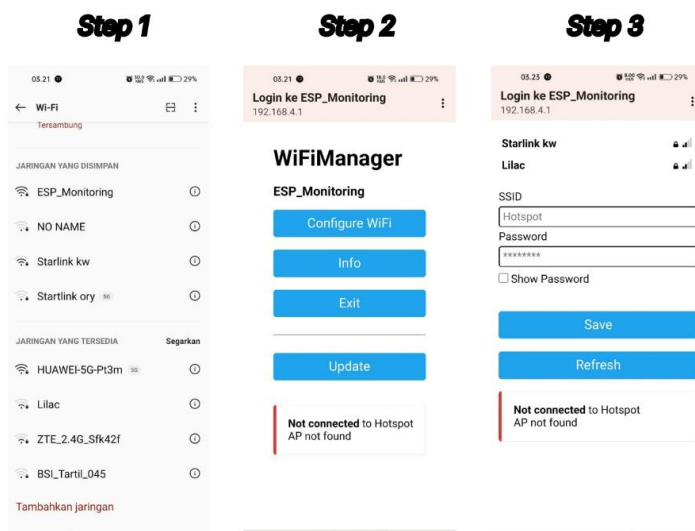
$$RMS = \sqrt{((x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2) / n)}$$

Tabel 2. Parameter Pengukuran Getaran

Parameter	Keterangan
RMS	Nilai efektif percepatan getaran selama periode monitoring.
Peak	Nilai puncak tertinggi dari sinyal percepatan getaran.
Peak-to-peak	Selisih antara nilai maksimum dan minimum sinyal.
Average	Rata-rata nilai percepatan getaran yang terbaca.
Status	Klasifikasi kondisi mesin berdasarkan ambang getaran.

E. Prosedur Pengujian

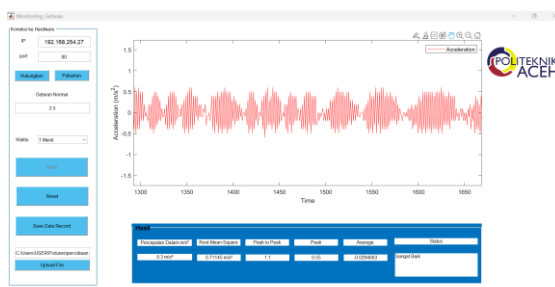
Prosedur pengujian dilakukan dengan menempelkan sensor pada bodi mesin, menghubungkan perangkat ke jaringan Wi-Fi, memasukkan IP address perangkat pada aplikasi, memilih durasi monitoring selama lima menit, kemudian menjalankan proses perekaman data. Objek yang diuji meliputi gerinda tangan, bor tangan, blender dapur, dan mesin pompa air. Setiap hasil pengujian dianalisis berdasarkan nilai RMS dan dibandingkan dengan ambang kategori kondisi yang digunakan pada penelitian.



Gambar 4. Konfigurasi jaringan perangkat melalui WiFiManager



Gambar 5. Pemasangan sensor pada bodi mesin



Gambar 6. Tampilan aplikasi monitoring getaran mesin

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Aplikasi dan Hardware

Aplikasi monitoring getaran berhasil dibuat menggunakan MATLAB GUI. Antarmuka aplikasi menyediakan kolom IP address, pilihan durasi monitoring, tombol mulai, area grafik percepatan getaran, serta panel hasil perhitungan. Ketika aplikasi terhubung dengan ESP8266 NodeMCU pada jaringan yang sama, data percepatan getaran dapat diterima dan divisualisasikan secara real-time. Hasil akhir monitoring ditampilkan dalam bentuk nilai RMS, peak, peak-to-peak, average, dan status kondisi mesin.

Perangkat keras monitoring dirancang sebagai node sensor portabel yang terdiri atas sensor akselerometer, ESP8266 NodeMCU, LCD, tombol pengaturan jaringan, tombol reset, tombol pemeriksaan kapasitas baterai, dan tombol daya. LCD digunakan untuk menampilkan informasi status perangkat, proses kalibrasi, IP address, dan kapasitas baterai. Fitur WiFiManager membantu pengguna menghubungkan perangkat ke jaringan tanpa perlu mengubah program secara langsung.



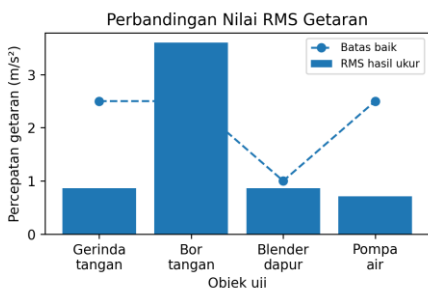
Gambar 7. Prototipe hardware monitoring getaran mesin

B. Ringkasan Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap objek uji menghasilkan karakteristik getaran yang berbeda. Nilai RMS tertinggi diperoleh pada bor tangan sebesar $3,60 \text{ m/s}^2$, sedangkan nilai terendah diperoleh pada mesin pompa air sebesar $0,71 \text{ m/s}^2$. Gerinda tangan dan blender dapur menunjukkan nilai RMS yang sama, yaitu $0,86 \text{ m/s}^2$, tetapi interpretasi status keduanya tetap mengikuti ambang kategori masing-masing objek uji. Perbedaan nilai RMS ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan tingkat intensitas getaran antar objek.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Pengujian

Objek Uji	Hasil Pengujian
Gerinda tangan	RMS $0,86 \text{ m/s}^2$; durasi 5 menit; status sangat baik.
Bor tangan	RMS $3,60 \text{ m/s}^2$; durasi 5 menit; status baik.
Blender dapur	RMS $0,86 \text{ m/s}^2$; durasi 5 menit; status sangat baik.
Mesin pompa air	RMS $0,71 \text{ m/s}^2$; durasi 5 menit; status sangat baik.

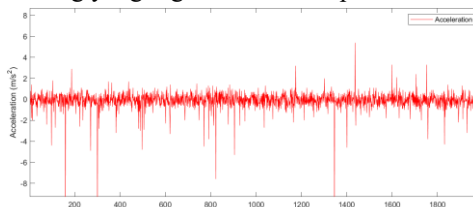


Gambar 8. Perbandingan nilai RMS getaran pada objek uji

C. Hasil Uji pada Gerinda Tangan

Pengujian pada gerinda tangan dilakukan selama lima menit dan menghasilkan nilai RMS sebesar $0,86 \text{ m/s}^2$. Nilai tersebut berada di bawah ambang $2,5 \text{ m/s}^2$ yang digunakan sebagai batas kondisi baik pada objek uji

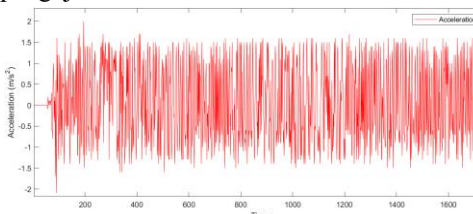
gerinda tangan. Dengan demikian, sistem mengklasifikasikan getaran gerinda tangan dalam kondisi sangat baik. Hasil ini menunjukkan bahwa getaran yang terbaca relatif rendah dan tidak menunjukkan indikasi awal gangguan mekanis berdasarkan ambang yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 9. Grafik akselerasi getaran gerinda tangan

D. Hasil Uji pada Bor Tangan

Pengujian pada bor tangan menghasilkan nilai RMS sebesar $3,60 \text{ m/s}^2$. Nilai ini merupakan nilai tertinggi dibandingkan objek uji lainnya dan berada pada rentang $2,5-5,0 \text{ m/s}^2$. Berdasarkan kategori yang digunakan, kondisi bor tangan dinilai masih berada pada status baik, tetapi intensitas getarannya lebih tinggi dibandingkan gerinda tangan, blender dapur, dan pompa air. Temuan ini dapat disebabkan oleh karakter kerja bor tangan yang menghasilkan beban dinamis dan putaran yang lebih kuat selama proses pengujian.

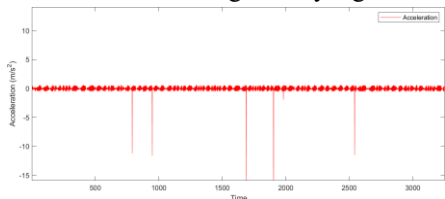


Gambar 10. Grafik akselerasi getaran bor tangan

E. Hasil Uji pada Blender Dapur

Pengujian pada blender dapur menghasilkan nilai RMS sebesar $0,86 \text{ m/s}^2$. Pada objek uji blender dapur, ambang kondisi baik yang digunakan adalah $\leq 1,0 \text{ m/s}^2$, sehingga nilai tersebut masih berada dalam kategori sangat baik. Meskipun nilainya sama dengan gerinda tangan, interpretasinya perlu memperhatikan

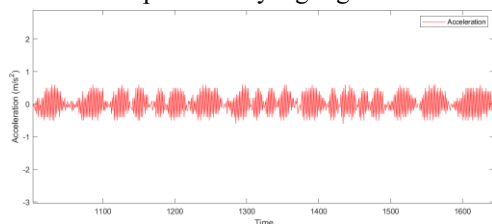
karakteristik objek uji karena setiap mesin memiliki batas normal getaran yang berbeda.



Gambar 11. Grafik akselerasi getaran blender dapur

F. Hasil Uji pada Mesin Pompa Air

Pengujian pada mesin pompa air menghasilkan nilai RMS sebesar 0,71 m/s². Nilai tersebut berada di bawah ambang 2,5 m/s² sehingga status kondisi mesin pompa air dikategorikan sangat baik. Nilai RMS yang relatif rendah menunjukkan bahwa selama durasi pengujian, mesin pompa air menghasilkan getaran yang stabil dan tidak menunjukkan indikasi getaran berlebih berdasarkan parameter yang digunakan.



Gambar 12. Grafik akselerasi getaran mesin pompa air

G. Pembahasan Kinerja Sistem

Secara fungsional, sistem yang dikembangkan telah mampu mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, jaringan lokal, dan aplikasi monitoring dalam satu alur kerja. Penggunaan TCP/IP memungkinkan data dikirim secara nirkabel dari node sensor ke komputer monitoring, sedangkan MATLAB GUI membantu pengguna membaca grafik dan parameter getaran secara lebih mudah. Hasil ini sejalan dengan kecenderungan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa sensor akselerometer dan platform IoT dapat digunakan untuk membaca, mengirim, dan memvisualisasikan data getaran secara real-time [6], [7], [8], [9].

Dari sisi analisis kondisi mesin, nilai RMS dapat digunakan sebagai indikator awal

untuk membedakan tingkat getaran antarobjek. Namun, klasifikasi yang dihasilkan masih bersifat indikatif karena ambang yang digunakan belum divalidasi dengan vibration meter standar industri. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem ini masih berada pada tahap prototipe dasar karena belum menerapkan analisis domain frekuensi, Fast Fourier Transform (FFT), penyimpanan basis data, dashboard berbasis web, atau algoritma machine learning seperti yang mulai digunakan pada sistem predictive maintenance modern [7], [9].

Tabel 4. Evaluasi Fungsional Sistem

Fungsi	Hasil
Input IP address	Aplikasi dapat menghubungkan komputer dengan ESP8266 pada jaringan yang sama.
Pembacaan sensor	Sensor dapat membaca percepatan getaran dan mengirimkan data ke mikrokontroler.
Grafik real-time	Aplikasi dapat menampilkan perubahan akselerasi getaran selama monitoring.
Perhitungan parameter	Aplikasi menghitung RMS, peak, peak-to-peak, dan average.
Status mesin	Aplikasi menampilkan klasifikasi awal kondisi mesin berdasarkan ambang getaran.

Keterbatasan utama penelitian ini terletak pada jumlah objek uji yang masih terbatas, durasi monitoring yang relatif singkat, serta belum adanya pembandingan dari alat ukur getaran standar. Selain itu, aplikasi masih berjalan pada komputer desktop sehingga fleksibilitas penggunaannya belum setara dengan sistem berbasis web atau smartphone. Pengembangan berikutnya perlu diarahkan pada validasi akurasi sensor, pengujian pada mesin industri dengan kondisi normal dan abnormal, penambahan analisis frekuensi, penyimpanan riwayat data, serta pengembangan dashboard monitoring yang dapat diakses melalui perangkat bergerak.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe aplikasi monitoring getaran mesin berbasis Internet of Things yang terdiri atas sensor MPU-6050, ESP8266 NodeMCU,

komunikasi TCP/IP, dan antarmuka MATLAB GUI. Sistem mampu menampilkan grafik percepatan getaran secara real-time serta menghitung RMS, peak-to-peak, peak, average, dan status kondisi mesin. Hasil pengujian selama lima menit menunjukkan nilai RMS sebesar 0,86 m/s² pada gerinda tangan, 3,60 m/s² pada bor tangan, 0,86 m/s² pada blender dapur, dan 0,71 m/s² pada mesin pompa air. Berdasarkan nilai tersebut, sistem dapat memberikan klasifikasi awal kondisi mesin dan dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu teknisi dalam pemantauan getaran.

Pengembangan berikutnya diperlukan kalibrasi untuk mengevaluasi akurasi, presisi dan keandalan sistem dengan alat ukur getaran standar industri, memperluas objek uji pada mesin dengan variasi kondisi normal dan tidak normal, menambahkan penyimpanan data historis, serta mengembangkan aplikasi agar dapat berjalan pada platform web atau smartphone. Dengan pengembangan tersebut, sistem berpotensi menjadi solusi pemantauan kondisi mesin yang lebih praktis, portabel, dan mendukung pemeliharaan prediktif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Syahfitri, "Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya," *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 113–120, 2025.
- [2] J. Arifin, J. Frenando, and H. Herryawan, "Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Internet of Things via Pesan Telegram," *TELKA-Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 8, no. 1, pp. 49–59, 2022.
- [3] T. P. Rahmadani, "Analisis Pemantauan Access Point Local Arena Network dengan Menggunakan OpManager," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 11–23, 2022.
- [4] D. B. Setyawan and S. Sufiyanto, "Metode vibration analysis dalam aplikasi perawatan mesin," *Jurnal Teknik Mesin Transmisi*, vol. 9, no. 2, pp. 921–930, 2013.
- [5] H. Santosa and Y. Yuliati, "Rancang Bangun Mesin Pencuci Berbagai Jenis Umbi, Rimpang dan Kacang Tanah Dengan Sinergi Rotary Rubber Brush," *Widya Teknik*, vol. 21, no. 1, pp. 14–20, 2022.
- [6] F. Aswin, I. Dwisaputra, and R. Afriansyah, "Online vibration monitoring system for rotating machinery based on 3-axis MEMS accelerometer," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, p. 12109.
- [7] Y. M. Al-Naggar, N. Jamil, M. F. Hassan, and A. R. Yusoff, "Condition monitoring based on IoT for predictive maintenance of CNC machines," *Procedia CIRP*, vol. 102, pp. 314–318, 2021.
- [8] T. J. Saravanan, M. Mishra, A. D. Aherwar, and P. B. Lourenço, "Internet of things (IoT)-based structural health monitoring of laboratory-scale civil engineering structures," *Innovative infrastructure solutions*, vol. 9, no. 4, p. 110, 2024.
- [9] H. Hafizh, M. N. N. Ali, and A. P. P. Abdul Majeed, "Vibration condition monitoring of rotating machinery with IoT and smartphone sensors," in *International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics*, 2023, pp. 421–431.
- [10] D. A. Meliala, A. K. Sulistyawati, and M. Iqram, "PENERAPAN ANALYSIS DESIGN DEVELOP IMPLEMENT EVALUATE (ADDIE) TERHADAP PERANCANGAN APLIKASI MONITORING SKRIPSI," in *Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu*, 2020, pp. 81–86.