



Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-Time*

Muhammad Rifqi Dzikra Syalabi^{1*}, Sri Mulyanto Herlambang², Elly Kusumawati³,
Henna Nurdiansari⁴, Akhmad Kasan Gupron⁵

¹⁻⁵Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Email: rifqidzikra9@gmail.com^{1*}, suksesbareng20@gmail.com², elly.kusumawati@poltekpel-sby.ac.id³,
henna.nurdiansari@poltekpel-sby.ac.id⁴, akhmad.gupron@poltekpel-sby.ac.id⁵

*Korespondensi Penulis: rifqidzikra9@gmail.com

Abstract. *The electric motor of a ship's sewage pump operates continuously and plays an important role in the ship's sanitation system. Therefore, motor condition monitoring is required to prevent operational disruptions. Motor damage is generally preceded by increased vibration caused by imbalance, bearing wear, or improper installation. This study aims to design a real-time monitoring system for electric motor damage of a ship's sewage pump using a piezoelectric sensor as a vibration detector. The research method used was an experimental method consisting of system design, static testing, dynamic testing, and data analysis. The system was designed using a Moswell MW 125 motor as a representation of the sewage pump motor, a piezoelectric sensor as the vibration detector, an ESP32 microcontroller as the data processor and transmitter, and Node-RED as the monitoring display platform. Dynamic testing was carried out for 30 minutes with data readings taken every 5 minutes. The test results showed that the monitoring system worked according to the design. The motor vibration value under normal conditions ranged from 0.2 to 0.5 mm/s during the testing period, which was categorized as safe and stable. The system was able to display vibration data in a real-time, continuous, and accurate manner through the dashboard. Therefore, the piezoelectric sensor-based monitoring system can be used as an early detection tool for motor damage and to support preventive maintenance of the ship's sewage pump electric motor.*

Keywords: *Electric Motor; Piezoelectric Sensor; Real-time; Sewage pum; Vibration Monitoring.*

Abstrak. Motor listrik *sewage pump* di kapal bekerja secara kontinu dan memiliki peranan penting dalam sistem sanitasi kapal, sehingga diperlukan pemantauan kondisi motor untuk mencegah terjadinya gangguan operasional. Kerusakan motor umumnya diawali oleh peningkatan getaran akibat ketidakseimbangan, keausan *bearing*, atau pemasangan yang kurang presisi. Penelitian ini bertujuan merancang sistem *monitoring* kerusakan motor listrik *sewage pump* di kapal secara *real-time* menggunakan sensor *piezoelectric* sebagai pendeteksi getaran. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan tahapan perancangan alat, pengujian statis, pengujian dinamis, dan analisis data. Sistem dirancang menggunakan motor Moswell MW 125 sebagai representasi motor *sewage pump*, sensor *piezoelectric* sebagai pendeteksi getaran, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah dan pengirim data, serta Node-RED sebagai media tampilan *monitoring*. Pengujian dinamis dilakukan selama 30 menit dengan interval pembacaan data setiap 5 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berhasil bekerja sesuai perancangan. Nilai getaran motor pada kondisi normal berada pada kisaran 0,2–0,5 mm/s selama pengujian berlangsung, sehingga termasuk kategori aman dan stabil. Sistem mampu menampilkan data getaran secara *real-time*, kontinu, dan akurat melalui *dashboard*. Dengan demikian, sistem *monitoring* berbasis sensor *piezoelectric* dapat digunakan sebagai alat bantu deteksi dini kerusakan motor serta mendukung pemeliharaan *preventif* pada motor listrik *sewage pump* di kapal.

Kata Kunci: *Monitoring Getaran; Motor Listrik; Sewage Pump; Sensor Piezoelectric; Real-time.*

1. LATAR BELAKANG

Motor listrik merupakan komponen utama dalam sistem bantu kapal yang berperan penting dalam menunjang keselamatan, kelancaran operasional, dan pemenuhan regulasi lingkungan. Salah satu penerapan motor listrik di atas kapal adalah sebagai penggerak *sewage pump*, yaitu pompa yang berfungsi memindahkan dan mengolah limbah cair dari sistem sanitasi kapal. Keandalan motor listrik pada *sewage pump* harus selalu terjaga karena kegagalan sistem ini dapat mengganggu operasional kapal serta berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan laut.

Dalam kondisi operasional, motor listrik *sewage pump* bekerja secara kontinu dan berada pada lingkungan yang tidak ideal, seperti tingkat kelembapan tinggi, getaran struktur kapal, fluktuasi beban, serta paparan korosi akibat air laut. Kondisi tersebut menyebabkan motor listrik rentan mengalami kerusakan, baik secara mekanis maupun elektrik. Kerusakan mekanis seperti keausan bantalan, ketidakseimbangan rotor, dan ketidaksejajaran poros umumnya ditandai dengan munculnya getaran abnormal. Apabila kondisi ini tidak terdeteksi sejak dini, maka dapat berkembang menjadi kerusakan serius yang mengakibatkan berhentinya operasi *sewage pump* secara mendadak.

Pada praktiknya, pemantauan kondisi motor listrik di atas kapal masih banyak dilakukan melalui inspeksi visual dan perawatan berkala. Metode ini memiliki keterbatasan karena tidak mampu memberikan informasi kondisi motor secara kontinu dan *real-time*, sehingga potensi kerusakan awal sering kali tidak teridentifikasi dengan cepat. Akibatnya, tindakan perawatan cenderung bersifat reaktif setelah kerusakan terjadi, yang dapat meningkatkan risiko *downtime*, biaya perbaikan, serta menurunkan tingkat keandalan sistem kelistrikan kapal.

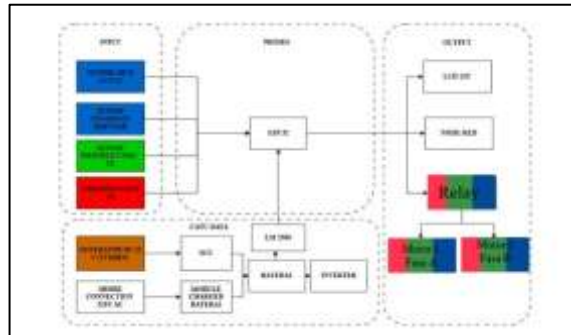
Salah satu parameter yang efektif untuk mendeteksi kerusakan motor listrik sejak tahap awal adalah getaran. Analisis getaran memungkinkan identifikasi gangguan mekanis tanpa perlu membongkar motor. Sensor *piezoelectric* memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan getaran dan mampu mengonversi energi mekanik menjadi sinyal listrik, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai sensor pendeteksi dini kerusakan motor listrik. Pemanfaatan sensor *piezoelectric* pada motor listrik *sewage pump* memungkinkan pemantauan kondisi motor secara berkelanjutan dan akurat selama kapal beroperasi.

Dengan mengintegrasikan sensor *piezoelectric* ke dalam sistem *monitoring* berbasis mikrokontroler dan teknologi *Internet of Things (IoT)*, kondisi motor listrik *sewage pump* dapat dipantau secara *real-time*. Sistem ini memungkinkan pendeteksian dini terhadap getaran abnormal sebagai indikasi awal kerusakan, sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan lebih cepat dan terencana. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *predictive maintenance*, yang bertujuan meningkatkan keandalan peralatan, memperpanjang umur pakai motor, serta mendukung keselamatan dan efisiensi operasional kapal.

2. METODE PENELITIAN

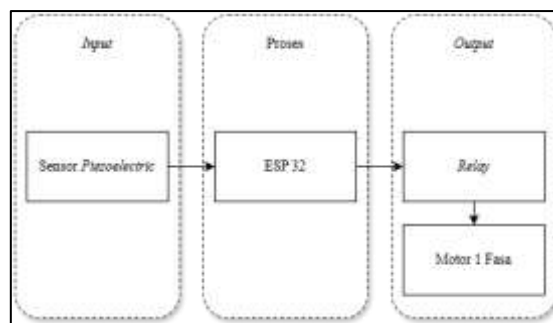
Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental, yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik getaran motor kapal berdasarkan data numerik yang dihasilkan oleh sensor *piezoelectric*. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh data kuantitatif berupa nilai getaran motor listrik *sewage pump* yang diukur

secara *real-time* pada berbagai kondisi operasi (Khazaee et al., 2022). Variabel yang digunakan adalah variabel bebas dengan melihat motr dalam keadaan normal atau tidak normal. Pada perancangan sistem penelitian ini menggunakan blok diagram.



Gambar 1. Blok Diagram Capstone (Monitoring Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada Sewage pump di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran)

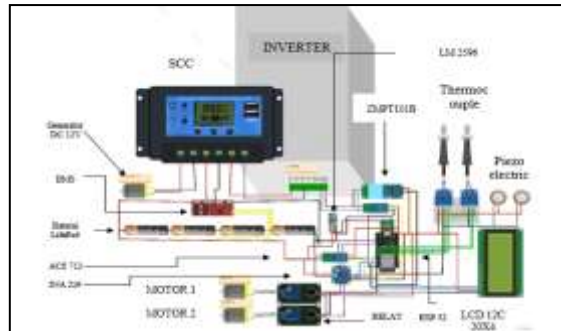
Pada Gambar 3 ditunjukkan blok diagram sistem yang menggambarkan hubungan kerja antar komponen pada *prototype* penelitian. Sistem dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Bagian input terdiri dari komponen sensor serta sumber energi yang digunakan untuk mendukung kerja sistem *monitoring*. Sensor berfungsi membaca kondisi getaran motor listrik selama proses pengoperasian berlangsung.



Gambar 1. Blok diagram (Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-time*)

Pada gambar 2 merupakan gambar blok diagram dari penelitian yang dilakukan peneliti dengan 3 bagian utama yaitu input, proses, dan output. Pada input berisikan sensor *piezoelectric* yang memberikan data getaran pada motor yang akan dikirim ke bagian selanjutnya yaitu ESP 32 sebagai proses atau juga sebagai mikrokontoller dalam prototipe ini dan selanjutnya yaitu output, motor 1 phase yang digunakan sebagai bahan uji untuk penelitian.

Perancangan alat ini merupakan penggalan dari *capstone* yang dikembangkan bersama yang menyangkut milik peneliti.



Gambar 3. Wiring Diagram Capstone (Monitoring Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada Sewage pump di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran)

Pada Gambar 3 ditunjukkan wiring diagram sistem yang dirancang secara sederhana untuk menggambarkan susunan rangkaian elektrik pada *prototype* penelitian. Wiring diagram tersebut dibuat agar hubungan antar komponen pada sistem *monitoring* dapat dipahami dengan lebih mudah oleh pembaca.

Melalui penjelasan pada tabel tersebut, proses aliran daya dan jalur komunikasi data antar komponen dapat dipahami dengan lebih jelas. Dengan demikian, *wiring* diagram dan tabel koneksi membantu menunjukkan cara kerja sistem *monitoring* getaran motor secara terintegrasi mulai dari proses pendeteksian getaran.



Gambar 4. Wiring Diagram (Sistem Monitoring Kerusakan Motor Kapal dengan Sensor Piezoelectric Secara Real-time)

Pada gambar 4 tersebut menunjukkan rancangan sistem *monitoring* dan pengendalian motor 1 fasa berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor *piezoelectric*, modul *relay*, serta sumber energi dari generator DC dan *inverter*. Sistem diawali dari sensor *piezoelectric* yang berfungsi mendeteksi getaran pada motor, kemudian menghasilkan sinyal *analog* dengan rentang 0–3,3V. Sinyal ini dikirimkan ke ESP32 untuk diolah sebagai data kondisi motor. Pada rencana pengujian penelitian ini menguji pengujian statis, dan pengujian dinamis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengujian Statis

a. Pengujian Statis ESP 32



Gambar 6. ESP32 Menyala

Sumber: Dokumen Pribadi

Hasil pengujian pada gambar 6 menunjukkan bahwa ESP32 dapat menyala dengan normal, mampu terhubung ke jaringan Wi-Fi, dan menjalankan program pembacaan sensor tanpa gangguan. Dengan demikian, mikrokontroler dinyatakan layak digunakan sebagai pusat pengendali sistem *monitoring* getaran motor.



a



b



c

Gambar 7. Pengujian ESP 32: a. Program ESP 32, b. *Monitoring* Getaran, dan c. Hasil Getaran pada LCD

Sumber: Dokumen Pribadi

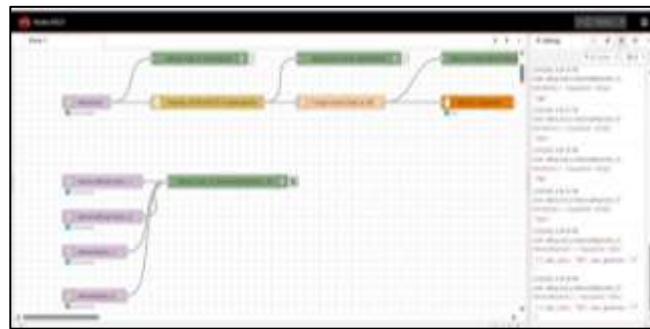
Berdasarkan Gambar 7, ESP32 mampu menjalankan program *monitoring* dengan baik, melakukan proses pembacaan data sensor, serta mengirimkan data menuju sistem *monitoring* secara *real-time*. Pada Gambar 7a ditunjukkan program ESP32 yang digunakan untuk mengatur proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengiriman data ke sistem *monitoring*. Program tersebut berfungsi sebagai pusat kendali agar seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan perancangan sistem.

Selanjutnya, pada Gambar 7b ditampilkan *dashboard monitoring* berbasis Node-RED yang digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor secara *real-time*. *Dashboard* tersebut menampilkan parameter pengukuran seperti suhu, nilai getaran, dan status motor

sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi motor selama pengoperasian berlangsung.

Kemudian pada Gambar 7c diperlihatkan hasil tampilan data pada LCD yang terpasang pada alat. LCD digunakan untuk menampilkan informasi utama seperti nilai suhu dan getaran motor secara langsung tanpa harus membuka *dashboard* Node-RED. Tampilan pada LCD menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil tanpa adanya gangguan komunikasi data antara sensor, ESP32, dan media monitoring.

b. Pengujian Statis Platform Node-RED

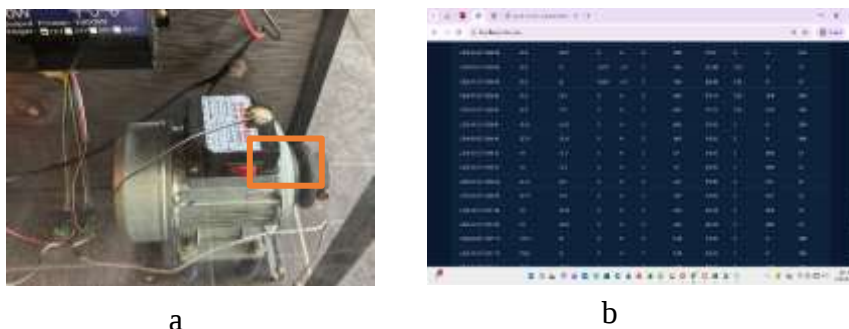


Gambar 8. Pengujian Node-RED

Sumber: Dokumen Pribadi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Node-RED dapat berjalan dengan baik, *dashboard* dapat diakses, dan data uji berhasil diterima dari ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa sistem visualisasi data telah siap digunakan untuk proses *monitoring* getaran secara *real-time*.

c. Pengujian Statis Sensor Piezoelectric



Gambar 8. Pengujian Sensor Piezoelectric: a. Pemasangan Sensor Piezoelectric, dan b. Pembacaan Data Sensor Piezoelectric

Hasil pengujian pada Gambar 8 menunjukkan bahwa sensor *piezoelectric* mampu mendeteksi getaran dengan stabil dan memberikan nilai pembacaan yang berubah sesuai intensitas getaran. Pada Gambar 8a diperlihatkan pemasangan sensor *piezoelectric* pada bodi motor yang digunakan sebagai objek pengujian. Sensor dipasang pada bagian bodi

motor agar getaran yang dihasilkan selama motor bekerja dapat terbaca secara langsung oleh sensor.

Selanjutnya, pada Gambar 8b ditampilkan hasil pembacaan data sensor pada sistem *monitoring*. Data tersebut menunjukkan perubahan nilai getaran yang diterima sensor selama proses pengujian berlangsung. Perubahan nilai pembacaan tersebut menandakan bahwa sensor mampu merespon getaran dengan baik sesuai kondisi motor yang diuji. Dengan demikian, sensor dinyatakan berfungsi dengan baik dan siap digunakan untuk memantau kondisi motor saat beroperasi.

1) Pengujian Dinamis

Tabel 1. Pengujian Selama 30 Menit

No	Waktu Pengujian (Menit)	Nilai Getaran (mm/s)	Keterangan
1	0	0,2	Awal motor berjalan
2	5	0,3	Stabil
3	10	0,3	Stabil
4	15	0,4	Stabil
5	20	0,4	Stabil
6	25	0,5	Stabil
7	30	0,5	Stabil

Berdasarkan Tabel 1, nilai getaran motor mengalami peningkatan secara bertahap dari 0,2 mm/s hingga 0,5 mm/s selama 30 menit pengoperasian. Meskipun terjadi kenaikan nilai getaran, kondisi motor masih berada pada kategori stabil dan aman berdasarkan standar *ISO 10816* karena nilai getaran masih berada pada rentang normal. Motor 1 *phase* Moswell MW 125 dioperasikan sebagai representasi motor penggerak *sewage pump* di kapal. Data getaran diamati selama pengoperasian dan ditampilkan melalui Node-RED.

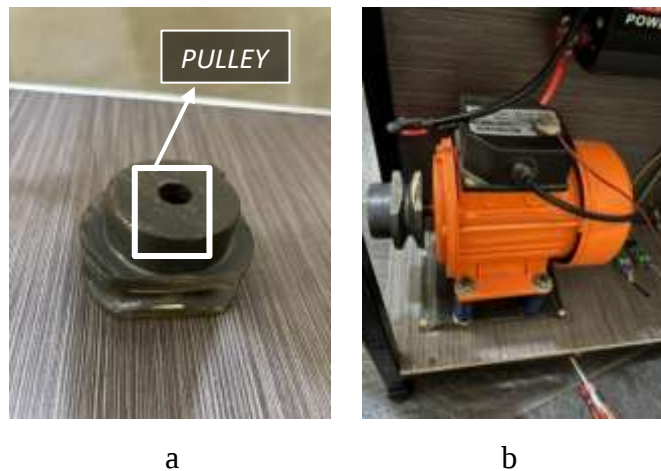
Tabel 2. Indikasi Getaran Pada Motor

No	Kondisi Pengujian	Nilai Getaran (mm/s)	Keterangan
1	Normal	0,5	Stabil
2	Beban ringan / gangguan kecil	3,2	Perlu perhatian
3	Gangguan sedang	5,4	Indikasi kerusakan
4	Gangguan berat	7,8	Kerusakan berat

Sumber: Dokumen Pribadi

Pada Tabel 2 kondisi normal, nilai getaran rata-rata yang terbaca sebesar 0,5 mm/s. Nilai tersebut termasuk kategori Normal (0–2,5 mm/s) sehingga motor dinyatakan masih bekerja dengan baik. Apabila nilai getaran berada pada rentang 2,6–4,5 mm/s, maka kondisi motor masuk kategori Perlu Perhatian. Jika meningkat menjadi 4,6–7,0 mm/s, maka

menunjukkan Indikasi Kerusakan. Sedangkan apabila melebihi 7,0 mm/s, motor termasuk Kerusakan Berat dan perlu segera dilakukan *maintenance*.



Gambar 9. *Pulley*: a. *Pulley* belum terpasang, dan b. *Pulley* terpasang

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada Gambar 9, sistem *pulley* yang tidak simetris pada alat ini bekerja dengan prinsip ketidakseimbangan massa (*unbalance*) untuk menghasilkan getaran saat motor berputar. Pada Gambar 9a diperlihatkan *pulley* yang digunakan sebagai penghasil getaran pada motor. *Pulley* tersebut dimodifikasi agar memiliki ketidakseimbangan massa sehingga saat motor berputar akan menghasilkan gaya sentrifugal yang tidak merata. Sedangkan pada Gambar 9b diperlihatkan posisi *pulley* saat terpasang pada sistem penggerak motor sebagai bagian dari proses pengujian getaran.

Pada kondisi normal, *pulley* yang simetris akan memiliki distribusi massa yang merata sehingga putaran motor menjadi stabil dan minim getaran. Namun, pada rancangan ini *pulley* dibuat tidak simetris, misalnya dengan menambahkan beban pada salah satu sisi atau mengurangi massa pada sisi tertentu sehingga pusat massa tidak berada tepat di tengah poros. Akibatnya, saat motor berputar timbul gaya sentrifugal yang tidak seimbang dan menghasilkan getaran mekanis secara terus-menerus.

Getaran yang dihasilkan ini kemudian dideteksi oleh sensor *piezoelectric* sebagai sinyal *analog*. Besarnya getaran sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kecepatan putaran motor (RPM), besar massa tambahan pada *pulley*, jarak massa dari pusat putaran (radius), serta kekakuan strukturudukan motor. Semakin besar ketidakseimbangan massa dan semakin tinggi kecepatan putaran, maka amplitudo getaran yang dihasilkan juga akan semakin besar. (Rao, 2017)

Untuk menghasilkan nilai getaran sebesar 7,8 mm/s, pengujian dilakukan dengan mengatur beberapa parameter utama. Pertama, kecepatan motor dijaga pada kisaran tertentu agar menghasilkan gaya sentrifugal yang cukup. Kedua, massa tambahan pada *pulley*

ditentukan dan ditempatkan pada jarak tertentu dari pusat untuk menciptakan ketidakseimbangan yang terkontrol. Ketiga, dilakukan kalibrasi sensor *piezoelectric* agar *output* tegangan sesuai dengan tingkat getaran yang diinginkan. Selain itu, kondisi lingkungan seperti kekakuan *mounting* dan kestabilan rangka juga diperhatikan agar getaran tidak teredam atau justru berlebihan.

Melalui kombinasi parameter tersebut, sistem dapat menghasilkan getaran yang konsisten di angka 7,8 mm/s sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengujian kinerja alat maupun sistem *monitoring* yang dirancang.

Tabel 3. Indikasi Maintenance Pada Getaran Motor

No	Rentang Getaran (mm/s)	Kategori	Tindakan
1	0 – 2,5	Normal	Motor aman dioperasikan
2	2,6 – 4,5	Perlu perhatian	Lakukan inspeksi berkala
3	4,6 – 7,0	Indikasi kerusakan	Jadwalkan perbaikan
4	> 7,0	Kerusakan berat	Hentikan motor dan <i>maintenance</i> segera

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan Tabel 3, tindakan *maintenance* dilakukan sesuai tingkat getaran yang terdeteksi pada motor listrik. Semakin tinggi nilai getaran yang terbaca maka semakin besar potensi kerusakan mekanis yang dapat terjadi pada motor, sehingga diperlukan tindakan perawatan yang lebih cepat untuk mencegah kegagalan sistem.

Berdasarkan hasil pengujian dinamis, sistem *monitoring* getaran motor menggunakan sensor *piezoelectric* berhasil bekerja sesuai perancangan. Sistem mampu menampilkan perubahan nilai getaran secara kontinu, akurat, dan *real-time*.

Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini difokuskan pada hasil pembacaan sensor *piezoelectric* terhadap perubahan getaran motor 1 phase *Moswell* MW 125 yang digunakan sebagai representasi motor penggerak *sewage pump* di kapal. Data diperoleh dari pengujian statis dan dinamis, kemudian ditampilkan melalui Node-RED secara *real-time*.

Secara keseluruhan, sistem yang dirancang terdiri dari sensor *piezoelectric*, mikrokontroler ESP32, jaringan komunikasi nirkabel, serta tampilan dashboard Node-RED. Integrasi antar komponen tersebut memungkinkan data getaran motor dibaca secara kontinu dan dikirim ke antarmuka pemantauan. Berdasarkan hasil pengujian statis, seluruh komponen dapat bekerja sesuai fungsi masing-masing, sehingga sistem layak digunakan untuk pengujian lanjutan pada kondisi motor beroperasi.

Selanjutnya pembahasan analisis data untuk mengetahui hasil kinerja sistem *monitoring* getaran motor dilakukan berdasarkan pengujian dinamis selama 30 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 menit. Nilai getaran awal motor saat mulai dioperasikan sebesar 0,2 mm/s dan pada menit ke-30 mencapai 0,5 mm/s. Kenaikan nilai getaran terjadi secara bertahap dan masih berada pada batas normal. Rata-rata nilai getaran selama pengujian berada pada kisaran 0,37 mm/s, sehingga menunjukkan bahwa motor bekerja stabil tanpa indikasi gangguan mekanis. Nilai getaran pada penelitian ini dianalisis menggunakan *parameter velocity RMS* dengan satuan mm/s berdasarkan standar *ISO 10816*. Berdasarkan standar tersebut, nilai getaran motor yang berada pada rentang 0–2,5 mm/s masih termasuk kategori normal sehingga motor dinyatakan bekerja dalam kondisi aman dan stabil selama pengujian berlangsung. Analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengujian dinamis yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3. Pengujian dilakukan selama 30 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 menit untuk mengetahui perubahan nilai getaran motor selama beroperasi.

Berdasarkan klasifikasi indikator getaran, rentang 0–2,5 mm/s termasuk kategori normal dan aman untuk dioperasikan secara terus-menerus. Hasil tersebut menunjukkan bahwa motor *Moswell MW 125* masih dalam kondisi baik. Apabila pada pengoperasian berikutnya nilai getaran meningkat ke rentang 2,6–4,5 mm/s, maka teknisi perlu melakukan inspeksi berkala terhadap baut dudukan, keseimbangan poros, dan kondisi bearing. Jika nilai getaran terus meningkat di atas 7,0 mm/s, maka motor harus dihentikan dan dilakukan *maintenance* segera untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa sistem *monitoring* getaran berbasis ESP32, *sensor piezoelectric*, dan Node-RED telah bekerja sesuai perancangan. Sistem mampu menampilkan data secara akurat, kontinu, dan *real-time*, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu pemantauan kondisi motor penggerak *sewage pump* di kapal. Selain itu, sistem ini juga mendukung pemeliharaan *preventif* dengan memberikan informasi dini apabila terjadi kenaikan getaran yang tidak normal. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian dan analisis data, sistem *monitoring* kerusakan motor kapal berbasis *sensor piezoelectric* berhasil bekerja sesuai perancangan. Sistem mampu membaca perubahan getaran motor, mengolah data menggunakan ESP32, serta menampilkan hasil *monitoring* secara *real-time* melalui *dashboard* Node-RED. Dengan adanya sistem *monitoring* ini, kondisi motor listrik *sewage pump* dapat dipantau secara kontinu sehingga potensi kerusakan dapat diketahui lebih awal dan tindakan *maintenance* dapat dilakukan secara lebih efektif.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan pada bab lima ini akan menjawab dari rumusan masalah dari peneliti. Sistem *monitoring* kerusakan motor listrik *sewage pump* di kapal dengan sensor *piezoelectric* berhasil dirancang melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi kebutuhan alat yaitu sensor *piezoelectric* sebagai pendeteksi kerusakan motor berdasarkan getaran, motor 1 fasa Moswell MW 125 sebagai bahan pengujian *monitoring*, *relay* sebagai pengontrol, dan mikrokontroler ESP 32, perancangan rangkaian perangkat keras yaitu merancang alat berdasarkan identifikasi kebutuhan alat, pembuatan program *monitoring* menggunakan aplikasi Node-RED agar lebih mudah, integrasi sistem dengan membuat aplikasi lanjutan untuk *monitoring*, dan pengujian alat yang telah menjadi kesatuan untuk melihat hasil dari sistem *monitoring*-nya.

Cara kerja sistem dimulai saat alat diaktifkan lalu sensor membaca getaran pada badan motor ketika beroperasi, kemudian sinyal diubah menjadi data analog dan diproses oleh ESP32. Selanjutnya data dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke Node-RED dan ditampilkan pada *dashboard* secara *real-time*. Hasil perancangan menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja terhubung dengan baik sehingga sistem mampu digunakan sebagai media pemantauan kondisi motor.

Kinerja sistem *monitoring* dalam menampilkan data kondisi motor secara *real-time* telah berjalan dengan baik berdasarkan hasil pengujian statis dan dinamis. Pada pengujian statis, ESP32, sensor, dan Node-RED berfungsi sesuai programnya. Pada pengujian dinamis selama 30 menit dengan interval pembacaan setiap 5 menit, sistem dapat menampilkan perubahan data getaran secara kontinu, cepat, dan akurat.

Berdasarkan hasil *monitoring*, nilai getaran motor pada kondisi normal berada pada kisaran 0,2–0,5 mm/s sehingga termasuk kategori aman dan stabil. Data yang tampil pada *dashboard* memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi motor secara langsung. Dengan demikian, sistem dapat digunakan sebagai alat bantu deteksi dini kerusakan motor serta mendukung pemeliharaan *preventif* di kapal.

DAFTAR REFERENSI

- Anuar, M., Rostan, M., & Hawa, A. (2024). *IoT Based Motor Vibration and Temperature Detector for Real-time Monitoring*. In *International Journal of Synergy in Engineering and Technology* (Vol. 5, Number 2). <https://tatiuc.edu.my/ijset/index.php/ijset/>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Ahmed, S. (2024). VESBELT: An Energy-Efficient and Low-Latency Aware Task Offloading in Maritime Internet-of-Things Networks Using Ensemble Neural Networks. *Future Generation Computer Systems*, 161, 572–585. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.07.034>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2026
- Apaza, R. (2023). Navigating the Sea of Data: A Comprehensive Review on Data Analysis in Maritime IoT Applications. *Applied Sciences*, 13(17), 9742.

- Dwi Santoso, A., Eka Mahendra, D., & Dirhamsyah, D. (2024). *Temperature and Vibration Monitoring System on Electric Motors from Wireless Remote Control Using Blynk App*. *SAINSTECH NUSANTARA*, 1(1), 21–29. <https://doi.org/10.71225/jstn.v1i1.40>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Gu, J. P. (2023). Evaluation of a Multi-Hop Wireless Internet-of-Things Network on Large Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), 2243.
- Habyarimana, M., & Adebisi, A. A. (2025). *Selection and Placement of Sensors for Electric Motors: A Review and Preliminary Investigation*. *Energies*, 18(13). <https://doi.org/10.3390/en18133484>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Khazaei, M., Rosendahl, L. A., & Rezaei, A. (2022). *Online Condition Monitoring of Rotating Machines by Self-Powered Piezoelectric Transducer from Real-time Experimental Investigations*. *Sensors*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/s22093395>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Niknami, N. S. (2023). *aritime Communications—Current State and the Future Potential with SDN and SDR*. *Network*, 3(4), 563–584.
- Rao, S. (2017). *Mechanical Vibrations* In (6th ed.). Pearson Education.
- Raziah, I., Novandri, A., & Away, Y. (2024). *Real-time Monitoring of Photovoltaic Panel Using Node-RED*. *Sinkron*, 8(3), 2049–2060. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.13929>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Siswanto, Y., Opu, A. S., Nurjannah, I., & Pakiding, H. (2025). *Design Of Internet of Things (Iot) Based Bearing Monitoring Tool*. *Otopro*, 13–21. <https://doi.org/10.26740/otopro.v21n1.p13-21>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Solon Araujo Dutra, F., Souza de Oliveira, R., Matos Brazil, T., Mark Lobo de Oliviera, J., & Augusto da Paz Elleres, P. (2023). *Real-time Monitoring Of Industrial Induction Motors by Current and Vibration Analysis*. *International Journal of Advanced Research*, 11(11), 1166–1171. <https://doi.org/10.21474/ijar01/17923>. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- to, S. G. (2023). Evaluation of an IoT-Based Platform for Maritime Transport Services. *Applied System Innovation*, *Applied System Innovation*, 6(3), 58. <https://doi.org/10.3390/asi6030058>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2026
- Usman, S., & Anhar, Muh. (2024). *Condition Monitoring for Induction Motor using Wireless Vibration Monitoring System* (pp. 1151–1162). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-364-1_105. Diakses Pada tanggal 8 Februari 2026
- Zhang, Y. (2024). A Survey on Air-to-Sea Integrated Maritime Internet of Things: Enabling Technologies, Applications, and Future Challenges. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1), 11. <https://doi.org/10.3390/jmse12010011>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2026