

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**SISTEM *MONITORING* KERUSAKAN MOTOR KAPAL
DENGAN SENSOR *PIEZOELECTRIC* SECARA *REAL-TIME***



MUHAMMAD RIFQI DZIKRA SYALABI

22 36 30 73 002

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**SISTEM *MONITORING* KERUSAKAN MOTOR KAPAL
DENGAN SENSOR *PIEZOELECTRIC* SECARA *REAL-TIME***



MUHAMMAD RIFQI DZIKRA SYALABI

22 36 30 73 002

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUHAMMAD RIFQI DZIKIRA SYALABI

Nomor Induk Taruna : 22 36 30 73 002

Program Studi : D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya tulis dengan judul:

SISTEM MONITORING KERUSAKAN MOTOR KAPAL DENGAN SENSOR

PIEZOELECTRIC SECARA REAL-TIME

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam Tugas Akhir tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 5 Mei 2026



MUHAMMAD RIFQI DZIKIRA SYALABI
NIT. 22 36 30 73 002

ABSTRAK

MUHAMMAD RIFQI DZIKRA SYALABI, Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-time*, Politeknik Pelayaran Surabaya. Dibimbing Oleh Bapak Sri Mulyanto Herlambang, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Elly Kusumawati, S.H., M.H.

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: Motor Listrik, *Sewage pump*, Sensor *Piezoelectric*, *Monitoring* Getaran, *Real-time*

ABSTRACT

MUHAMMAD RIFQI DZIKRA SYALABI, *Ship Motor Damage Monitoring System Using a Piezoelectric Sensor in Real-time, Politeknik Pelayaran Surabaya. Supervised by Mr. Sri Mulyanto Herlambang, S.T., M.T. and Mrs. Dr. Elly Kusumawati, S.H., M.H.*

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, Sewage pump, Piezoelectric Sensor, Vibration Monitoring, Real-time*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat serta hidayah-Nya penulis bisa menyelesaikan karya ilmiah terapan (KIT) dengan judul “Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-time*” dengan lancar, dan tepat waktu.

Karya Ilmiah Terapan ini merupakan laporan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Pendidikan Diploma IV di Politeknik Pelayaran Surabaya. Dalam menyelesaikan KIT ini penulis dibantu oleh banyak pihak. Tanpa bantuan mereka semua maka penyelesaian KIT ini tidak dapat berjalan dengan baik, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada yang terhormat:

1. Bapak Moejiono, MT., Mar.E selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah menyediakan fasilitas, dan infrastruktur untuk membantu proses penyelesaian KIT.
2. Bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd. selaku Ketua Program Studi D-IV TRKK yang telah membantu, membimbing, dan mendidik secara sabar.
3. Bapak Sri Mulyanto Herlambang, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang dengan sabar membantu, membimbing, dan mendidik secara sabar.
4. Ibu Dr. Elly Kusumawati, S.H., M.H. selaku dosen pembimbing II yang dengan sabar membantu, membimbing, dan mendidik secara sabar.
5. Seluruh Dosen, dan Tenaga Pendidik di Prodi Teknik Rekayasa Kelistrikan Kapal Politeknik Pelayaran Surabaya.
6. Kedua orangtua saya yang selalu memberikan dukungan berupa doa, moral, dan material.
7. Teman-teman yang selalu mendukung, dan membantu saya dalam menyelesaikan penelitian ini.

Saya menyadari, bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan proposal ini. Kritik dan saran yang membangun sangat saya perlukan untuk mendukung terus perkembangan saya, sekaligus membuat penelitian ini menjadi bermanfaat bagi seluruh insan.

Surabaya, 2026

MUHAMMAD RIFOI DZIKRA SYALABI
NIT. 22 36307 3 002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN KELAYAKAN PROPOSAL	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	5
B. Landasan Teori	9
1. <i>Monitoring</i> Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada <i>Sewage pump</i> di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran ..	9

2. Motor Listrik 1 Fasa pada <i>Sewage pump</i>	10
3. Getaran Mekanis pada Motor Listrik	11
4. ESP 32	12
5. Sensor <i>Piezoelectric</i> (Prinsip Kerja dan Karakteristik)	13
6. Aplikasi <i>Node-Red</i>	15
7. Sistem <i>Monitoring</i> Berbasis Internet pada Kapal	16
C. Kerangka Pikir Penelitian	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
A. Perancangan Sistem	21
B. Perancangan Alat	25
C. Rencana Pengujian	29
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	32
A. Hasil Penelitian	32
1. Pengujian Statis	32
2. Pengujian Dinamis	36
B. Analisis Data	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	44
A. Kesimpulan	44
B. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 <i>Wiring</i> Diagram	26
Tabel 4. 1 Pengujian Selama 30 Menit	37
Tabel 4. 2 Indikasi Getaran Pada Motor.....	38
Tabel 4. 3 Indikasi <i>Maintenance</i> Pada Getaran Motor	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 ESP 32.....	12
Gambar 2. 2 Sensor <i>Piezoelectric</i>	14
Gambar 2. 3 Node-RED.....	16
Gambar 2. 4 Kerangka Penelitian.....	20
Gambar 3. 1 Blok Diagram <i>Capstone</i> (<i>Monitoring</i> Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada <i>Sewage pump</i> di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran)	21
Gambar 3. 2 Blok diagram (Sistem <i>Monitoring</i> Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor <i>Piezoelectric</i> Secara <i>Real-time</i>).....	23
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Sistem <i>Monitoring</i> Penurunan Fungsi Motor 1 Phase	24
Gambar 3. 4 Wiring Diagram <i>Capstone</i> (<i>Monitoring</i> Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada <i>Sewage pump</i> di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran)	25
Gambar 3. 5 <i>Wiring Diagram</i> (Sistem <i>Monitoring</i> Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor <i>Piezoelectric</i> Secara <i>Real-time</i>).....	27
Gambar 4. 1 ESP32 Menyala	33
Gambar 4. 2 Pengujian ESP 32: A. Program ESP 32, B. <i>Monitoring</i> Getaran, dan C. Hasil Getaran pada LCD.....	33
Gambar 4. 3 Pengujian Node-RED.....	35
Gambar 4. 4 Pengujian Sensor <i>Piezoelectric</i>	35
Gambar 4. 5 <i>Pulley</i>	38

BAB I

PENDAHULUAN

A. 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.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem *monitoring* kerusakan motor listrik *sewage pump* di kapal menggunakan sensor *piezoelectric*?
2. Bagaimana kinerja sistem *monitoring* dalam menampilkan data kondisi motor secara *real-time*?

C. Batasan Masalah

1. Penelitian ini bersifat prototipe jadi kekurangan dalam pengembangan alat akan dijadikan bahan ajar dikemudian hari.
2. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik 1 fasa.
3. Implementasi dari motor yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sewage pump* diatas kapal.
4. Sensor *piezoelectric* digunakan untuk mendeteksi getaran pada motor.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui bagaimana merancang sistem *monitoring* kerusakan motor listrik *sewage pump* di kapal menggunakan sensor *piezoelectric*.
2. Mengetahui bagaimana kinerja sistem *monitoring* yang mampu menampilkan data kondisi motor secara *real-time*.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Praktis

a. Bagi Operator dan Teknisi Kapal

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam memantau kondisi motor listrik pada *sewage pump* secara *real-time*. Sistem *monitoring* yang dikembangkan mampu membantu operator dan teknisi kapal dalam mendeteksi gejala awal kerusakan motor melalui analisis getaran, sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan lebih cepat dan terencana sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

b. Bagi Operasional Kapal

Penerapan sistem *monitoring* kerusakan motor listrik *sewage pump* berbasis sensor *piezoelectric* dapat meningkatkan keandalan sistem sanitasi kapal. Dengan berkurangnya risiko kegagalan motor secara mendadak, maka *downtime* operasional dapat diminimalkan, efisiensi kerja kapal meningkat, serta keselamatan dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan maritim dapat lebih terjaga.

2. Manfaat Teoritis

Pengembangan Ilmu Pengetahuan, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan kajian ilmiah di bidang teknik kelistrikan kapal, khususnya mengenai pemanfaatan sensor *piezoelectric* sebagai alat pendeteksi dini kerusakan motor listrik melalui analisis getaran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Review penelitian sebelumnya merupakan perbandingan antara penelitian pemilik dengan penelitian yang pernah ada. Dengan adanya perbandingan ini memudahkan agar melihat perbedaan dan perkembangan dari milik peneliti.

1. *Temperature and Vibration Monitoring System on Electric Motors from Wireless Remote Control Using Blynk App* (Dwi Santoso et al., 2024)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mahendra, Santoso, dan Dirhamsyah mengembangkan sistem *monitoring* suhu dan getaran pada motor listrik menggunakan sensor *thermocouple* dan senso *piezoelectric* yang terintegrasi dengan mikrokontroler *NodeMCU ESP8266* serta aplikasi *Blynk*. Sensor *piezoelectric* digunakan untuk mendeteksi getaran mekanis yang timbul selama motor beroperasi, di mana perubahan getaran menjadi indikator awal adanya ketidakseimbangan, keausan bantalan, atau kondisi kerja motor yang tidak normal. Data getaran yang diperoleh ditampilkan secara *real-time* melalui *LCD* dan aplikasi *Blynk*, sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh terhadap kondisi motor listrik, khususnya pada lingkungan kapal.

Lebih lanjut, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *piezoelectric* mampu memberikan nilai percepatan getaran dalam satuan m/s^2 yang kemudian dikonversi ke mm/s untuk dibandingkan dengan standar *ISO 10816*. Dari hasil analisis tersebut, sistem berhasil

mengidentifikasi kondisi motor yang berada pada kategori *unsatisfactory*, yang menandakan perlunya tindakan perawatan segera. Hal ini membuktikan bahwa sensor *piezoelectric* efektif digunakan sebagai elemen utama dalam sistem *monitoring* getaran motor listrik untuk mendukung deteksi dini kerusakan dan pencegahan kegagalan motor secara berkelanjutan.

Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada fokus objek dan penerapan sistem *monitoring*. Penelitian sebelumnya mengkaji motor listrik secara umum pada lingkungan kapal, sedangkan penelitian ini secara spesifik diterapkan pada motor listrik *sewage pump* dengan menggunakan motor listrik 1 fasa yang beroperasi secara kontinu dan memiliki tingkat risiko tinggi terhadap kegagalan fungsi. Selain itu, penelitian ini menekankan pemanfaatan sensor *piezoelectric* sebagai indikator utama kondisi mekanis motor *sewage pump* dalam sistem *monitoring real-time*, sehingga hasil pemantauan diharapkan lebih relevan untuk mendukung keandalan operasi sistem sanitasi kapal serta sebagai dasar perumusan tindakan perawatan *preventif* yang lebih tepat sasaran.

2. *IoT Based Motor Vibration and Temperature Detector for Real-time Monitoring* (Anuar et al., 2024)

Penelitian sebelumnya dengan judul *IoT Based Motor Vibration and Temperature Detector for Real-time Monitoring* mengembangkan sistem pemantauan kondisi motor listrik dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things (IoT)* untuk mendeteksi parameter getaran dan temperatur secara *real-time*. Sistem ini menggunakan sensor getaran untuk memantau

perubahan vibrasi motor serta sensor temperatur untuk mendeteksi kenaikan suhu selama motor beroperasi. Data hasil pengukuran dikirimkan secara nirkabel ke *platform* pemantauan jarak jauh, sehingga pengguna dapat memantau kondisi motor listrik secara kontinu tanpa harus melakukan inspeksi langsung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis *IoT* mampu mendeteksi perubahan getaran dan temperatur yang mengindikasikan terjadinya kondisi abnormal pada motor listrik. Peningkatan nilai getaran dan temperatur digunakan sebagai indikator awal adanya gangguan mekanis maupun termal pada motor, sehingga sistem ini mendukung penerapan konsep *predictive maintenance*. Dengan adanya pemantauan secara *real-time*, potensi kerusakan motor dapat diidentifikasi lebih dini, yang pada akhirnya dapat mengurangi risiko kegagalan mendadak dan meningkatkan keandalan operasional motor listrik.

Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada fokus penerapan dan jenis sensor yang digunakan. Penelitian sebelumnya menerapkan sistem *monitoring* pada motor listrik secara umum di lingkungan industri, sedangkan penelitian ini secara khusus diterapkan pada motor listrik *sewage pump* kapal yang beroperasi secara kontinu dan berada pada lingkungan maritim. Selain itu, penelitian ini menekankan penggunaan sensor *piezoelectric* sebagai indikator utama kondisi mekanis motor, sehingga diharapkan lebih sensitif dalam mendeteksi getaran abnormal yang berkaitan dengan kerusakan awal motor listrik *sewage pump*.

3. *Design Of Internet of Things (IoT) Based Bearing Monitoring Tool* (Siswanto et al., 2025)

Penelitian sebelumnya dengan judul *Design of Internet of Things (IoT) Based Bearing Monitoring Tool* membahas perancangan sistem *monitoring* kondisi *bearing* pada mesin dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini menggunakan sensor *piezoelectric* sebagai pendeteksi getaran untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik vibrasi yang terjadi pada *bearing* selama mesin beroperasi. Selain itu, sensor temperatur digunakan untuk memantau peningkatan suhu sebagai indikator tambahan terhadap penurunan kinerja komponen mekanis. Data hasil pengukuran dikirimkan secara nirkabel ke *platform* pemantauan jarak jauh sehingga kondisi *bearing* dapat dipantau secara *real-time*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor *piezoelectric* mampu mendeteksi getaran abnormal yang mengindikasikan adanya keausan atau kerusakan awal pada *bearing*. Pemantauan getaran dan temperatur secara kontinu memungkinkan sistem memberikan informasi kondisi komponen sebelum terjadi kegagalan yang lebih serius. Dengan adanya integrasi *IoT*, data *monitoring* dapat diakses secara jarak jauh dan digunakan sebagai dasar dalam penerapan konsep *predictive maintenance*, sehingga perawatan dapat dilakukan secara lebih efektif dan terencana.

Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada ruang lingkup objek yang dipantau. Penelitian sebelumnya berfokus pada *monitoring bearing* sebagai komponen tunggal pada mesin, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada *monitoring* kondisi keseluruhan motor

listrik *sewage pump* kapal. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan sensor *piezoelectric* sebagai indikator utama kondisi mekanis motor dalam sistem *monitoring real-time* yang disesuaikan dengan lingkungan operasional kapal, sehingga hasil pemantauan diharapkan lebih aplikatif untuk mendukung keandalan sistem sanitasi kapal dan mencegah kegagalan fungsi motor listrik.

B. Landasan Teori

1. *Monitoring Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada Sewage pump di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran*

Monitoring kinerja PLTB dan deteksi kerusakan motor 1 fasa pada *sewage pump* di kapal dengan analisis arus dan getaran merupakan suatu pendekatan pemantauan kondisi yang bertujuan untuk mengamati performa sistem kelistrikan dan kondisi mekanis motor secara berkelanjutan. Sistem ini dirancang untuk memperoleh informasi kondisi motor secara *real-time* melalui parameter arus listrik dan getaran, sehingga gangguan operasional dapat terdeteksi sejak tahap awal.

Dalam penelitian ini, motor listrik 1 fasa yang digunakan sebagai penggerak *sewage pump* memperoleh suplai daya dari sistem PLTB sebagai sumber energi listrik alternatif di kapal. Kinerja motor sangat dipengaruhi oleh kestabilan suplai arus dari PLTB serta kondisi mekanis motor selama beroperasi secara kontinu. Perubahan karakteristik arus dapat mengindikasikan adanya beban berlebih, gangguan suplai, atau penurunan performa motor, sedangkan perubahan pola getaran mencerminkan kondisi

mekanis motor, seperti ketidakseimbangan, keausan bantalan, maupun gangguan pada poros.

Analisis arus dan getaran digunakan secara bersamaan untuk memberikan gambaran kondisi motor yang lebih komprehensif. Namun, parameter getaran memiliki peranan penting dalam mendeteksi kerusakan mekanis secara dini. Oleh karena itu, sistem *monitoring* dalam penelitian ini diarahkan untuk memanfaatkan sensor *piezoelectric* sebagai elemen utama dalam pendeteksian getaran motor. Sensor *piezoelectric* memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan getaran dan mampu mengonversi energi mekanik menjadi sinyal listrik yang dapat diproses lebih lanjut dalam sistem *monitoring*.

Dengan mengintegrasikan analisis arus dan getaran berbasis sensor *piezoelectric* ke dalam sistem *monitoring* kerusakan motor kapal secara *real-time*, penelitian ini menjadi bagian dari pengembangan Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-time*. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan keandalan motor 1 fasa pada *sewage pump*, mendukung penerapan *condition-based maintenance*, serta menjaga kontinuitas operasional sistem sanitasi kapal yang disuplai oleh PLTB.

2. Motor Listrik 1 Fasa pada *Sewage pump*

Motor listrik 1 fasa merupakan motor arus bolak-balik yang banyak digunakan sebagai penggerak *sewage pump* di kapal karena konstruksinya yang sederhana dan kemudahan pengoperasian. Motor ini berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan

pompa dalam proses pemindahan limbah cair. Dalam pengoperasiannya, motor listrik 1 fasa bekerja secara kontinu dan berada pada lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi serta paparan getaran struktur kapal, sehingga berpotensi mengalami penurunan kinerja dan kerusakan baik secara kelistrikan maupun mekanis (Solon Araujo Dutra et al., 2023).

Kinerja motor listrik 1 fasa sangat dipengaruhi oleh kondisi suplai arus dan beban kerja pompa. Gangguan kelistrikan seperti fluktuasi arus atau beban berlebih dapat menyebabkan peningkatan suhu dan penurunan efisiensi motor, sedangkan gangguan mekanis seperti keausan bantalan, ketidakseimbangan, dan ketidaksejajaran poros akan menimbulkan getaran abnormal. Oleh karena itu, pemantauan kondisi motor melalui analisis arus dan getaran menjadi penting untuk mendeteksi kerusakan secara dini. Dalam penelitian ini, analisis getaran dilakukan dengan memanfaatkan sensor *piezoelectric* sebagai pendeteksi perubahan karakteristik getaran motor secara *real-time*, sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan secara tepat dan terencana.

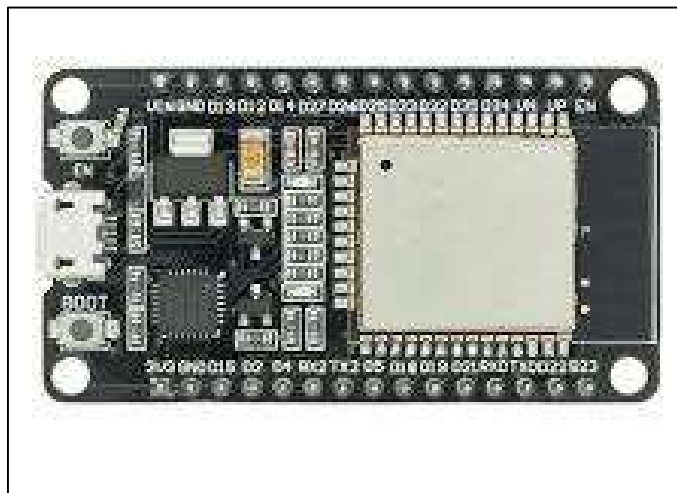
3. Getaran Mekanis pada Motor Listrik

Getaran mekanis pada motor listrik merupakan respon dinamis yang timbul akibat gaya mekanis selama motor beroperasi, baik dalam kondisi normal maupun tidak normal. Sumber getaran dapat berasal dari ketidakseimbangan rotor, keausan bantalan, ketidaksejajaran poros, serta perubahan beban kerja. Pada motor listrik yang digunakan sebagai penggerak *sewage pump* di kapal, getaran mekanis menjadi parameter penting karena motor bekerja secara kontinu dan dipengaruhi oleh getaran

struktur kapal, sehingga perubahan pola getaran dapat mencerminkan kondisi mekanis motor (Dwi Santoso et al., 2024).

Analisis getaran digunakan sebagai metode *condition monitoring* untuk mendeteksi gangguan mekanis secara dini tanpa menghentikan operasional motor. Karakteristik getaran seperti amplitudo dan percepatan digunakan sebagai indikator tingkat keparahan gangguan. Dalam penelitian ini, pengukuran getaran dilakukan dengan memanfaatkan sensor *piezoelectric* yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan getaran dan mampu menampilkan data secara *real-time*. Pemantauan getaran secara berkelanjutan memungkinkan tindakan perawatan dilakukan secara tepat dan terencana, sehingga dapat meningkatkan keandalan motor listrik pada sistem *sewage pump* kapal.

4. ESP 32



Gambar 2. 1 ESP 32

Sumber: https://id.made-in-china.com/co_eb76e890bf1e46e8/product_Esp32-Development-Board-WiFi-Bluetooth-Ultra-Low-Power-Consumption-Dual-Core-Esp-32s-Esp32-Wroom-32D-Esp32-Wroom-32u-Esp-32-30pin-Esp-32-38pin-Esp-32_ysheohgrug.html (Diakses pada tanggal 12 April 2024)

Bentuk fisik ESP32 yang digunakan sebagai pusat pengendali sistem *monitoring* ditunjukkan pada Gambar 2.1. ESP32 adalah modul mikrokontroler yang mengintegrasikan unit pemrosesan dengan fasilitas komunikasi nirkabel seperti *Wi-Fi* dan *Bluetooth* dalam satu perangkat. Keunggulan utama ESP32 terletak pada kemampuannya dalam mengolah data dengan cepat serta dukungan antarmuka *input* analog dan digital yang fleksibel. Karakteristik tersebut menjadikan ESP32 banyak diaplikasikan pada sistem pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang membutuhkan pengiriman data secara terus-menerus dan *real-time* (Usman & Anhar, 2024).

Pada penelitian ini, ESP32 dimanfaatkan sebagai pengendali utama yang berfungsi menerima dan memproses sinyal dari sensor getaran. Getaran mekanis yang terdeteksi oleh sensor *piezoelectric* dikonversi menjadi sinyal listrik, kemudian diolah oleh ESP32 sebelum dikirimkan ke sistem pemantauan melalui jaringan nirkabel. Penggunaan ESP32 memungkinkan proses *monitoring* kondisi motor listrik *sewage pump* dilakukan secara jarak jauh dan berkelanjutan, sehingga memudahkan identifikasi dini terhadap potensi kerusakan serta mendukung penerapan strategi perawatan yang lebih efektif.

5. Sensor *Piezoelectric* (Prinsip Kerja dan Karakteristik)

Sensor *piezoelectric* merupakan sensor yang bekerja berdasarkan efek *piezoelectric*, yaitu kemampuan material tertentu untuk menghasilkan muatan listrik ketika mengalami tekanan atau deformasi mekanis. Pada saat sensor menerima getaran atau gaya mekanis, struktur kristal di dalam

material *piezoelectric* akan mengalami perubahan susunan, sehingga menimbulkan perbedaan potensial listrik pada permukaannya. Tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan besarnya gaya atau getaran yang diterima, sehingga sensor ini banyak digunakan untuk mendeteksi getaran dan kejutan mekanis. Nilai getaran pada penelitian ini dinyatakan menggunakan satuan velocity RMS (Root Mean Square) dalam mm/s berdasarkan standar ISO 10816. Satuan tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat kondisi dan kestabilan motor listrik berdasarkan besar getaran mekanis yang terukur selama motor beroperasi. Sensor *piezoelectric* bekerja dengan mendeteksi perubahan getaran pada body motor kemudian mengubah energi mekanis menjadi sinyal listrik yang diproses oleh ESP32. Data hasil pembacaan sensor selanjutnya dikonversi dan ditampilkan dalam satuan mm/s RMS pada dashboard Node-RED sehingga kondisi motor dapat dianalisis secara *real-time* sesuai standar *monitoring* getaran motor listrik. (Habyarimana & Adebiyi, 2025).



Gambar 2. 2 Sensor *Piezoelectric*

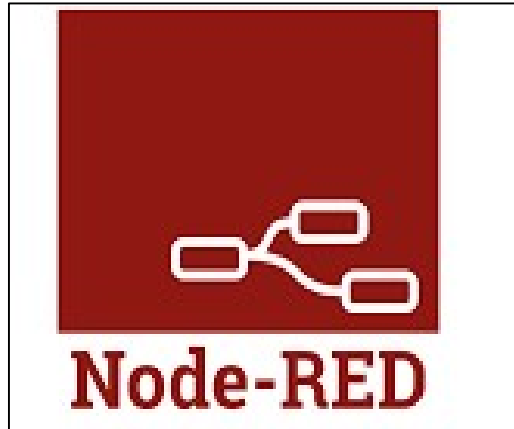
Sumber: <https://www.lazada.co.id/products/analog-piezoelectric-ceramic-piezo-vibration-sensor-for-arduino-ce-i8728468108.html>

(Diakses pada tanggal 12 April 2024)

Gambar 2.2 memperlihatkan sensor *piezoelectric* yang dimanfaatkan sebagai pendeteksi getaran pada motor listrik *sewage pump*. Karakteristik utama sensor *piezoelectric* meliputi sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan getaran, respon frekuensi yang luas, serta kemampuan mendeteksi sinyal dinamis dengan cepat. Sensor ini tidak memerlukan sumber daya eksternal untuk menghasilkan sinyal, karena tegangan dihasilkan langsung dari energi mekanis yang diterima. Dalam aplikasi *monitoring* motor listrik, sensor *piezoelectric* efektif digunakan untuk mendeteksi perubahan getaran akibat ketidakseimbangan, keausan bantalan, atau gangguan mekanis lainnya. Oleh karena itu, sensor *piezoelectric* dipilih dalam penelitian ini sebagai komponen utama untuk memantau kondisi motor listrik *sewage pump* secara *real-time* dan mendukung deteksi dini kerusakan.

6. Aplikasi *Node-Red*

Node-RED merupakan perangkat lunak berbasis *flow-based programming* yang digunakan untuk mengintegrasikan perangkat keras, layanan jaringan, dan sistem pemantauan data dalam satu lingkungan visual. Platform ini memungkinkan pengguna membangun alur pemrosesan data melalui penyusunan *node* yang saling terhubung tanpa memerlukan pemrograman yang kompleks. Dengan dukungan berbagai protokol komunikasi seperti *MQTT*, *HTTP*, dan *WebSocket*, Node-RED banyak dimanfaatkan dalam pengembangan sistem *Internet of Things (IoT)* untuk pemantauan data secara *real-time* (Raziah et al., 2024).



Gambar 2. 3 Node-RED

Sumber: <https://dte.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-node-red-dan-kenapa-cocok-untuk-proyek-iot-mahasiswa/> (Diakses pada tanggal 12 April 2024)

Pada Gambar 2.3 terlihat tampilan dashboard Node-RED yang digunakan sebagai media pemantauan data getaran motor. Dalam penelitian ini, Node-RED berperan sebagai media pengolahan dan visualisasi data hasil pengukuran getaran motor listrik. Data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan nirkabel diterima oleh Node-RED, kemudian diproses dan ditampilkan dalam bentuk grafik maupun indikator kondisi motor. Pemanfaatan Node-RED memungkinkan pemantauan kondisi motor listrik *sewage pump* dilakukan secara terpusat dan berkelanjutan, sehingga perubahan nilai getaran akibat gangguan mekanis dapat terdeteksi lebih cepat. Dengan demikian, Node-RED mendukung sistem *monitoring* kerusakan motor kapal berbasis sensor *piezoelectric* secara *real-time* dan membantu pengambilan keputusan perawatan yang lebih efektif.

7. Sistem *Monitoring* Berbasis Internet pada Kapal

Sistem *monitoring* berbasis internet merupakan teknologi pemantauan yang memanfaatkan jaringan komunikasi data untuk mengirimkan

informasi kondisi peralatan secara *real-time* dari lokasi operasional menuju sistem *monitoring*. Dalam perkembangan teknologi maritim, sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) mulai banyak diterapkan pada kapal untuk mendukung pengawasan kondisi mesin, sistem kelistrikan, serta peralatan bantu kapal secara lebih efektif dan terintegrasi. Pemanfaatan jaringan internet memungkinkan proses *monitoring* dilakukan tanpa harus melakukan pemeriksaan langsung pada ruang mesin sehingga mempermudah teknisi dalam mengetahui kondisi peralatan kapal secara cepat dan kontinu. (Gu, 2023)

Pada penelitian ini, sistem *monitoring* kerusakan motor kapal menggunakan jaringan internet sebagai media komunikasi data antara sensor *piezoelectric*, ESP32, dan *platform* Node-RED. Sensor *piezoelectric* berfungsi mendeteksi getaran mekanis pada motor listrik *sewage pump* kemudian mengubah getaran tersebut menjadi sinyal listrik analog. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 sebagai mikrokontroler utama kemudian dikirimkan melalui jaringan internet menuju dashboard *monitoring* secara *real-time*. (to, 2023)

Jaringan komunikasi yang digunakan pada kapal dapat berupa jaringan WiFi lokal kapal maupun jaringan internet satelit seperti Starlink yang saat ini mulai banyak diterapkan pada sistem komunikasi maritim modern. Penggunaan jaringan WiFi kapal memungkinkan komunikasi data dilakukan antar perangkat dalam area kapal secara cepat dan stabil. Sedangkan penggunaan internet satelit Starlink memberikan cakupan komunikasi yang lebih luas sehingga sistem *monitoring* tetap dapat bekerja

meskipun kapal berada di tengah laut dan jauh dari jaringan komunikasi darat. (Niknami, 2023)

Konsep kerja sistem *monitoring* berbasis internet dimulai ketika motor listrik *sewage pump* beroperasi dan menghasilkan getaran mekanis akibat putaran rotor serta kerja komponen motor. Sensor *piezoelectric* mendeteksi perubahan getaran tersebut kemudian mengirimkan sinyal menuju ESP32 untuk diproses menjadi data getaran dalam satuan velocity RMS (mm/s). Selanjutnya ESP32 mengirimkan data melalui jaringan WiFi atau internet satelit menuju Node-RED untuk ditampilkan dalam bentuk dashboard *monitoring* secara *real-time*. (Zhang, 2024)

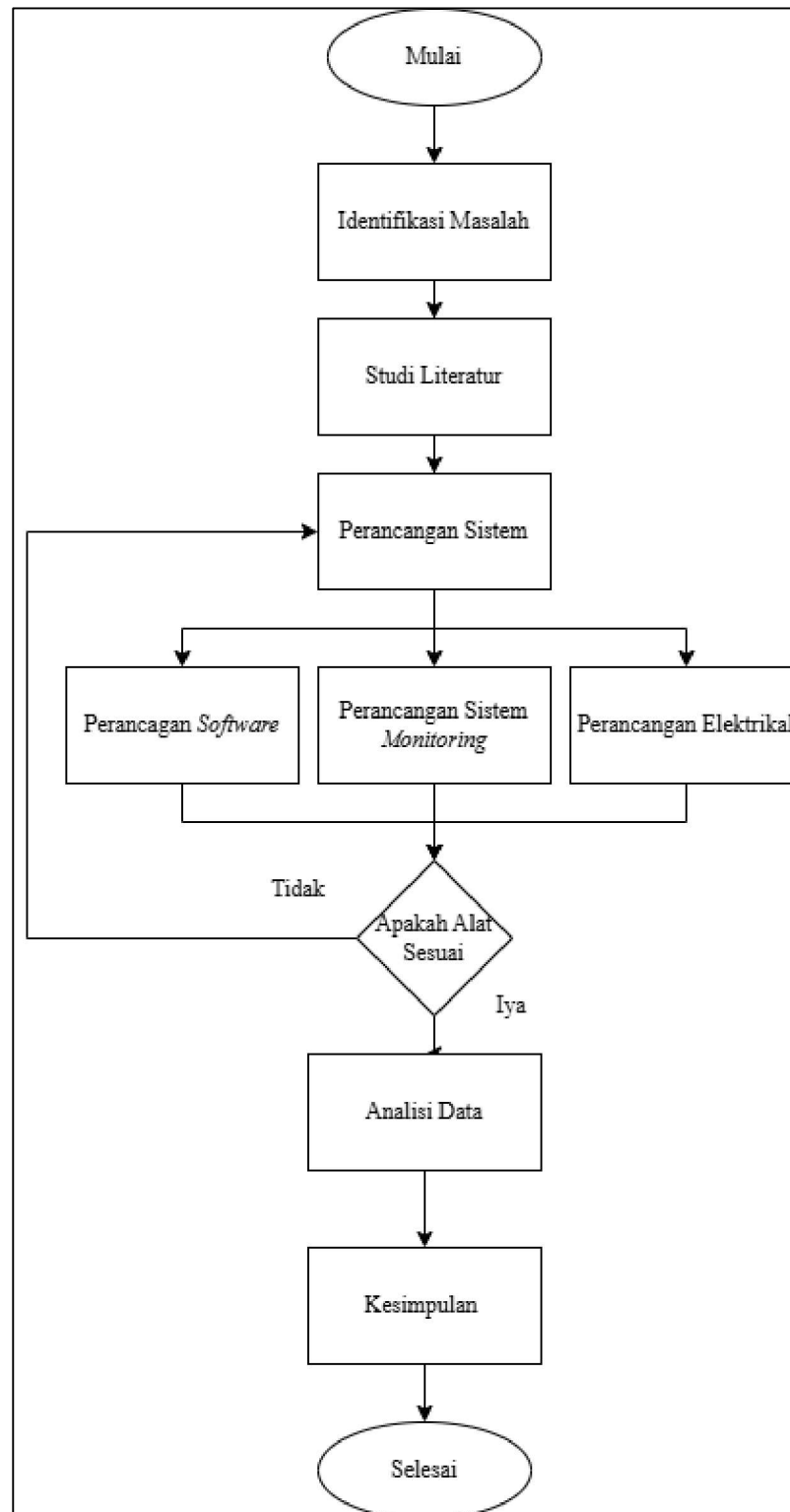
Dashboard Node-RED berfungsi sebagai media visualisasi data *monitoring* yang menampilkan nilai getaran motor, grafik perubahan getaran, serta indikator kondisi motor berdasarkan standar ISO 10816. Dengan adanya sistem *monitoring* berbasis internet, teknisi kapal dapat melakukan pemantauan kondisi motor listrik secara jarak jauh dan kontinu sehingga potensi kerusakan dapat diketahui lebih awal sebelum terjadi gangguan yang lebih serius. (Ahmed, 2024)

Penerapan sistem *monitoring* berbasis internet pada kapal juga mendukung konsep *predictive maintenance* karena tindakan perawatan dapat dilakukan berdasarkan kondisi aktual motor yang terpantau secara *real-time*. Dengan demikian, penggunaan teknologi IoT, jaringan WiFi kapal, dan internet satelit seperti Starlink diharapkan mampu meningkatkan efektivitas *monitoring*, mengurangi risiko kerusakan mendadak, serta menjaga kontinuitas operasional sistem *sewage pump* kapal. (Apaza, 2023)

C. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka penelitian ini menggambarkan tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis, dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur sebagai dasar penentuan konsep serta landasan teori. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang meliputi perancangan *software*, sistem *monitoring*, dan sistem elektrik. Sistem yang telah dirancang kemudian diuji untuk memastikan kesesuaian kinerja alat. Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif, dan hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar penarikan kesimpulan penelitian.

Gambar 2.4 menunjukkan alur kerangka pikir penelitian yang digunakan dalam proses perancangan sistem *monitoring* kerusakan motor kapal. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah, pengumpulan referensi, perancangan sistem, pengujian alat, hingga analisis data hasil pengukuran getaran untuk memperoleh kesimpulan penelitian yang sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.



Gambar 2. 4 Kerangka Penelitian

Sumber: Dokumentasi Penulis

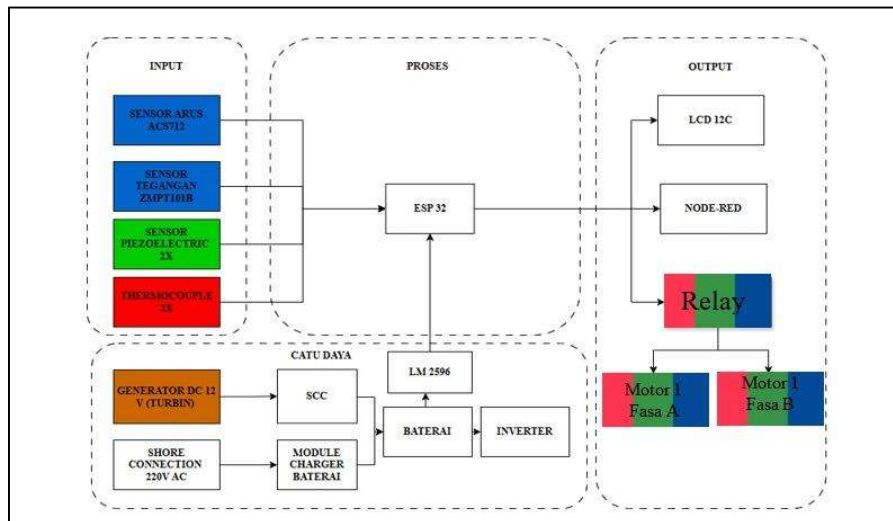
BAB III

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.

A. Perancangan Sistem

1. Blok Diagram



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

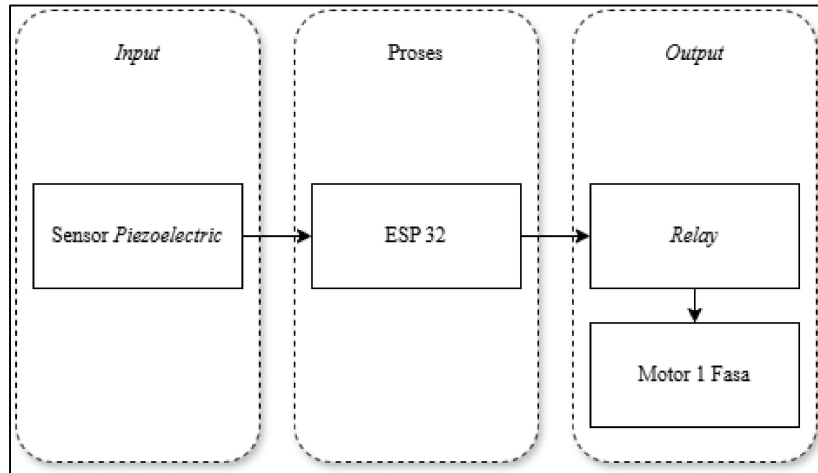
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada Gambar 3.1 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.

Pada bagian proses, ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama yang bertugas menerima dan mengolah data hasil pembacaan sensor *piezoelectric*. Selain itu, sistem juga mengatur proses distribusi sumber daya yang digunakan oleh seluruh rangkaian alat sehingga *prototype* dapat bekerja secara stabil dan terintegrasi.

Sedangkan bagian output merupakan hasil akhir dari proses *monitoring* yang menampilkan kondisi motor listrik berdasarkan data getaran yang diperoleh sensor. Data hasil *monitoring* selanjutnya ditampilkan secara *real-time* melalui sistem *monitoring* sehingga kondisi motor dapat diketahui secara lebih cepat dan mudah dipantau.

Keterangan warna pada tanda panah digunakan untuk membedakan bagian penelitian pada sistem *capstone*. Warna hijau menunjukkan bagian penelitian milik Muhammad Rifqi Dzikra S. dengan judul “Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-time*”, khususnya pada bagian *monitoring* getaran motor menggunakan sensor *piezoelectric* dan sistem *monitoring* berbasis *IoT*.

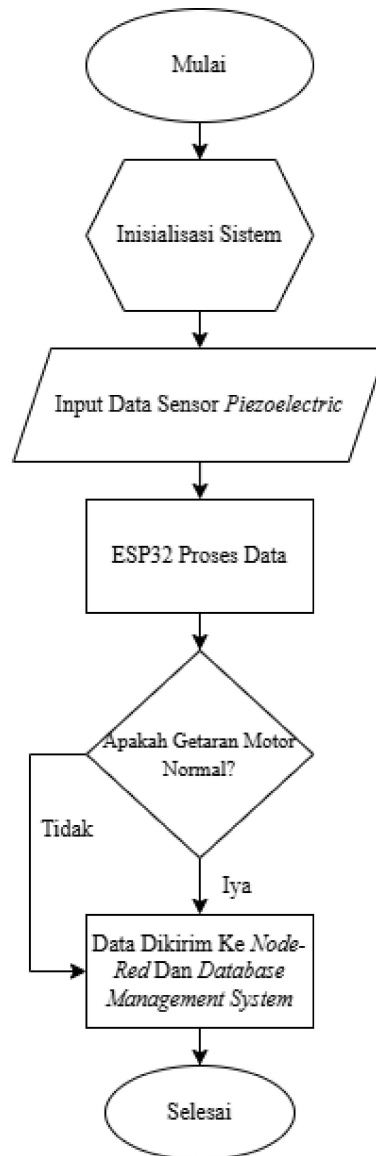


Gambar 3. 2 Blok diagram (Sistem *Monitoring* Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor *Piezoelectric* Secara *Real-time*)

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada gambar 3.2 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.

2. Sistem Kerja



Gambar 3. 3 *Flowchart* Sistem Monitoring Penurunan Fungsi Motor 1 Phase

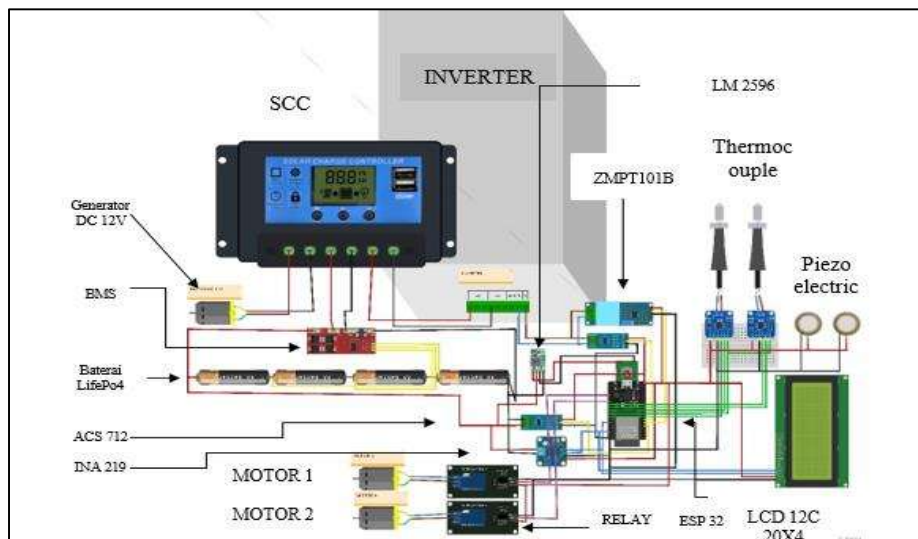
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada gambar 3.3 merupakan *flowchart* sebagai pengenalan alur kerja dari *prototype* yang akan dikembangkan peneliti. Pada *flowchart* tersebut terlihat bahwa setelah inisialisasi sistem yang termasuk sensor dan mikrokontroler yang digunakan maka sistem akan berlanjut untuk mendeteksi keadaan motor. Pada penelitian ini berupa *prototype* untuk

memonitoring keadaan motor satu *phase*. *Monitoring* akan dikirim ke Node-Red dengan sistem *database*.

B. Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan penggambaran komponen dari *prototype* yang akan dikembangkan peneliti. Peneliti merancang dengan skema sensor yang digunakan, mikrokontroller yang digunakan, dan *output* yaitu motor. Perancangan alat ini merupakan penggalan dari *capstone* yang dikembangkan bersama yang menyangkut milik peneliti.



Gambar 3. 4 *Wiring Diagram Capstone (Monitoring Kinerja PLTB dan Deteksi Kerusakan Motor 1 Fasa pada Sewage pump di Kapal dengan Analisis Arus dan Getaran)*

Sumber: Dokumen Pribadi

Pada Gambar 3.4 ditunjukkan wiring diagram sistem yang dirancang secara sederhana untuk menggambarkan susunan rangkaian elektrikal pada *prototype* penelitian. Wiring diagram tersebut dibuat agar hubungan antar komponen pada sistem *monitoring* dapat dipahami dengan lebih mudah oleh pembaca.

Pada rangkaian tersebut digunakan dua jenis arus listrik yaitu arus AC dan arus DC. Jalur arus AC ditandai dengan warna merah untuk fasa L dan warna biru untuk jalur netral (N). Sedangkan pada arus DC, warna merah menunjukkan kutub positif dan warna hitam menunjukkan kutub negatif. Sumber daya untuk ESP32 berasal dari baterai yang dihubungkan melalui modul DC *step down* untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V sesuai kebutuhan kerja mikrokontroler

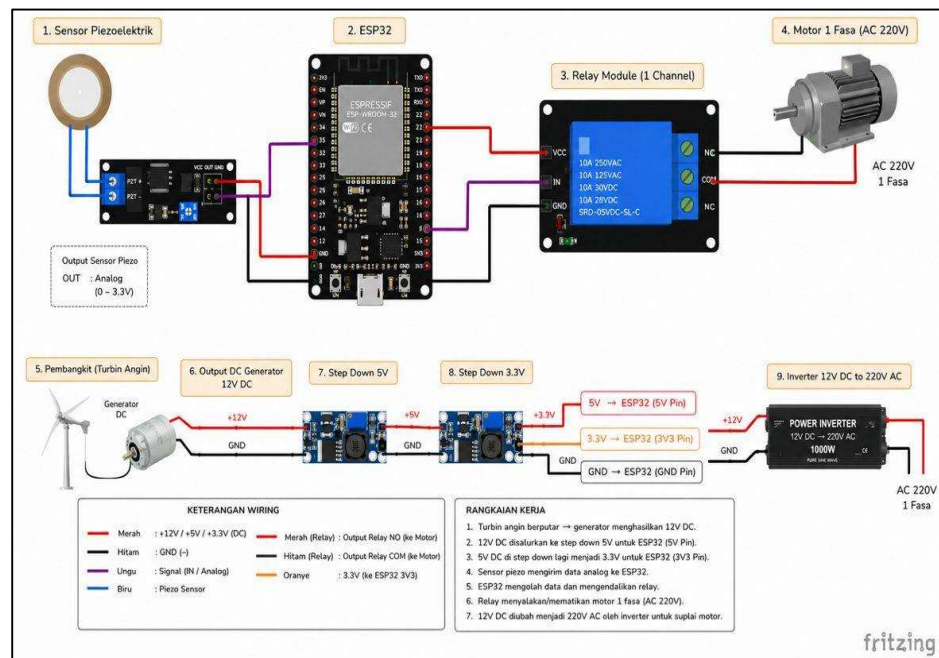
Tabel 3. 1 *Wiring Diagram*

Komponen	Pin Modul	Pin ESP32	Jenis Sinyal	Deskripsi Fungsi	Warna Kabel
ACS712 #1 (Arus Baterai)	OUT	GPIO 34	Analog	Pembacaan arus baterai	Kuning
ACS712 #2 (Arus Inverter)	OUT	GPIO 35	Analog	Pembacaan arus inverter	Kuning
INA219 SDA	SDA	GPIO 21	I2C	Data arus/tegangan INA219	Biru
INA219 SCL	SCL	GPIO 22	I2C	Clock I2C INA219	Biru
ZMPT101B	OUT	GPIO 32	Analog	Sensor tegangan AC inverter	Kuning
Thermocouple 1 SO	SO	GPIO 19	Digital	Data suhu thermocouple 1	Hijau
Thermocouple 1 SCK	SCK	GPIO 18	Digital	Clock thermocouple	Hijau
Thermocouple 1 CS	CS	GPIO 5	Digital	Chip select TC1	Hijau
Thermocouple 2 CS	CS	GPIO 17	Digital	Chip select TC2	Hijau
Piezoelectric 1	OUT	GPIO 36	Analog	Sensor getaran 1	Kuning
Piezoelectric 2	OUT	GPIO 39	Analog	Sensor getaran 2	Kuning
Relay 1	IN1	GPIO 26	Digital (control)	Mengendalikan Motor A	Ungu
Relay 2	IN2	GPIO 27	Digital (control)	Mengendalikan Motor B	Ungu
LCD SDA	SDA	GPIO 21	I2C	Data LCD I2C	Biru
LCD SCL	SCL	GPIO 22	I2C	Clock LCD I2C	Biru

Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 3.1 menjelaskan hubungan koneksi antar komponen pada wiring diagram sistem *monitoring* yang digunakan dalam penelitian. Setiap komponen dihubungkan sesuai fungsi dan kebutuhan kerja sistem agar proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengiriman informasi *monitoring* dapat berjalan dengan baik. Koneksi pada sistem meliputi hubungan sensor *piezoelectric* dengan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sambungan *relay* sebagai pengontrol rangkaian, serta hubungan sumber daya pada seluruh komponen *prototype*.

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 3. 5 Wiring Diagram (Sistem Monitoring Kerusakan Motor Kapal Dengan Sensor Piezoelectric Secara Real-time)

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada gambar 3.5 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.

ESP32 berperan sebagai pusat kontrol yang menerima data dari sensor, kemudian memprosesnya untuk menentukan aksi selanjutnya. *Output* dari ESP32 diteruskan ke modul *relay* 1 channel yang berfungsi sebagai saklar elektronik. *Relay* ini akan menghubungkan atau memutus aliran listrik menuju motor 1 fasa AC 220V, sehingga motor dapat dikendalikan secara otomatis berdasarkan kondisi yang terdeteksi oleh sensor.

Dari sisi catu daya, sistem menggunakan pembangkit berupa turbin angin yang terhubung dengan generator DC 12V. Tegangan 12V DC ini kemudian diturunkan menggunakan modul *step-down* menjadi 5V untuk menyuplai ESP32 melalui pin 5V, dan selanjutnya diturunkan lagi menjadi 3,3V untuk kebutuhan logika ESP32. Selain itu, tegangan 12V DC juga diubah menjadi 220V AC menggunakan *inverter*, yang kemudian digunakan untuk mensuplai motor listrik 1 fasa.

Secara keseluruhan, alur kerja sistem dimulai dari pembangkitan energi oleh turbin angin, kemudian distribusi daya ke sistem kontrol dan *inverter*. Sensor *piezoelectric* mendeteksi getaran motor dan mengirimkan data ke ESP32. Berdasarkan data tersebut, ESP32 mengendalikan *relay* untuk

menyalakan atau mematikan motor. Sistem ini dirancang untuk *monitoring* kondisi motor secara otomatis sekaligus mengatur operasionalnya dengan sumber energi mandiri.

C. Rencana Pengujian

Metode rencana pengujian perlu dibutuhkan pengumpulan data, pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian, sehingga mendapatkan perancangan dan hasil yang diinginkan oleh penelitian saya. Yang akan sedikit membantu kinerja motor 3 *phase* pada kapal, dan juga membantu dalam kinerja teknis.

1. Pengujian Statis

Pengujian Statis adalah teknik pengujian perangkat lunak yang digunakan untuk memeriksa cacat pada aplikasi perangkat lunak tanpa mengeksekusi kodenya. Pengujian statis dilakukan untuk menghindari kesalahan pada tahap awal pengembangan karena lebih mudah untuk mengidentifikasi kesalahan dan menyelesaikan kesalahan.

- a. Pengujian statis pada mikrokontroler ESP32 dilakukan untuk memastikan setiap pin dan modul internal berfungsi sesuai dengan perancangan tanpa diberi beban kerja dinamis. Pengujian meliputi pemeriksaan catu daya, kestabilan tegangan kerja, fungsi pin *input/output*, serta kemampuan komunikasi data melalui jaringan *Wi-Fi*. Hasil pengujian statis menunjukkan bahwa ESP32 dapat beroperasi dengan baik sebagai pusat pengolah data dan pengendali sistem *monitoring*.

- b. Pengujian statis pada *platform Node-RED* dilakukan untuk memastikan alur (*flow*) pemrosesan data telah tersusun dengan benar. Pengujian meliputi pengecekan koneksi komunikasi, tampilan *dashboard*, serta kemampuan *Node-RED* dalam menerima dan menampilkan data uji tanpa perubahan nilai secara dinamis. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sistem visualisasi dan pencatatan data siap digunakan pada tahap pengujian berikutnya. *real time* pada alat *monitoring* dan kontrol motor listrik industri menggunakan IoT. Adapun data yang ditampilkan terdiri dari nilai suhu, RPM, tegangan, dan arus listrik.
- c. Pengujian statis sensor *piezoelectric* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar sensor sebelum digunakan pada sistem *monitoring* kerusakan motor kapal secara *real-time*. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban statis secara bertahap pada sensor yang dipasang pada permukaan kaku dan stabil, tanpa adanya getaran atau perubahan frekuensi. Sensor dihubungkan dengan rangkaian pengkondisi sinyal dan mikrokontroler ESP32 untuk membaca tegangan keluaran sensor. Setiap variasi beban ditahan beberapa saat hingga nilai keluaran stabil, kemudian tegangan keluaran dicatat sebagai data pengujian. Data hasil pengujian statis dianalisis secara deskriptif untuk melihat hubungan antara beban yang diberikan dan tegangan keluaran sensor, serta mengevaluasi kestabilan dan konsistensi respon sensor sebelum digunakan pada pengujian dinamis.

2. Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan dengan menjalankan motor listrik 1 fasa secara kontinu sehingga menghasilkan getaran mekanis alami akibat putaran rotor dan kerja komponen motor selama beroperasi. Getaran tersebut kemudian dibaca oleh sensor *piezoelectric* yang dipasang pada bagian body motor dengan tingkat vibrasi paling dominan agar perubahan getaran dapat terdeteksi secara lebih sensitif.

Pada penelitian ini, variasi nilai getaran diperoleh melalui perubahan beban kerja motor menggunakan sistem puli. Penambahan beban melalui puli menyebabkan putaran motor mengalami perubahan sehingga menghasilkan peningkatan getaran mekanis pada motor listrik. Semakin besar beban yang diberikan, maka nilai getaran yang dihasilkan motor juga mengalami peningkatan.

Kondisi getaran normal ditunjukkan saat motor bekerja tanpa beban berlebih dengan nilai getaran berkisar 0,2–0,5 mm/s. Sedangkan simulasi peningkatan getaran dilakukan dengan memberikan tambahan beban pada sistem puli sehingga nilai getaran meningkat hingga mencapai 7,8 mm/s yang termasuk kategori kerusakan berat berdasarkan standar *ISO 10816*. Variasi nilai getaran tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem *monitoring* dalam mendeteksi perubahan kondisi motor secara *real-time*.