



**Laporan *Project Based Learning* Mata Kuliah**

**VE230520 – Teknik Perawatan Dan Perbaikan**

**Semester Gasal 2024/2025**

**Structural Health Monitoring System**

Disusun oleh:

Nama : Jonathan Oktaviano Frizzy

NRP : 2040221060

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknik Elektro Otomasi

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Desember 2024

## DAFTAR ISI

RINGKASAN .....	1
BAB I PENDAHULUAN .....	2
1.1 Deskripsi Project .....	2
1.2 Target dan Cakupan Project .....	2
BAB II MATERI MATA KULIAH TEKNIK PERAWATAN DAN PERBAIKAN .....	4
2.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah .....	4
2.2 Materi Perkuliahan .....	4
<b>2.2.1 Pendahuluan .....</b>	<b>4</b>
2.2.1.1 Definisi Teknik Perawatan dan Perbaikan .....	4
2.2.1.2 Tujuan Perawatan dan Perbaikan .....	5
2.2.1.3 Relevansi pada Teknik Elektro .....	5
<b>2.2.2 Dasar-dasar Teknik Perawatan dan Perbaikan .....</b>	<b>5</b>
2.2.2.1 Jenis-jenis Perawatan .....	5
2.2.2.2 Prinsip Kerja Peralatan Listrik dan Potensi Kerusakannya .....	6
2.2.2.3 Dokumentasi dan Standar Kerja (SOP) .....	6
<b>2.2.3 Teknologi dan Alat dalam Perawatan .....</b>	<b>8</b>
2.2.3.1 Peralatan Diagnostik yang Umum Digunakan .....	8
2.2.3.2 Peran Teknologi Modern .....	10
<b>2.2.4 Metodologi Perawatan Berbasis Kondisi (CBM) .....</b>	<b>10</b>
2.2.4.1 Prinsip Dasar Condition-Based Maintenance (CBM) .....	10
2.2.4.2 Indikator Utama dalam CBM .....	10
2.2.4.3 Penerapan CBM pada alat kelistrikan .....	11
<b>2.2.5 Analisa Kerusakan dan Strategi Perbaikan .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.6 Perencanaan dan Manajemen Perawatan .....</b>	<b>12</b>
2.2.6.1 Penyusunan Jadwal Perawatan .....	12
2.2.6.2 Analisa Biaya Perawatan .....	13

2.2.6.3 Pengelolaan Suku Cadang dan Dokumentasi Kerja .....	13
BAB III ANALISA KORELASI PROJECT DENGAN MATA KULIAH TEKNIK PERAWATAN DAN PERBAIKAN.....	15
3.1 Korelasi Proyek dengan Mata Kuliah Teknik Perawatan dan Perbaikan.....	15
3.1.1 Pemeliharaan Berdasarkan Kondisi ( <i>Condition-Based Maintenance</i> ).....	15
3.1.2 Pemeliharaan Prediktif dan Preventif.....	15
3.1.3 Monitoring dan Pemantauan Infrastruktur .....	15
3.2 Rencana Pengembangan Sesuai dengan Mata Kuliah.....	16
3.2.1 Penerapan Sistem Pemeliharaan pada Infrastruktur Besar .....	16
3.2.2 Penggunaan Machine Learning untuk Prediksi Kerusakan.....	16
BAB IV MATERI YANG PERLU DIPERDALAM.....	17
4.1 Algoritma Kalman Filter .....	17
4.2 Pemeliharaan Preventif dan Prediktif.....	17
4.3 Teknologi Sensor dan Sistem Monitoring.....	17
4.4 Logika Fuzzy dan Aplikasinya dalam Monitoring Struktural.....	18
4.5 <i>Machine Learning</i> untuk Prediksi Kerusakan.....	18
DAFTAR PUSTAKA .....	19

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2.2.3 1 Standart Operational Example.....	7
Gambar 1.2.3.1 1 Thermal Camera.....	8
Gambar 1.2.3.1 2 Megger .....	8
Gambar 1.2.3.1 3 Vibration Analyzer.....	9
Gambar 1.2.3.1 4 Multimeter Clamp .....	9

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Deskripsi Pembagian Kerja.....	2
Tabel 1. 2 Target Proyek.....	3

## RINGKASAN

*Structural Health Monitoring System* (SHMS) berbasis teknologi Industri 4.0, yang dirancang untuk menampilkan dan merekap data *real-time* guna mendukung klasifikasi kesehatan, kerusakan, atau kebutuhan perbaikan suatu bangunan. Sistem ini memanfaatkan data dari berbagai sensor, seperti akselerometer, giroskop, *strain gauge*, sensor suhu, dan kelembaban. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi bangunan, terutama deformasi atau potensi kerusakan struktural. Proyek ini mengintegrasikan algoritma *Kalman Filter* untuk mengurangi noise pada data akselerometer dan giroskop (*MPU6050*), sehingga akurasi deteksi derajat kemiringan bangunan meningkat. Selain itu, logika fuzzy sederhana diterapkan untuk memetakan getaran bangunan ke dalam skala magnitudo dan estimasi dampak gempa berdasarkan jarak episenter 500 meter menggunakan akselerometer ADXL345. Meskipun proyek ini belum menghasilkan klasifikasi kesehatan bangunan secara komprehensif, data aktual yang diperoleh dari sensor dan algoritma memberikan landasan yang kuat untuk pengembangan selanjutnya. Diharapkan, sistem ini dapat menghasilkan pengambilan keputusan yang mendukung tindakan seperti *maintenance prediktif* atau *preventif maintenance*. Produk ini dirancang agar bersifat portabel, dengan potensi penerapan pada berbagai infrastruktur, seperti bangunan bertingkat, jembatan, atau robot. Keunggulan utama sistem ini adalah kemampuan integrasi *real-time* dengan website yang mendukung kecepatan pembaruan data hingga 50 Hz, penggunaan sensor presisi tinggi, dan logika filtering yang efektif. Pengembangan lanjutan dari proyek ini mencakup implementasi machine learning untuk prediksi kerusakan serta kebutuhan *predictive*, *preventive*, atau *corrective maintenance*. Meskipun proyek ini masih menggunakan miniatur sebagai media uji coba, kedepannya sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap analisis, monitoring dan pemeliharaan infrastruktur sipil.

**Kata Kunci:** *Structural Health Monitoring System, Kalman Filter, Fuzzy Logic. Real-time.*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Deskripsi Project

*Structural Health Monitoring System* (SHMS) adalah alat berbasis *low cost sensor* seperti MPU6050 dan ADXL345 yang digunakan untuk memantau kondisi struktural bangunan secara *real-time*[1]. Sistem ini mengintegrasikan algoritma Kalman Filter untuk meningkatkan keakuratan data kemiringan dan getaran serta logika fuzzy untuk analisis getaran skala Richter dengan radius episenter tertentu. Data yang diperoleh mencakup parameter seperti getaran, kemiringan, keregangan, suhu, dan kelembaban, yang diolah untuk mendukung pengambilan keputusan terkait perawatan bangunan[2]. Proyek ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi monitoring infrastruktur dengan pendekatan yang portable, presisi, dan terjangkau[3] [4].

## 1.2 Target dan Cakupan Project

Pada proyek kali ini, *Structural Health Monitoring System* dibuat dengan tim pelaksana yang terdiri dari mahasiswa angkatan 2022. Berikut Merupakan penjelasan lebih detail mengenai cakupan proyek, dan pembagian tugasnya.

Tabel 1.1 Deskripsi Pembagian Kerja

Cakupan Proyek	Nama	Deskripsi
<i>Embedded System</i>	Jonathan Oktaviano Frizzy	Membuat desain sistem proyek meliputi redundansi, power dan komunikasi, melakukan pemrograman kontrol, mikrokontroler, dan sensor
<i>Web Developer</i>	Kevin Safrisal Maulana	Melakukan pemrograman <i>Back-end</i> untuk mengolah <i>database</i> & dan pemrograman <i>Front-end</i> untuk menampilkan sistem monitoring berbasis lokal
<i>Electrical Designer</i>	Taufiq Septiyawan Azhari	Membuat desain skematik elektrik, dan <i>prototyping</i> pada SHMS, <i>debugging</i> & manajemen tim
<i>Administration</i>	Raihan Dzikry Wahidin	-
<i>Hardware &amp; Logistic</i>	Theo Andre Gunawan	Melakukan <i>assembly</i> pada alat, mengurus segala hal dibidang logistic dan administrasi

Kemudian berikut merupakan target yang ditetapkan untuk proyek *Structural Health Monitoirng System*

*Tabel 1. 2 Target Proyek*

Target	Ketercapaian
Perancangan sistem elektrik dan komunikasi	✓
Melakukan pemrograman <i>embedded</i> dan <i>website</i> monitoring	✓
Implementasi Kalman Filter sebagai filter untuk noise	✓
Implementasi logika Fuzzy untuk menentukan kekuatan getaran	✓
Melakukan perancangan prototipe	✓
Memastikan data seluruh sensor terbaharui setiap 5hz	✓
Setiap data pada sensor terbaharui di sistem monitoring setiap 5hz	✓
<i>Website</i> monitoring dapat menampilkan grafik sensor	✓
Modul memiliki <i>power emergency</i> jika sumber <i>power</i> utama mati	✓
Modul dapat menampilkan kemiringan bangunan	✓
Modul dapat menampilkan satuan richter dan magnitude	✓



## BAB II MATERI MATA KULIAH TEKNIK PERAWATAN DAN PERBAIKAN

### 2.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah

Berikut merupakan target capaian pembelajaran mata kuliah teknik perawatan dan perbaikan berdasarkan *rancangan pembelajaran semester (RPS)*.

- Mampu memahami konsep perawatan dan perbaikan khususnya dalam keteknikan.
- Mampu mengidentifikasi jenis-jenis kerusakan.
- Mampu menerapkan prinsip perawatan dalam kehidupan sehari-hari.
- Mampu menerapkan teknik perawatan dalam kehidupan sehari-hari.
- Mampu menerapkan pengelolaan sistem perawatan dan perbaikan pada persoalan industri dengan memperhatikan aspek lingkungan.

### 2.2 Materi Perkuliahan

Teknik Perawatan dan Perbaikan adalah bidang yang berfokus pada menjaga keandalan dan efisiensi peralatan serta sistem kelistrikan melalui berbagai metode perawatan, seperti perawatan preventif, prediktif, dan korektif[5]. Dengan melakukan perawatan yang tepat, kerusakan yang tidak terduga dapat diminimalkan, usia perangkat dapat diperpanjang, dan biaya operasional dapat ditekan. Saat ini, teknologi modern seperti IoT dan analitik berbasis data telah semakin mendukung perawatan berbasis kondisi, yang terbukti lebih efisien dibandingkan metode tradisional[6]. Pemahaman tentang konsep dasar dan penerapan strategi perawatan menjadi hal penting bagi setiap mahasiswa teknik elektro.

#### 2.2.1 Pendahuluan

Pada bab pendahuluan kali ini akan membahas mengenai definisi dan pengantar mengenai teknik perawatan dan perbaikan

##### 2.2.1.1 Definisi Teknik Perawatan dan Perbaikan

Perawatan dan perbaikan merupakan serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk menjaga kinerja, keandalan, dan umur operasional sistem melalui tindakan preventif maupun korektif. Dalam konteks sistem kelistrikan, perawatan melibatkan inspeksi, pemantauan, serta perbaikan komponen atau perangkat untuk mencegah kegagalan operasional. Pentingnya perawatan terletak pada kemampuannya untuk meminimalkan risiko downtime, mencegah kerugian ekonomi, dan memastikan keselamatan operasional.

### **2.2.1.2 Tujuan Perawatan dan Perbaikan**

Tujuan perawatan pada sistem kelistrikan adalah untuk menjamin keberlanjutan operasional yang aman dan efisien. Secara spesifik, tujuan-tujuan tersebut meliputi:

- Keandalan Sistem: Mengidentifikasi dan mengatasi potensi kegagalan sebelum berdampak pada operasi.
- Perpanjangan Umur Operasional: Mengurangi tingkat degradasi perangkat melalui tindakan perawatan yang terencana.
- Keselamatan Operasional: Mencegah kecelakaan akibat kerusakan atau kegagalan sistem kelistrikan.
- Efisiensi Energi: Memastikan bahwa peralatan beroperasi pada tingkat efisiensi optimal.
- Pengendalian Biaya: Mengurangi biaya operasional jangka panjang dengan menghindari kerusakan besar yang tidak terduga.

### **2.2.1.3 Relevansi pada Teknik Elektro**

Perawatan dan perbaikan dalam teknik elektro mencakup pengelolaan berbagai sistem dan perangkat, seperti motor listrik, transformator, generator, panel distribusi, hingga jaringan kelistrikan. Aktivitas perawatan melibatkan pengukuran parameter kritis, seperti suhu, tegangan, arus, dan getaran, untuk mendeteksi anomali yang dapat memicu kegagalan sistem. Relevansinya sangat signifikan mengingat sistem kelistrikan merupakan infrastruktur esensial yang mendukung berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, dan layanan publik.

## **2.2.2 Dasar-dasar Teknik Perawatan dan Perbaikan**

Berikut merupakan dasar-dasar teknik perawatan dan perbaikan secara informatif dan lebih spesifik.

### **2.2.2.1 Jenis-jenis Perawatan**

#### **A. Perawatan Preventive**

Perawatan preventif adalah metode perawatan yang dilakukan secara terjadwal untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kegagalan pada peralatan listrik. Aktivitas ini mencakup inspeksi rutin, pembersihan, pelumasan, pengencangan koneksi, dan penggantian komponen yang rentan mengalami degradasi atau kerusakan. Berikut merupakan manfaat perawatan preventive

- Mengurangi kemungkinan kegagalan mendadak.
- Memperpanjang umur perangkat.
- Menurunkan biaya operasional jangka panjang.

### *B. Perawatan Prediktif*

Perawatan prediktif menggunakan data *real-time* dan analisis kondisi untuk memprediksi kapan sebuah perangkat membutuhkan perawatan. Teknik ini melibatkan pemantauan parameter seperti suhu, getaran, arus, dan tegangan menggunakan teknologi modern seperti sensor IoT, analitik data, dan kecerdasan buatan[6]. Berikut manfaat dari perawatan prediktif:

- Mengoptimalkan jadwal perawatan berdasarkan kondisi aktual perangkat.
- Mencegah downtime tak terduga dengan identifikasi awal potensi kerusakan.
- Meningkatkan efisiensi perawatan dan mengurangi pemborosan sumber daya.

### *C. Perawatan Korektif*

Perawatan korektif dilakukan setelah peralatan mengalami kegagalan atau kerusakan. Proses ini melibatkan identifikasi masalah, perbaikan, atau penggantian komponen yang rusak.

- Memastikan perangkat dapat segera beroperasi kembali.
- Memberikan wawasan mengenai penyebab kegagalan untuk mencegah kejadian serupa di masa depan.

#### *2.2.2.2 Prinsip Kerja Peralatan Listrik dan Potensi Kerusakannya*

Peralatan listrik, seperti motor, transformator, dan generator, bekerja berdasarkan prinsip konversi energi listrik ke bentuk lain seperti energi mekanik atau magnetik. Berikut merupakan alasan potensial yang menyebabkan alat-alat tersebut mengalami kerusakan.

- Kelebihan Beban: Menyebabkan panas berlebih pada kabel dan media konduktor.
- Kondisi Lingkungan: Kelembapan, debu, atau suhu ekstrem dapat mempercepat degradasi.
- Vibrasi: Dapat mengganggu keseimbangan mekanis dan menyebabkan kerusakan struktural.
- *Aging Material*: Usia material seperti isolasi yang menurun seiring waktu.

#### *2.2.2.3 Dokumentasi dan Standar Kerja (SOP)*

Dokumentasi dan *Standard Operating Procedures* (SOP) adalah elemen penting dalam perawatan peralatan listrik. Dokumentasi mencakup catatan inspeksi, jadwal perawatan, dan riwayat kerusakan, yang berguna untuk melacak kinerja perangkat dan menentukan langkah perbaikan. SOP, di sisi lain, menyediakan panduan langkah-langkah yang harus diikuti dalam melaksanakan perawatan, memastikan bahwa prosedur dilakukan secara konsisten dan aman. Berikut merupakan visualisasi dari bentuk SOP.

Institution Laboratory name Location Head/Responsible person	<b>Standard Operating Procedure (SOP)</b> <b>Equipment maintenance</b>	Code: Version: no. Date: of release Page: <b>1</b> of <b>6</b>
---	---	---

### 1. Equipment Maintenance

### 2. Objectives and scope

Preventive and corrective maintenance of facilities and equipment by qualified personnel ensures proper functioning.

This SOP applies to the maintenance and servicing of facilities and equipment, used by employees of the laboratory.

### 3. Abbreviations, definitions and terms

- N.A. Not applicable
- QM Quality Manager
- SOP Standard Operating Procedure
- Dir Director
- AA Administrative Assistant
- PPDA Public Property Disposal Act
- CA Corrective Action

### 4. Tasks, responsibilities and accountabilities

Task	Responsible	Accountable
Formulate, implement, evaluate, adapt and archive annual plan maintenance equipment	AA	Lab Manager
Annual Plan maintenance equipment approval	AA	Lab Manager
Enable external technical service	AA	Lab Manager
Indicate need for corrective maintenance	Lab techs	Lab Manager
Run / coordinate maintenance	AA	Lab Manager
Cleaning equipment	Lab techs	Lab Manager
Report faults		Lab Manager
Solving simple interference from the operation manual and / or user manual	Lab techs	Lab Manager
Keeping log file	AA	Lab Manager
Keeping records and equipment logs	AA	Lab Manager
Management manuals and spare parts	AA	Lab Manager
Disinfection Equipment	Lab techs	Lab Manager
Release disinfected equipment	AA	Lab Manager
Implementing validations after maintenance and repair	AA	Lab Manager
Validations approve	Lab manager	Lab Director

### 5. Safety and environment

N.A.

### 6. Procedure

#### 6.1 Security

For general safety refer to the Biosafety manual.

Source: GLI Stepwise Process towards TB Laboratory Accreditation

*Gambar 1.2.2.3 1 Standart Operational Example*

### 2.2.3 Teknologi dan Alat dalam Perawatan

#### 2.2.3.1 Peralatan Diagnostik yang Umum Digunakan

Peralatan diagnostik memegang peranan penting dalam mendukung keberhasilan proses perawatan sistem kelistrikan. Alat-alat ini memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi permasalahan dan membantu dalam pengambilan keputusan untuk perawatan yang optimal. Beberapa peralatan diagnostik yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

##### A. *Thermographic Camera*

Kamera termografi digunakan untuk mendeteksi anomali suhu pada perangkat listrik seperti panel distribusi, transformator, dan sambungan kabel. Titik panas (*hot spots*) yang terdeteksi melalui pemindaian termal sering menjadi indikasi awal terjadinya kelebihan beban, koneksi longgar, atau kerusakan komponen, yang berpotensi menyebabkan kegagalan sistem.



*Gambar 1.2.3.1 1 Thermal Camera*

##### B. *Alat Uji Megger*

Alat ini digunakan untuk mengukur resistansi isolasi pada kabel, gulungan motor, atau transformator. Resistansi isolasi yang rendah mengindikasikan degradasi material isolasi, yang dapat meningkatkan risiko arus bocor dan kerusakan pada perangkat.



*Gambar 1.2.3.1 2 Megger*

### C. *Vibration Analyzer*

Analisis getaran digunakan pada perangkat rotasi seperti motor, generator, atau pompa. Pola getaran yang tidak normal dapat menunjukkan potensi masalah mekanis seperti ketidakseimbangan, misalignment, atau keausan bantalan, sehingga memungkinkan tindakan korektif sebelum kerusakan parah terjadi.



*Gambar 1.2.3.1 3 Vibration Analyzer*

### D. *Multimeter dan Clamp Meter*

Multimeter adalah alat dasar yang digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan resistansi. Clamp meter memungkinkan pengukuran arus listrik tanpa perlu memutuskan sirkuit, memberikan kemudahan dalam pengujian pada sistem yang sedang beroperasi.



*Gambar 1.2.3.1 4 Multimeter Clamp*

### 2.2.3.2 Peran Teknologi Moderen

#### A. *Internet of Things (IoT) dalam Pemantauan Kondisi*

*Internet of Things (IoT)* telah merevolusi proses perawatan dengan memungkinkan pemantauan kondisi perangkat secara *real-time* melalui integrasi sensor pintar. Sensor-sensor ini mengumpulkan data penting seperti suhu, getaran, kelembapan, arus, dan tegangan, yang kemudian dikirimkan ke sistem berbasis cloud untuk analisis lebih lanjut.

#### B. *Kecerdasan Buatan (AI) untuk Analisis Prediktif*

Kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) memberikan kemampuan analisis prediktif yang canggih dalam proses perawatan. Dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*), AI mampu menganalisis data historis dan data *real-time* untuk memprediksi waktu perawatan optimal dan mendeteksi potensi kegagalan sebelum terjadi.

## 2.2.4 Metodologi Perawatan Berbasis Kondisi (CBM)

### 2.2.4.1 Prinsip Dasar Condition-Based Maintenance (CBM)

*Condition-Based Maintenance (CBM)* adalah metode perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual perangkat atau sistem, bukan pada jadwal tetap. CBM bertujuan untuk mendeteksi tanda-tanda awal kerusakan atau degradasi performa dengan memanfaatkan data *real-time* yang diperoleh melalui sensor dan perangkat monitoring. Pendekatan ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat terkait kebutuhan perawatan, sehingga dapat mengoptimalkan umur perangkat sekaligus meminimalkan risiko kegagalan.

Prinsip utama CBM mencakup:

- Pemantauan Berkelanjutan: Perangkat dipantau secara *real-time* untuk mendeteksi perubahan signifikan dalam parameter operasionalnya.
- Pendeteksian Dini: Mendeteksi potensi kerusakan atau gangguan pada tahap awal sebelum mencapai kondisi kritis.
- Perawatan Tepat Waktu: Melakukan perawatan hanya ketika kondisi perangkat menunjukkan kebutuhan, menghindari *over-maintenance* atau *under-maintenance*.

### 2.2.4.2 Indikator Utama dalam CBM

CBM mengandalkan pengukuran parameter tertentu sebagai indikator utama untuk menilai kondisi perangkat. Beberapa indikator yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

- Suhu  
Suhu adalah salah satu indikator paling umum untuk mengidentifikasi potensi masalah pada perangkat listrik. Peningkatan suhu yang tidak normal dapat menunjukkan masalah

seperti koneksi longgar, kelebihan beban, atau kerusakan isolasi pada transformator, motor, atau panel distribusi. Pemantauan suhu biasanya dilakukan dengan perangkat seperti sensor termal atau kamera termografi.

- **Getaran**

Pola getaran digunakan untuk mendeteksi masalah mekanis pada perangkat rotasi seperti motor listrik, generator, atau pompa. Getaran abnormal sering menunjukkan ketidakseimbangan, keausan bantalan, atau misalignment. Alat analisis getaran memungkinkan diagnosis dini untuk mencegah kerusakan serius.

- **Arus**

Analisis arus dapat mendeteksi anomali dalam beban listrik yang mungkin disebabkan oleh kelebihan beban, hubungan pendek, atau penurunan efisiensi pada motor listrik dan peralatan lain.

- **Tegangan**

Fluktuasi tegangan dapat menjadi indikasi masalah pada jaringan distribusi listrik atau perangkat. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik dan meningkatkan risiko kegagalan sistem.

#### *2.2.4.3 Penerapan CBM pada alat kelistrikan*

##### **A. Transformator**

Transformator sering diawasi menggunakan indikator seperti suhu oli, tingkat kelembapan, dan pelepasan muatan parsial. Sistem CBM pada transformator biasanya mencakup:

- Sensor termal untuk memantau suhu inti dan kumparan.
- Monitor pelepasan parsial untuk mendeteksi degradasi isolasi.
- Sensor level oli untuk memastikan pelumasan dan pendinginan yang memadai.

##### **B. Motor Listrik**

Motor listrik adalah salah satu perangkat yang paling umum dalam penerapan CBM. Pemantauan melibatkan:

- Motor listrik adalah salah satu perangkat yang paling umum dalam penerapan CBM. Pemantauan melibatkan:
- Pemantauan suhu pada gulungan motor untuk mencegah overheating.
- Analisis arus untuk mendeteksi masalah kelistrikan seperti kelebihan beban atau hubungan pendek antar-lilitan.



### **2.2.5 Analisa Kerusakan dan Strategi Perbaikan**

Analisis kerusakan merupakan langkah kritis dalam memastikan keandalan sistem kelistrikan. Proses identifikasi masalah bertujuan untuk mengungkap akar penyebab gangguan atau kegagalan pada peralatan listrik. Tahapan dalam identifikasi masalah meliputi:

#### **A. Inspeksi Visual**

Inspeksi awal dilakukan untuk mendeteksi tanda-tanda fisik kerusakan, seperti komponen yang terbakar, koneksi longgar, korosi, atau retakan. Langkah ini penting untuk mengidentifikasi masalah yang jelas terlihat tanpa alat khusus.

#### **B. Pengukuran Parameter Operasional**

- Tegangan: Memeriksa apakah tegangan yang masuk dan keluar sesuai dengan spesifikasi perangkat.
- Arus: Mengukur arus untuk mendeteksi beban berlebih atau hubungan pendek.
- Suhu: Menggunakan perangkat seperti kamera termografi untuk mendeteksi panas berlebih.
- Getaran: Analisis getaran digunakan untuk mengidentifikasi masalah mekanis pada peralatan rotasi seperti motor listrik atau generator.

#### **C. Analisis Data Historis**

Data operasional sebelumnya dianalisis untuk mengidentifikasi pola atau tren yang mengarah pada kegagalan. Misalnya, kenaikan suhu secara bertahap pada perangkat dapat menunjukkan keausan atau degradasi komponen internal.

### **2.2.6 Perencanaan dan Manajemen Perawatan**

#### **2.2.6.1 Penyusunan Jadwal Perawatan**

Penyusunan jadwal perawatan merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen perawatan sistem kelistrikan. Tujuan utama dari penyusunan jadwal adalah untuk memastikan bahwa perawatan dilakukan secara teratur, efektif, dan efisien, menghindari kerusakan tak terduga yang dapat mengganggu operasi sistem. Penyusunan jadwal perawatan terdiri dari beberapa langkah:

#### **A. Penentuan Jenis Perawatan**

Setiap jenis perawatan (preventif, prediktif, atau korektif) memerlukan frekuensi dan waktu yang berbeda. Perawatan preventif biasanya dilakukan secara periodik berdasarkan rekomendasi pabrik atau standar industri, sedangkan perawatan prediktif dilakukan berdasarkan pemantauan kondisi peralatan yang dapat mengindikasikan kebutuhan perawatan sebelum kegagalan terjadi. Perawatan korektif dilakukan setelah kerusakan terdeteksi.

B. Pengelompokan Peralatan Berdasarkan Prioritas

Peralatan yang memiliki dampak tinggi terhadap operasional dan keselamatan harus diprioritaskan dalam jadwal perawatan. Perangkat yang lebih kritis harus diperiksa lebih sering, sementara perangkat dengan peran yang kurang kritis bisa dijadwalkan lebih jarang.

C. Penjadwalan Berdasarkan Waktu dan Ketersediaan Sumber Daya

Jadwal perawatan perlu disusun dengan mempertimbangkan ketersediaan teknisi, peralatan pengganti, dan waktu yang diperlukan untuk melakukan perawatan. Proses ini juga harus mempertimbangkan waktu henti operasional yang minimal agar dampak terhadap produksi atau operasi dapat dikurangi.

D. Penyusunan Kalender Perawatan

Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.

#### *2.2.6.2 Analisa Biaya Perawatan*

Analisis biaya perawatan adalah proses penilaian yang digunakan untuk membandingkan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan dengan manfaat yang diperoleh dari perawatan tersebut. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa pengeluaran perawatan memberikan nilai yang sebanding dengan manfaat yang diperoleh, baik dalam hal penghematan biaya maupun peningkatan keandalan sistem.

#### *2.2.6.3 Pengelolaan Suku Cadang dan Dokumentasi Kerja*

Pengelolaan suku cadang yang efisien dan dokumentasi kerja yang baik adalah kunci untuk memastikan keberlanjutan dan keberhasilan perawatan sistem kelistrikan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

A. Pengelolaan Suku Cadang

- Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.
- Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan

perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.

- Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.

#### B. Dokumentasi Kerja

- Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.
- Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.
- Setelah identifikasi jenis dan prioritas perawatan, langkah berikutnya adalah menyusun kalender perawatan, yang mencakup jadwal perawatan rutin dan perawatan darurat yang dapat terjadi kapan saja. Sistem manajemen perawatan berbasis komputer (CMMS) dapat digunakan untuk mempermudah penyusunan dan pelaksanaan jadwal perawatan.

## BAB III ANALISA KORELASI PROJECT DENGAN MATA KULIAH TEKNIK PERAWATAN DAN PERBAIKAN

### 3.1 Korelasi Proyek dengan Mata Kuliah Teknik Perawatan dan Perbaikan

Proyek "*Structural Health Monitoring System (SHMS)*" berbasis teknologi Industri 4.0" memiliki korelasi yang kuat dengan mata kuliah Teknik Perawatan dan Perbaikan dalam beberapa aspek terkait pemeliharaan dan pemantauan struktur bangunan. Berikut adalah beberapa korelasi utama antara proyek ini dan mata kuliah tersebut:

#### 3.1.1 Pemeliharaan Berdasarkan Kondisi (*Condition-Based Maintenance*)

- Proyek ini menggunakan berbagai sensor seperti akselerometer, giroskop, dan strain gauge untuk memantau kondisi bangunan secara *real-time*. Data yang dikumpulkan digunakan untuk menilai potensi kerusakan struktural dan melakukan klasifikasi kesehatan bangunan. Hal ini sangat relevan dengan prinsip condition-based maintenance, di mana perawatan atau perbaikan dilakukan berdasarkan kondisi aktual dari struktur tersebut.
- Dengan menggunakan algoritma Kalman Filter untuk mengurangi noise pada data akselerometer dan giroskop, proyek ini meningkatkan akurasi deteksi derajat kemiringan bangunan, yang dapat digunakan untuk menilai kerusakan atau deformasi lebih tepat. Ini mendukung penerapan pemeliharaan berbasis kondisi dalam sistem perawatan struktur bangunan.

#### 3.1.2 Pemeliharaan Prediktif dan Preventif

- Proyek ini mengarah pada implementasi pemeliharaan prediktif dan preventif, di mana sistem yang dikembangkan tidak hanya mendeteksi kerusakan yang sudah terjadi, tetapi juga dapat memprediksi potensi kerusakan berdasarkan analisis data real-time. Dalam mata kuliah Teknik Perawatan dan Perbaikan, pengenalan teknik prediksi dan perawatan preventif merupakan bagian integral untuk meminimalkan biaya perawatan dan perbaikan jangka panjang.
- Penerapan logika fuzzy untuk memetakan getaran bangunan dan estimasi dampak gempa juga membuka potensi untuk melakukan perawatan preventif berdasarkan prediksi potensi bencana alam yang dapat mempengaruhi struktur bangunan.

#### 3.1.3 Monitoring dan Pemantauan Infrastruktur

- Dalam mata kuliah Teknik Perawatan dan Perbaikan, penting untuk memahami bagaimana teknologi sensor dapat digunakan untuk pemantauan infrastruktur secara berkelanjutan. Proyek ini mengintegrasikan sistem pemantauan berbasis sensor yang

mendukung deteksi dini kerusakan, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat terkait kebutuhan perbaikan atau pemeliharaan.

- Selain itu, kemampuan integrasi real-time dengan website yang memungkinkan pembaruan data hingga 50 Hz menunjukkan potensi penggunaan teknologi tinggi dalam pengelolaan perawatan infrastruktur secara lebih efektif dan efisien.

### **3.2 Rencana Pengembangan Sesuai dengan Mata Kuliah**

Beberapa rencana pengembangan proyek ini yang relevan dengan mata kuliah Teknik Perawatan dan Perbaikan adalah sebagai berikut.

#### **3.2.1 Penerapan Sistem Pemeliharaan pada Infrastruktur Besar**

- Pengembangan lebih lanjut dari sistem ini dapat diarahkan untuk diterapkan pada infrastruktur besar seperti gedung bertingkat, jembatan, dan jalan raya. Sistem ini dapat digunakan untuk pemeliharaan jangka panjang dan mendukung keputusan terkait pemeliharaan berdasarkan analisis kondisi nyata dan prediksi kerusakan struktural.

#### **3.2.2 Penggunaan Machine Learning untuk Prediksi Kerusakan**

- Mengingat pentingnya prediksi kerusakan dalam pemeliharaan prediktif, rencana pengembangan lebih lanjut dari proyek ini bisa mencakup penerapan machine learning untuk menganalisis pola data dan memberikan prediksi lebih akurat mengenai waktu dan jenis kerusakan yang kemungkinan besar akan terjadi. Ini akan semakin mendekatkan sistem ini dengan pemeliharaan berbasis prediksi yang lebih matang.

## BAB IV MATERI YANG PERLU DIPERDALAM

### 4.1 Algoritma Kalman Filter

Kalman Filter merupakan salah satu algoritma yang sangat berguna dalam memproses data sensor, terutama untuk mengurangi noise yang sering kali muncul akibat gangguan lingkungan seperti getaran atau fluktuasi acak. Dalam proyek ini, Kalman Filter digunakan untuk mengolah data dari akselerometer dan giroskop, khususnya pada sensor MPU6050. Walaupun aplikasi Kalman Filter dalam bidang kontrol dan navigasi sudah cukup luas, pemahaman yang lebih dalam terkait dengan teori dasar, penerapan, dan optimasi Kalman Filter pada sistem pemantauan struktur masih perlu diperkuat.[7].

Beberapa hal yang perlu dipelajari lebih dalam antara lain:

- **Tuning dan Penyesuaian Parameter:** Kalman Filter sangat bergantung pada matriks kovarians, yang sering kali membutuhkan penyesuaian atau tuning agar hasil estimasi lebih akurat dalam kondisi dunia nyata.

### 4.2 Pemeliharaan Preventif dan Prediktif

Salah satu tujuan utama dari proyek ini adalah untuk menciptakan sistem yang memungkinkan prediksi kerusakan pada struktur beton dan mengimplementasikan pemeliharaan prediktif. Untuk dapat lebih efektif dalam merancang dan mengimplementasikan sistem pemeliharaan ini, penting untuk memperdalam materi terkait dengan teori dan praktik pemeliharaan berbasis data. Dalam hal ini, ada beberapa topik yang perlu dipelajari lebih lanjut:

Beberapa hal yang perlu dipelajari lebih dalam antara lain:

- **Model Prediksi Kerusakan:** Pembelajaran mengenai berbagai model yang digunakan dalam pemeliharaan prediktif, termasuk pengembangan model prediksi berbasis data sensor dan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*).
- **Klasifikasi Kerusakan:** Pemahaman lebih dalam mengenai bagaimana mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai tipe kerusakan struktural menggunakan data sensor, serta penerapan teknik analisis data seperti klasifikasi dan regresi untuk menghasilkan keputusan perawatan yang akurat.

### 4.3 Teknologi Sensor dan Sistem Monitoring

Proyek ini mengandalkan berbagai jenis sensor seperti MPU6050, ADXL345, dan sensor lainnya untuk memantau kondisi bangunan. Untuk memperdalam pemahaman tentang aplikasi sensor dalam pemantauan struktur, berikut adalah beberapa materi yang perlu dipelajari lebih lanjut:

- Karakteristik Sensor Akselerometer dan Giroskop: Mempelajari lebih dalam mengenai prinsip kerja akselerometer dan giroskop, serta cara kalibrasi dan pengolahan data untuk aplikasi pemantauan struktur.
- Struktur dan Prinsip Kerja Sensor Strain Gauge: Mengingat sensor strain gauge digunakan untuk mengukur tegangan pada struktur, pemahaman yang lebih mendalam mengenai cara kerja dan aplikasi strain gauge dalam monitoring struktural sangat diperlukan.

#### **4.4 Logika Fuzzy dan Aplikasinya dalam Monitoring Struktural**

Pada proyek ini, logika fuzzy digunakan untuk memetakan getaran bangunan ke dalam skala magnitudo serta estimasi dampak gempa. Oleh karena itu, penting untuk memperdalam konsep dasar dari logika fuzzy dan penerapannya dalam konteks pemantauan struktural. Beberapa poin yang perlu diperhatikan:

- Dasar-dasar Logika Fuzzy: Pembelajaran mengenai konsep-konsep dasar logika fuzzy, termasuk fuzzyfication, defuzzification, dan fungsi keanggotaan.
- Optimasi dan Pengembangan Sistem Fuzzy: Mempelajari cara-cara meningkatkan kinerja sistem fuzzy dengan memperbaiki fungsi keanggotaan dan pengaturan aturan fuzzy untuk aplikasi yang lebih efisien dan akurat.

#### **4.5 *Machine Learning* untuk Prediksi Kerusakan**

Seiring dengan perkembangan proyek yang lebih lanjut, penggunaan machine learning dalam analisis dan prediksi kerusakan pada struktur bangunan akan menjadi semakin penting. Berikut beberapa aspek yang perlu dipelajari:

- Jenis-jenis Algoritma Machine Learning: Pembelajaran mengenai algoritma machine learning seperti regresi, klasifikasi, dan neural networks yang dapat digunakan untuk memprediksi kerusakan berdasarkan data sensor yang diperoleh.
- Data Preprocessing dan Feature Engineering: Peningkatan keterampilan dalam mempersiapkan data (preprocessing) dan memilih fitur-fitur yang relevan untuk model machine learning.
- Evaluasi Model Prediksi: Pemahaman lebih dalam tentang bagaimana mengukur efektivitas model prediksi, termasuk penggunaan metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, dan *recall*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nithya, R. Rajaduari, M. Ganesan, K. Anand, and A. Prof, “A SURVEY ON STRUCTURAL HEALTH MONITORING BASED ON INTERNET OF THINGS.” [Online]. Available: <http://www.ijpam.eu>
- [2] J. Yoon, J. Lee, G. Kim, S. Ryu, and J. Park, “Deep neural network-based structural health monitoring technique for real-time crack detection and localization using strain gauge sensors,” *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-24269-4.
- [3] M. F. Ahsanandi and L. Awaludin, “Sistem Peringatan Tingkat Kerentanan Bangunan Berbasis Sensor IMU dengan Metode Fuzzy,” *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 12, no. 1, p. 93, Apr. 2022, doi: 10.22146/ijeis.70141.
- [4] F. Di Nuzzo, D. Brunelli, T. Polonelli, and L. Benini, “Structural Health Monitoring System with Narrowband IoT and MEMS Sensors,” *IEEE Sens J*, vol. 21, no. 14, pp. 16371–16380, Jul. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3075093.
- [5] M. Mołęda, B. Małysiak-Mrozek, W. Ding, V. Sunderam, and D. Mrozek, “From Corrective to Predictive Maintenance—A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry,” Jul. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/s23135970.
- [6] A. Ucar, M. Karakose, and N. Kırımça, “Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends,” Jan. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/app14020898.
- [7] S. Yuliani and H. M. Saputra, “Kolaborasi Kalman Filter dengan Complementary Filter untuk Mengoptimasi Hasil Sensor Gyroscope dan Accelerometer Kolaborasi Kalman Filter dengan Complementary Filter untuk Mengoptimasi Hasil Sensor Gyroscope dan Accelerometer,” no. March, 2017.