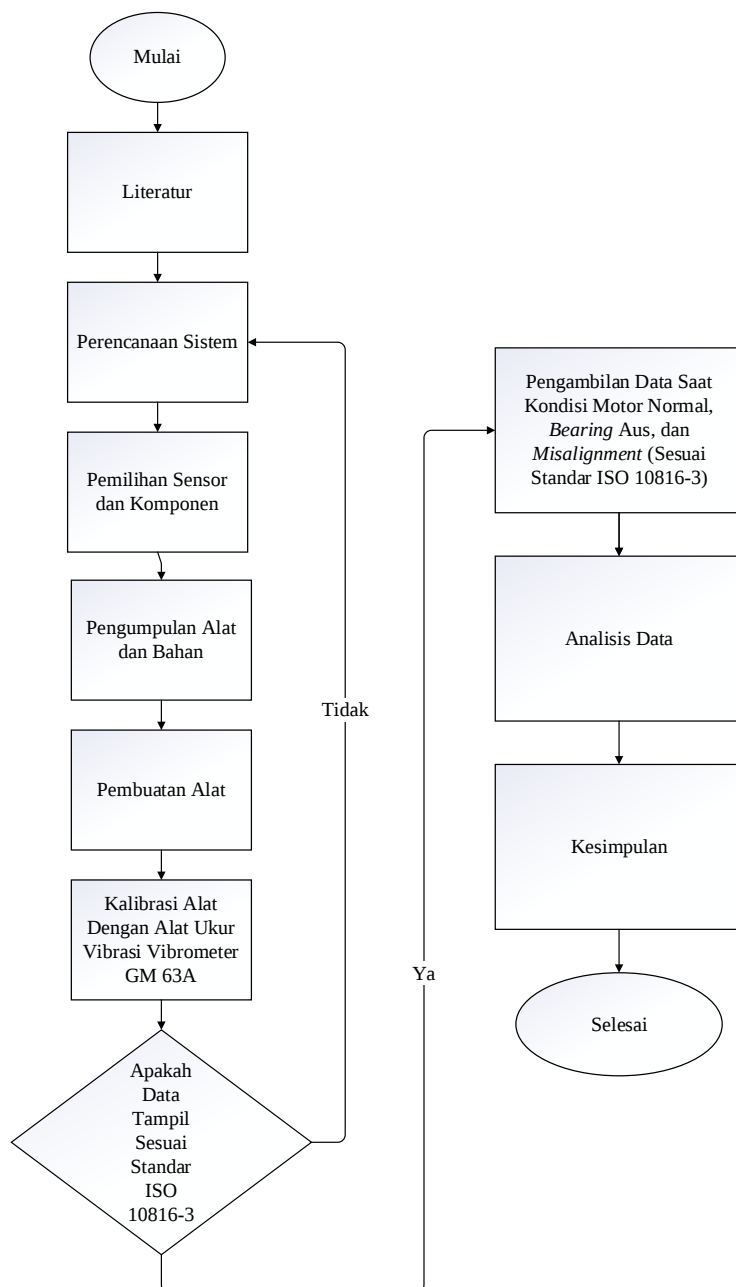


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



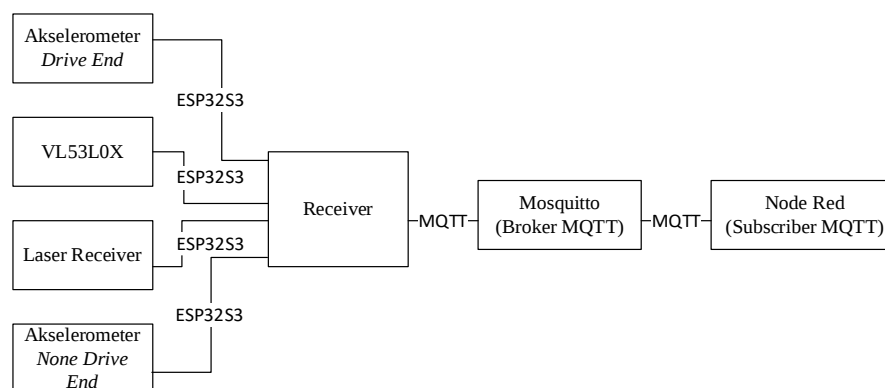
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1 merupakan tahapan penelitian diantaranya ada literasi, persiapan alat dan bahan yang meliputi kebutuhan *hardware* dan *software*, implementasi alat ke motor induksi 3 fasa, pengujian sistem apakah alat berfungsi dengan baik, pengambilan data (keadaan motor dalam kondisi normal, *bearing* aus, misalignment), analisa data, kesimpulan.

3.1.1 Literasi

Pada tahapan literasi ini, langkah utama yang dilakukan adalah mengidentifikasi permasalahan yang relevan dengan topik penelitian. Proses ini bertujuan untuk memahami secara mendalam isu-isu yang berkaitan dengan monitoring vibrasi pada motor induksi tiga fasa. Dengan memanfaatkan sumber-sumber literatur yang kredibel, peneliti dapat mengumpulkan informasi yang komprehensif mengenai fenomena vibrasi, penyebabnya, dampaknya terhadap performa motor, serta solusi berbasis teknologi seperti Internet of Things (IoT). Hasil dari tahapan ini akan menjadi dasar yang kuat untuk merumuskan masalah penelitian secara spesifik dan mendetail.

3.1.2 Perencanaan Sistem



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Monitoring Vibrasi

Seperti pada gambar 3.2 tahap perancangan sistem ini, dilakukan penyusunan konsep sistem monitoring yang akan dikembangkan. Proses ini mencakup pemilihan perangkat keras seperti sensor, mikrokontroler, dan komponen pendukung lainnya, serta pemrograman perangkat lunak untuk memastikan sistem dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, dilakukan perancangan skema kelistrikan dan komunikasi antar perangkat guna memastikan integrasi yang optimal.

3.1.3 Pemilihan Sensor Dan Komponen

Dalam sistem penelitian ini, menggunakan dua buah Akselerometer 6-Sumbu DFRobot untuk bagian *drive end* dan *none drive end*, satu sensor jarak VL53L0X, sensor *Receiver* Laser. Adapun alasan mengapa menggunakan sensor-sensor tersebut di antaranya:

1. Sensor Akselerometer 6-Sumbu DFRobot, penggunaan akselerometer dengan kemampuan pembacaan multi-sumbu (X, Y, dan Z) merupakan sensor yang berfungsi dalam analisis vibrasi mesin berputar. Anomali mekanis yang berbeda akan mengeksitasi gaya pada sumbu yang berbeda pula. Sebagai contoh, gangguan berupa kelonggaran fondasi (*looseness*) dan keausan bantalan (*bearing wear*) umumnya mendominasi lonjakan amplitudo pada arah radial (sumbu X horizontal dan sumbu Y vertikal). Sebaliknya, cacat ketidaksejajaran poros (*misalignment*) secara khas akan menghasilkan gaya dorong yang kuat pada arah aksial (sumbu Z). Pembacaan tiga sumbu secara simultan esensial agar sistem dapat mendiagnosis dan membedakan jenis anomali secara presisi.

2. Sensor jarak VL53L0X (*Time-of-Flight*), penggunaan sensor ToF terletak pada kemampuannya mengukur pergeseran fisik makro pada fondasi motor akibat kelonggaran baud, karena ketika terjadi kelonggaran baud maka kopling (*couple*) penghubung poros pompa dan motor itu akan bergerak mundur. Teknologi *Time-of-Flight* (ToF) yang memancarkan pulsa inframerah dipilih karena mampu memberikan resolusi pembacaan tingkat milimeter yang sangat stabil. Di lingkungan operasi motor induksi yang bising, sensor ToF ini kebal terhadap gangguan akustik dan tidak terpengaruh oleh getaran udara, sehingga berfungsi sangat baik sebagai parameter sekunder untuk memvalidasi status bahaya (*Unacceptable*) akibat terangkatnya dudukan dan bergerak mundurnya motor.
3. Sensor *Receiver* Laser, instrumen penerima laser diimplementasikan sebagai indikator spesifik untuk mendeteksi *misalignment* geometris pada kopling. Pemilihan teknologi optik ini didasarkan pada kebutuhan referensi kelurusan (*alignment*) yang absolut. Sinar laser menyediakan garis referensi optik lurus yang sepenuhnya kebal terhadap gangguan suara tinggi yang lazim dihasilkan oleh vibrasi motor induksi tiga fasa. Hal ini menjamin validitas deteksi penyimpangan poros tanpa terdistorsi oleh gangguan suara mesin.

3.1.4 Pengumpulan Alat dan Bahan

Pada tahapan kedua, dilakukan persiapan alat dan bahan yang mencakup identifikasi kebutuhan hardware dan software. Tahapan ini bertujuan untuk

memastikan bahwa semua komponen yang diperlukan untuk mendukung implementasi sistem telah tersedia dan sesuai dengan spesifikasi teknis yang dirancang. Persiapan *hardware* dan *software* meliputi:

1. Laptop

Perangkat yang digunakan untuk pembuat sistem ini memiliki spesifikasi prosesor Ryzen 5 6600H dengan memori RAM sebesar 8 GB.

2. Modem Wifi

Perangkat ini dibutuhkan untuk penghubung antars sistem monitoring vibrasi motor induksi 3 fasa dengan jaringan internet.

3. ESP 32S3 *With Expansion*

ESP32 ini digunakan sebagai mikrokontroler dasistem monitoring vibrasi ini.

4. Sensor Receiver Laser

Sensor ini nantinya berfungsi membantu medeteksi *misalignment*

5. Akselerometer 6-sumbu serial DFROBOT

Modul sensor ini memiliki fitur *Accelerometer* terhadap sumbu x, y, z yang di butuhkan untuk sistem monitoring vibrasi ini.

6. Sensor VL53L0X

Sensor VL53L0X adalah sensor jarak yang berfungsi sebagai mendeteksi bantukan longgar pada motor.

7. Motor Induksi 3 fasa dengan daya 5.5hp

Motor induksi ini digunakan untuk percobaan sistem monitoring vibrasi ini.

8. Arduino IDE

Aplikasi Arduino IDE ini digunakan untuk membuat program yang nantinya akan dimasukan ke ESP32

9. MQTT

Message Queuing Telemetry Transport atau MQTT adalah protocol komunikasi yang digunakan untuk mengirim data dan menerima data secara efisien.

10. Node-Red

Node-Red berfungsi sebagai platform IoT.

3.1.5 Pembuatan Alat

Pada tahap perancangan alat, komponen utama seperti mikrokontroler ESP32, sensor akselerometer, sensor jarak, dan sensor Laser Receiver dirancang serta dikonfigurasi sedemikian rupa untuk berfungsi sebagai sistem pengukuran vibrasi. Integrasi empat komponen ini bertujuan untuk membentuk perangkat monitoring yang mampu mengidentifikasi getaran mekanis secara real-time pada motor induksi tiga fasa. Proses perancangan mencakup pemilihan komponen yang

sesuai, pengaturan konfigurasi perangkat keras, serta pengembangan perangkat lunak pemrosesan data untuk memperoleh keluaran dalam satuan percepatan atau kecepatan getaran sesuai standar ISO 10816-1.

3.1.6 Kalibrasi Alat dan Bahan

Pada tahap kalibrasi alat, dilakukan penyesuaian dan pengujian terhadap perangkat yang digunakan untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem. Proses ini mencakup pengaturan parameter sensor agar mampu membaca data secara tepat sesuai dengan standar yang diinginkan, seperti memastikan sensor vibrasi dapat mendeteksi getaran motor induksi dengan tingkat presisi yang tinggi. Selain itu, dilakukan verifikasi terhadap koneksi perangkat keras dan kesesuaian perangkat lunak untuk memastikan data yang dikumpulkan sesuai dengan kondisi nyata.

3.1.7 Pengambilan Data

Setelah sistem berhasil melewati tahap pengujian, langkah berikutnya adalah melakukan pengambilan data vibrasi. Proses ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi terkait kondisi operasional motor secara real-time. Data yang dikumpulkan adalah data saat 3 kondisi vibrasi yaitu:

1. Normal

Motor berkerja di bawah batas vibrasi yang telah ditentukan standar ISO 10816-1.

2. *Bearing Aus*

Vibrasi menunjukkan pola tertentu yang mengindikasikan adanya keausan pada *bearing* motor atau dalam kondisi diatas batas vibrasi yang telah di tentukan standar ISO 10816-1.

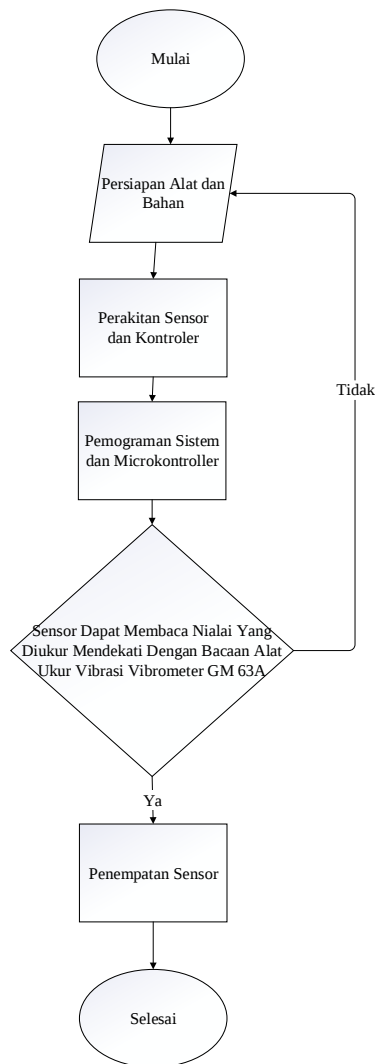
3. Misalignment

Data vibrasi menunjukkan pola ketidakseimbangan atau ketidaksejajaran pada poros motor, yang dapat menyebabkan getaran berlebih dan potensi kerusakan lebih lanjut.

3.1.8 Analisa Data

Data yang terkumpul melalui sistem monitoring dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi pola-pola vibrasi yang terjadi pada motor induksi tiga fasa. Analisis ini bertujuan untuk memahami karakteristik data, mendeteksi anomali, serta mendiagnosis potensi masalah seperti keausan *bearing* atau ketidaksejajaran poros. Selain itu, analisis dilakukan untuk memvalidasi keakuratan dan keandalan hasil yang dihasilkan oleh sistem monitoring, memastikan bahwa sistem mampu memberikan informasi yang relevan dan sesuai dengan kondisi nyata. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk memberikan rekomendasi tindakan yang diperlukan,

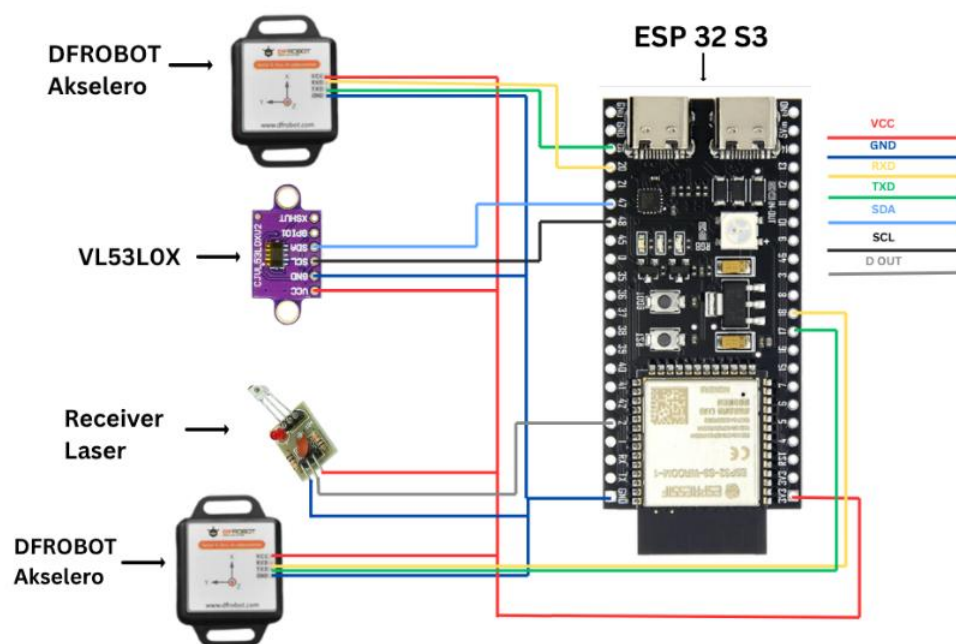
3.2 Flowchart Implementasi Sistem



Gambar 3. 3 Flowchart Implementasi Sitem

Seperti pada Gambar 3.3 flowchart ini menggambarkan proses perancangan dan implementasi sistem monitoring berbasis sensor akselerometer 6-sumbu serial DFROBOT dan ESP32. Dimulai dengan persiapan alat dan bahan, di mana semua komponen yang diperlukan disiapkan sesuai kebutuhan. Selanjutnya, dilakukan penyambungan kabel antara sensor akselerometer dan modul ESP32 berdasarkan skema rangkaian yang telah dirancang. Setelah itu, sistem diprogram untuk

memungkinkan mikrokontroler membaca data dari sensor dengan benar, termasuk konfigurasi perangkat dan komunikasi data. Proses pengujian dilakukan untuk memastikan semua sensor dapat membaca nilai dengan baik; jika ada kesalahan, dilakukan perbaikan pada tahap pemrograman. Setelah sensor berfungsi optimal, dilakukan penempatan sensor pada lokasi yang sesuai untuk pengukuran, dan sistem dinyatakan selesai serta siap digunakan.



Gambar 3. 4 Wiring Sistem Monitoring

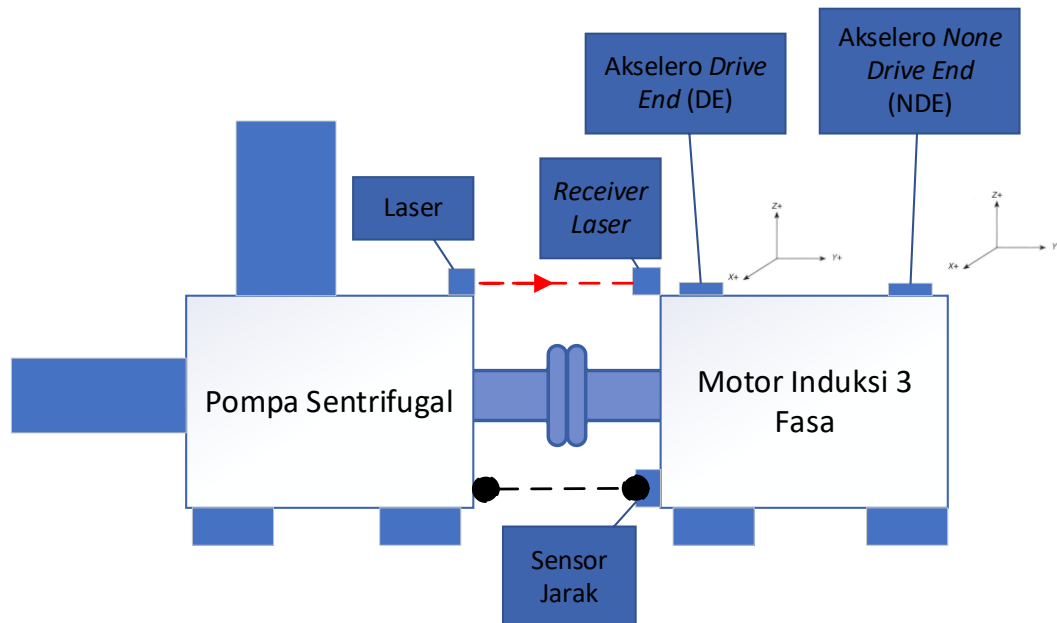
Pada Gambar 3.4, sistem pemantauan vibrasi ini terdiri dari dua sensor AKSELEROMETER, satu sensor M12 Laser Beam, serta satu kontroler ESP32. Gambar tersebut menggambarkan sistem pengkabelan (*wiring system*) antara modul ESP32 dengan dua sensor akselerometer, sensor jarak, dan *receiver* laser.

Berikut adalah *wiring system* yang di sajikan dalam bentuk tabel seperti yang di tunjukan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel Wiring System

ESP 32S3	Akselero DE	Akselero NDE	VL53L0X	Receiver Laser
5V	VCC	VCC	VCC	VCC
GND	GND	GND	GND	GND
GPIO 2	-	-	-	OUT
GPIO 17	TXD	-	-	-
GPIO 18	RXD	-	-	-
GPIO 19	-	TXD	-	-
GPIO 20	-	RXD	-	-
GPIO 47	-	-	SDA	-
GPIO 48	-	-	SCL	

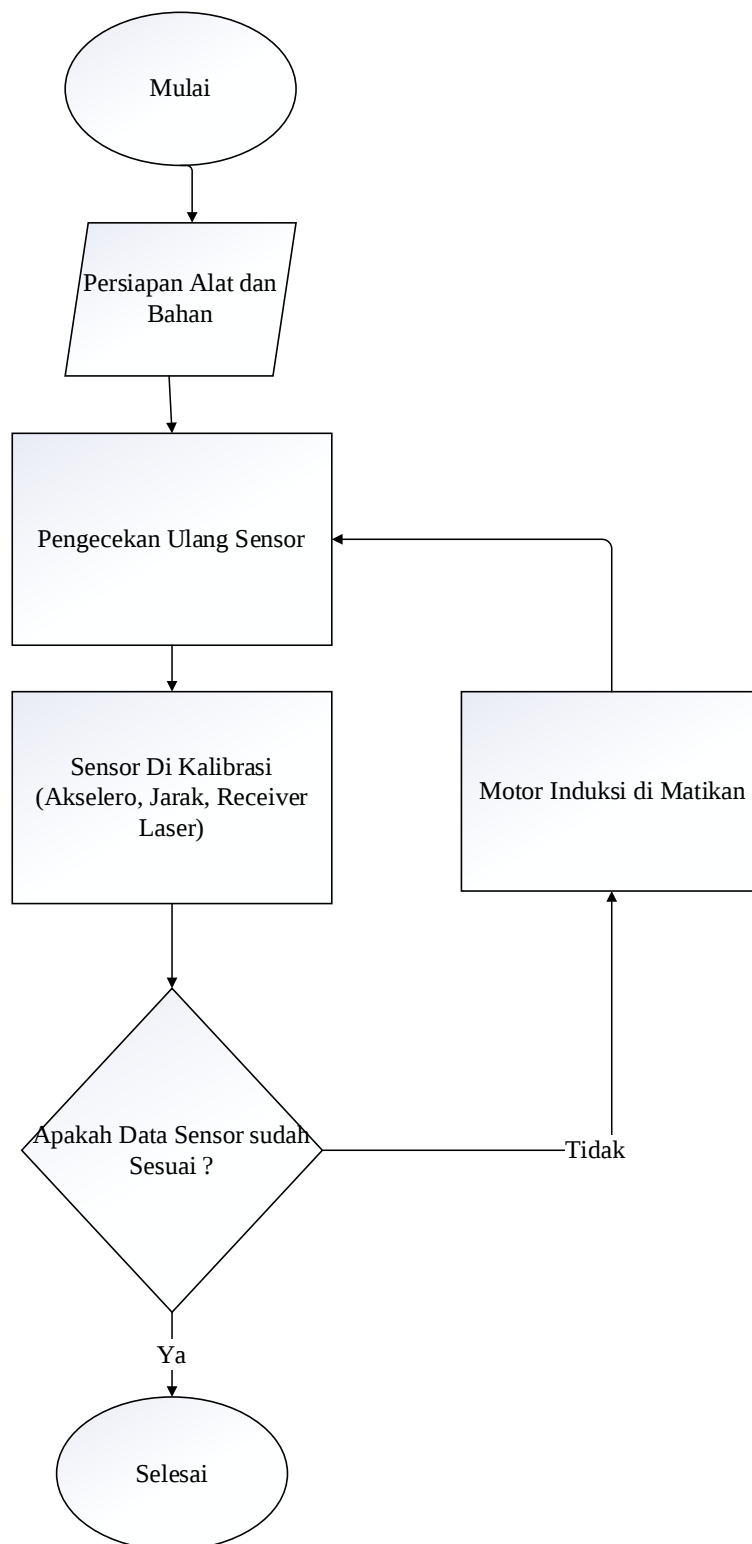
Seperti pada tabel 3.1, merepresentasikan konfigurasi interkoneksi pin dan skema pengalamatan input/output antara mikrokontroler ESP32-S3 dengan berbagai modul periferan melalui protokol komunikasi yang berbeda. Seluruh modul, yang meliputi Akselero DE, Akselero NDE, sensor jarak VL53L0X, dan Receiver Laser, berbagi jalur catu daya terintegrasi melalui pin 5V dan Ground (GND) untuk memastikan stabilitas tegangan operasional. Integrasi data dilakukan secara spesifik, di mana modul Akselero DE dan NDE memanfaatkan komunikasi serial UART melalui pin GPIO 17/18 dan GPIO 19/20 (TXD/RXD), sementara sensor VL53L0X menggunakan antarmuka I2C pada pin GPIO 47 (SDA) dan GPIO 48 (SCL), serta Receiver Laser yang dihubungkan sebagai input diskrit melalui pin GPIO 2 (OUT) guna memfasilitasi akuisisi data sensor.



Gambar 3. 5 Ilustrasi Pemasangan Sensor Akselerometer 6-Sumbu Serial

DFROBOT, *Receiver Laser* dan Sensor *VL53L0X*

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.5, sensor akselerometer dipasang pada bagian *drive end* (DE) dan *non-drive end* (NDE) dari motor induksi tiga fasa guna mendeteksi getaran yang berasal dari kedua sisi poros motor. Sementara itu, sensor *receiver* laser ditempatkan pada bagian pompa sentrifugal serta motor induksi tiga fasa. Untuk Sensor jarak juga dipasang di bagian motor tiga fasa. Penting untuk memastikan bahwa sebelum pemasangan sensor *receiver* laser dan sensor jarak dilakukan, sistem telah terpasang normal dengan tanda vibrasi berada di kondisi yang normal sesuai setandar ISO. Flowchart Kalibrasi Sistem



Gambar 3. 6 Flowchart Pengujian Sistem

Seperti yang tertera pada gambar 3.6 menggambarkan proses pengujian sistem monitoring pada motor induksi tiga fasa. Dimulai dengan persiapan alat dan bahan, di mana semua komponen yang dibutuhkan, seperti sensor dan motor induksi, disiapkan. Setelah itu, dilakukan kalibrasi pada sensor akselero dengan alat ukur vibro meter, sensor jarak dengan mistar, dan sensor receiver laser (sensor digital).

3.2.1 Kalibrasi Sensor

Seperti pada Gambar 3.7 sebelum masuk tahap pengujian data sensor di kalibrasi untuk mengetahui hasil dari error dari sensor tersebut.

Tabel 3. 2 Tabel Pengujian Kalibrasi Sensor Accelero *Drive End* (DE)

Penguji an ke	DE X		Gala t%	DE Y		Gala t%	DE Z		Gala t%
	Alat Ukur	Sen sor		Alat Ukur	Sen sor		Alat Ukur	Sen sor	
1									
2									
3									
...									
15									
AVG									
Korelasi									

Tabel 3. 3 Tabel Pengujian Kalibrasi Sensor *Accelerometer Drive End* (NDE)

[illegible]

15									
AVG									
Korelasi									

Tabel 3.2 dan 3.3 merupakan tabel untuk pengujian sensor akselero yang berfungsi mengukur getaran pada motor, dan dibandingkan dengan alat ukur vibrasi manual.

Tabel 3. 4 Pengujian Sensor Jarak

Pengujian Ke	Mistar (mm)	Sensor (mm)	Galat %
1	10		
2	20		
3	30		
4	40		
5	50		
6	60		
7	70		
8	80		
9	90		
10	100		
11	110		
12	120		
13	130		
14	140		
15	150		
Rata-rata Galat (%)			
Korelasi			

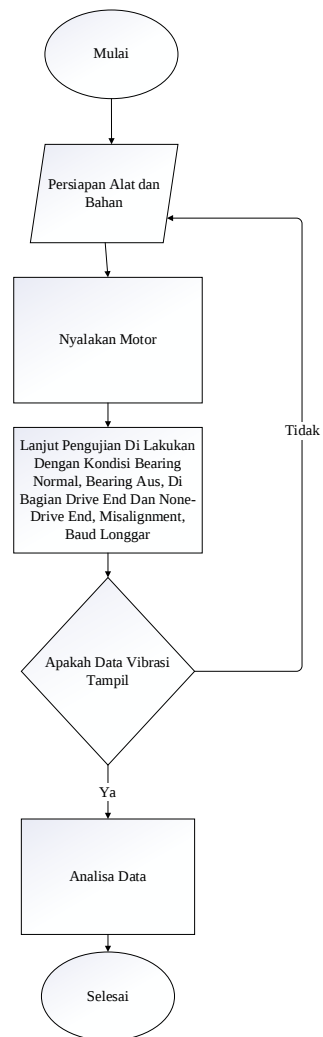
Seperti pada tabel 3.4 merupakan tabel untuk pengujian sensor jarak yang berfungsi sebagai pendeteksi baud longgar, sensor jarak dibandingkan dengan alat ukur mistar.

Tabel 3. 5 Pengujian Sensor Receiver Laser

Pengujian ke	Kondisi output yang di harapkan	Kondisi Output Sensor	Status
1			
2			
3			
...			
15			

Seperti pada tabel 3.5 adalah pengujian sensor *receiver* laser yang berfungsi sebagai pendeteksi *misalignment*.

3.3 Flowchart Pengambilan Data



Gambar 3. 7 Flowchart Pengambilan Data

Seperti pada gambar 3.7 pengambilan data dilakukan dengan 4 kondisi yaitu di antaranya; *bearing normal*, *bearing aus*, *misalignment*, *baud longgar*.

Tabel 3. 6 Trhoughtput

Waktu Pengamatan	Jumlah Byte	Time Span	Kb/s	Indeks	Tiphon

--	--	--	--	--	--

Tabel 3. 7 Packet Loss

Waktu Pengamatan	Packet Dikirim ESP32S3	Packet Diterima Broker	% <i>Lost</i>	Indeks	Tiphon

Tabel 3. 8 Delay

Waktu Pengamatan	Packet Dikirim	Total <i>Delay</i>	Rata-rata <i>Delay</i>	Indeks	Tiphon

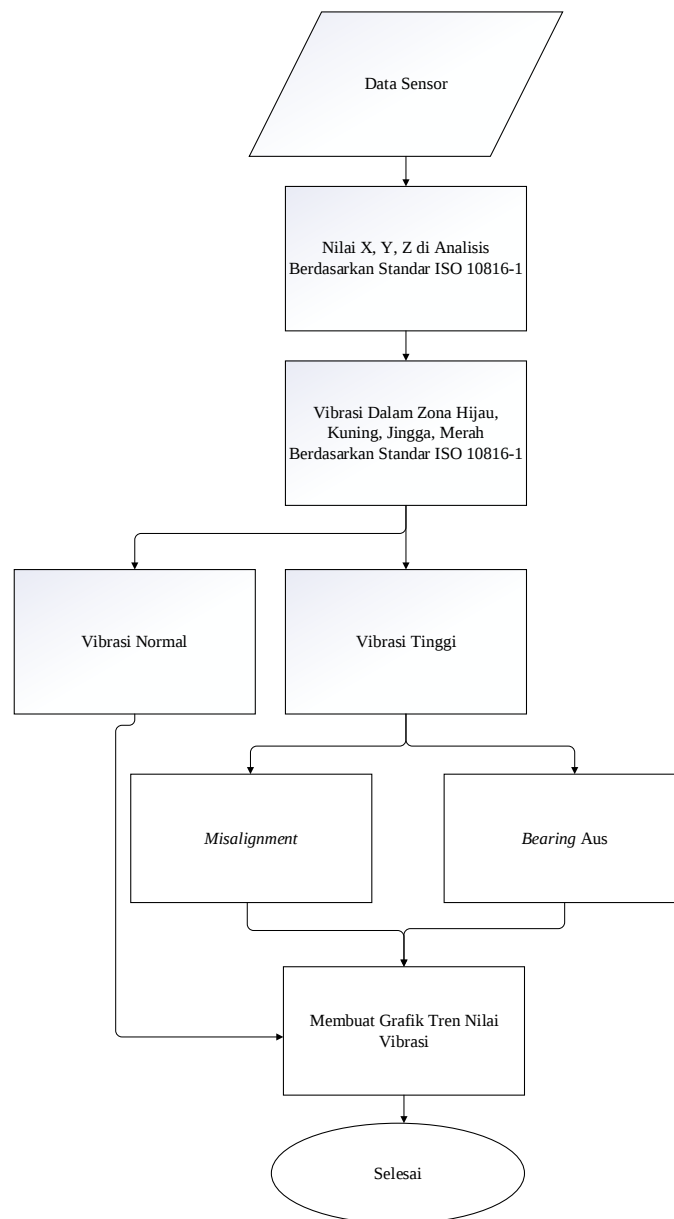
Tabel 3. 9 Jitter

Waktu Pengamatan	Packet Dikirim	<i>Jitter</i>	Indeks	Tiphon

Seperti Pada Tabel Pengujian 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, tabel ini digunakan untuk mengevaluasi kehandalan sistem dalam mengirim dan menerima data melalui

jaringan. Dalam pengujian ini menggunakan evaluasi terhadap parameter *Quality of Service* (QoS) yang meliputi *latency*, *jitter*, *throughput* dan *packet loss*.

3.4 Analisa Data



Gambar 3. 8 Flowchart Analisa Data

Seperti pada gambar 3.8, analisa data dimulai dengan tahapan akuisisi data sensor yang kemudian diproses melalui komputasi nilai Root Mean Square (RMS) pada sumbu triaksial (X, Y, Z) serta dianalisis secara komparatif merujuk pada regulasi ISO 10816-1. Berdasarkan parameter standar tersebut, intensitas vibrasi diklasifikasikan ke dalam empat zona signifikansi, yaitu zona hijau, kuning, jingga, dan merah, untuk menentukan status fungsional komponen. Alur logika sistem kemudian memisahkan kondisi antara vibrasi normal dan vibrasi tinggi, di mana pada kondisi vibrasi tinggi dilakukan diagnosa spesifik terhadap potensi kegagalan mekanis berupa misalignment atau keausan bantalan (bearing aus). Seluruh hasil klasifikasi tersebut diintegrasikan ke dalam penyusunan grafik tren nilai vibrasi sebagai instrumen pemantauan kondisi berkelanjutan hingga seluruh rangkaian proses mencapai tahap penyelesaian.