



IMPLEMENTASI SISTEM PEMANTAUAN *REAL-TIME* GETARAN, SUHU, DAN KEBISINGAN MESIN REFRIGERASI BERBASIS WEB DENGAN MIKRO KONTROL

IMPLEMENTATION OF A WEB-BASED REAL-TIME MONITORING SYSTEM FOR VIBRATION, TEMPERATURE, AND NOISE OF REFRIGERATION MACHINES WITH MICROCONTROL

M. Zaki Latif Abrori^{1*}, Bobby Demeianto¹, Muhammad A. Idrus², Marsono Marsono³, Yasser Arafat⁴, Ade Hermawan⁵, Yani Nurita⁶

¹ Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai, Pangkalan Sesai, Dumai, Riau, Indonesia

² Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang, Bolok, Kupang Barat, NTT, Indonesia

³ Politeknik AUP kampus Tegal, Panggung, Tegal, Jawa Tengah, Indonesia

⁴ Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, Pallette, Bone, Sulawesi Selatan, Indonesia

⁵ Politeknik AUP kampus Jakarta, Ps. Minggu, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia

⁶ Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, Suprau, Sorong, Papua Barat, Indonesia

*Korespondensi: zaki.abrori@politeknikkpdumai.ac.id (MZL Abrori)

Diterima 12 Juli 2025 – Disetujui 29 Oktober 2025

ABSTRAK. Monitoring *real-time* terhadap getaran, temperatur dan *noise* pada mesin refrigerasi berbasis mikro kontrol masih jarang diungkapkan, walaupun memiliki peran penting dalam menjaga kinerja mesin serta mendukung pengambilan keputusan untuk perawatan prediktif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring berbasis mikro kontrol yang mampu mengukur dan mencatat parameter operasional mesin secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang memadai. Metode rancang bangun dengan mengembangkan prototipe menggunakan sensor akselerometer untuk deteksi getaran, termometer inframerah untuk pengukuran suhu, dan mikrofon elektret untuk pemantauan suara. Data diolah oleh mikro kontrol yang dilengkapi modul SD card untuk penyimpanan dan koneksi WiFi untuk akses jarak jauh melalui web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat ini mampu mendeteksi perubahan getaran dengan nilai *Mean Absolute Error* 0.34 m/s², temperatur dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* 1.35% dan memberikan data *real-time* yang dapat diakses secara nirkabel melalui perangkat lain yang terhubung dalam jaringan WiFi. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan solusi monitoring yang meningkatkan efisiensi operasional, meminimalkan risiko *downtime*, serta mendukung pengelolaan dan perawatan mesin refrigerasi secara optimal.

KATA KUNCI: Getaran, kebisingan, mikro kontrol, pemantauan waktu, sensor, temperatur.

ABSTRACT. *Real-time* monitoring of vibration, temperature, and noise in refrigeration machines using microcontrollers is still rarely discussed, although it plays a crucial role in maintaining machine performance and supporting decision-making for predictive maintenance. This research aims to design and implement a microcontroller-based monitoring system capable of measuring and recording machine operational parameters in *real-time* with adequate accuracy. The system uses an accelerometer sensor for vibration detection, an infrared thermometer for temperature measurement, and an electret microphone for noise monitoring. The data is processed by a microcontroller equipped with an SD card module for storage and a WiFi connection for remote access via the web. The test results show that this device can detect changes in vibration with a *Mean Absolute Error* value of 0.34 m/s², temperature with a *Mean Absolute Percentage Error* value of 1.35%, and provides *real-time* data that can be accessed wirelessly through other devices connected to the WiFi network. The contribution of this research lies in providing a monitoring solution that improves operational efficiency, minimizes the risk of *downtime*, and supports the optimal management and maintenance of refrigeration machines.

KEYWORDS: Monitoring *real time*, vibration, temperature, noise, microcontroller, sensor.

1. Pendahuluan

Mesin refrigerasi pada industri perikanan berperan penting dalam mempertahankan kualitas ikan hasil tangkapan agar tetap segar hingga sampai di pelabuhan. Namun, mesin ini dapat mengalami kerusakan kapan saja, yang berpotensi menyebabkan *downtime* yang merugikan, menurunkan reputasi perusahaan, serta mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan bagi industri perikanan. Kerusakan pada kompresor refrigerasi khususnya menjadi tantangan besar karena perbaikan dan diagnosis kegagalan memerlukan keterampilan tinggi dari para teknisi dan peneliti. Kerusakan tersebut sering kali dapat dideteksi lebih awal melalui pemantauan parameter seperti getaran (vibrasi), suhu (temperatur), dan kebisingan (*noise*), yang merupakan indikator penting dalam mendeteksi kondisi abnormal pada mesin. Berdasarkan latar belakang tersebut sehingga diperlukan perangkat yang mampu mengidentifikasi anomali operasional secara lebih dini agar keandalan mesin tetap terjaga dan potensi kerugian dapat diminimalkan.

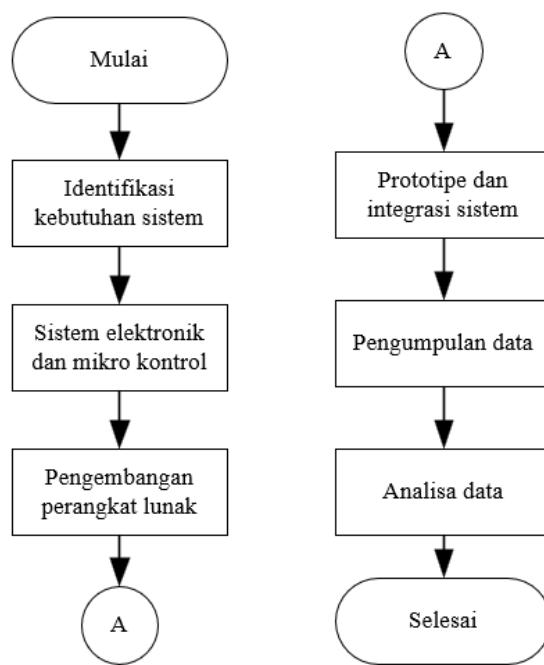
Beberapa studi terdahulu yang telah dilakukan dan banyak berfokus pada pemantauan mesin industri dan transportasi melalui pengamatan getaran, temperatur, dan suara. Seperti Buwarda *et al.*, (2023), misalnya, meneliti motor induksi tiga fase dengan memantau getaran, temperatur, dan arus listrik untuk mendeteksi gejala awal kerusakan. Studi ini mengidentifikasi getaran abnormal sebagai indikator utama kerusakan mesin, namun belum mencakup pemantauan *noise* yang juga berperan dalam performa motor. Penelitian Majid & Cahyono, (2022) melibatkan pengukuran tekanan, temperatur, dan getaran pada mesin, yang mampu memberikan peringatan dini jika terjadi gangguan. Namun, *noise* sebagai tanda tambahan dalam mendeteksi kegagalan belum dijadikan bagian dari pemantauan. Studi dari Triwijaya, (2023) berhasil merancang sistem pemantauan kebisingan khusus untuk sarana kereta api menggunakan sensor *noise*. Sayangnya, sistem ini tidak mencakup data temperatur dan getaran, yang seharusnya juga diperhatikan dalam menganalisis tanda-tanda kerusakan mesin. Menurut Xu *et al.*, (2022) berfokus pada pola getaran mesin berputar sebagai indikator kegagalan awal, namun tanpa mempertimbangkan temperatur dan *noise* yang dapat memberikan hasil lebih komprehensif. Karabacak *et al.*, (2022) menggunakan kombinasi pemantauan getaran, *noise*, dan temperatur pada gearbox untuk mendeteksi kerusakan dengan lebih akurat. Walaupun metode ini cukup efektif, pengujinya belum dilakukan pada mesin refrigerasi yang memiliki tantangan lingkungan yang berbeda. Hasil penelitian Noh & Lee, (2021) juga memantau kondisi peralatan mikro dengan getaran dan *noise*, tetapi tidak memasukkan temperatur sebagai parameter yang dapat membantu dalam prediksi masa pakai peralatan. Secara umum, meskipun telah banyak penelitian yang menggabungkan beberapa parameter seperti getaran, temperatur, dan *noise*, sebagian besar belum diterapkan pada mesin refrigerasi yang bekerja pada industri perikanan. Mesin refrigerasi memerlukan sistem pemantauan khusus yang bisa diandalkan dalam kondisi bergetar dan temperatur untuk memastikan mesin refrigerasi tetap beroperasi optimal.

Berbagai kajian literatur yang telah dibahas, jelas terlihat adanya beberapa celah atau kekurangan dalam penelitian-penelitian sebelumnya terkait pemantauan kondisi mesin. Meskipun beberapa studi telah berhasil memonitor parameter getaran, temperatur, dan *noise*, kebanyakan masih terbatas pada lingkungan industri atau transportasi darat. Belum banyak penelitian yang memfokuskan pengembangannya pada mesin refrigerasi di industri perikanan yang memiliki tantangan operasional berbeda. Selain itu, beberapa penelitian hanya berfokus pada satu atau dua parameter monitoring, sehingga potensi kegagalan mesin tidak dapat diidentifikasi secara baik. Padahal, dengan mengombinasikan ketiga parameter getaran, temperatur, dan *noise* dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai kondisi mesin untuk membantu mendeteksi kerusakan lebih dini (Farhan *et al.*, 2023; Karyatanti *et al.*, 2022). Penelitian ini berupaya untuk mengisi celah tersebut dengan mengembangkan perangkat monitoring yang memadukan ketiga parameter tersebut, khususnya untuk mesin refrigerasi pada industri perikanan. Upaya ini diharapkan dapat membantu dengan pengumpulan data operasional mesin sebagai bahan perawatan prediktif mesin refrigerasi yang dapat mengurangi risiko *downtime*, serta memperpanjang masa operasional mesin.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian bertujuan untuk merancang dan mengembangkan perangkat pencatat kondisi mesin pendingin yang mampu memonitor vibrasi, temperatur, dan *noise* secara *real-time* yang dapat diakses dengan mudah. Alat ini diharapkan mampu memudahkan teknisi dalam mendeteksi kemungkinan kegagalan pada mesin sehingga perawatan prediktif mesin refrigerasi menjadi lebih efisien dan efektif dalam mencegah *downtime* atau kerusakan mendadak. Alat ini juga dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan perawatan yang akurat dan meningkatkan keandalan mesin.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dengan mengembangkan prototipe atau model instrumen pengukuran. Objek yang digunakan dalam penelitian ini modul elektronika, dipilihnya perangkat modular ini karena kemudahan dalam penggunaannya, kemudahan dalam mengatasi kegagalan, apabila modul ini tidak berfungsi maka cukup mengganti dengan modul yang berfungsi (Gumulya, 2023; Huda et al., 2020). Model ini sangat cocok untuk rancang bangun yang berpotensi mengalami kegagalan dalam pelaksanaannya. Beberapa tahapan dilakukan secara berurutan seperti ditunjukkan pada **Gambar 1** untuk memastikan perangkat yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 1. Flow Chart Pelaksanaan Penelitian.

2.1. Modul Sensor dan Mikro Kontrol

Tahap pertama dilakukan adalah mengidentifikasi kebutuhan sistem monitoring kondisi mesin adalah menentukan parameter yang diperlukan. Berdasarkan tujuan yang diharapkan maka diperlukan beberapa modul yang mampu memantau kondisi mesin melalui parameter getaran (vibrasi), temperatur, dan kebisingan (*noise*). Sensor ADXL345 dipilih karena dengan sensitivitasnya yang baik dan sensor ini mampu mendeteksi getaran dalam waktu mili detik (Rizaldi et al., 2022), begitu juga dengan Wang et al., (2021) dan Susanto et al., (2020) dengan sensor yang sama mampu mengidentifikasi berbagai informasi kegagalan dengan mengumpulkan *vibration signal* pada sistem *gearbox* dan motor listrik.

Temperatur salah satu parameter yang terpengaruh apabila ada kendala fisik pada benda yang bergerak. Sensor temperatur MLX90614 digunakan karena mampu mendeteksi temperatur menggunakan teknologi inframerah (IR) untuk mengukur suhu tanpa harus menyentuhnya, rentang

pengukuran dari -70°C hingga 382,2°C serta suhu lingkungan dari -40°C hingga 125°C (Arifin et al., 2023). Sensor ini memiliki akurasi yang baik karena dilengkapi ADC (*Analog-to-Digital Converter*) 17-bit yang mampu memberikan resolusi pengukuran hingga 0,14°C (Albianto, 2023).

Kebisingan merupakan petunjuk awal adanya permasalahan pada mesin, seperti gesekan yang tidak biasa, atau bagian yang aus. Sensor KY037 dipilih karena kemampuannya mengenali perubahan dalam intensitas suara yang dapat diatur dan akurasinya yang baik (Ahmad Faqih Supriyadin et al., 2024; Pamungkas et al., 2023). Kelebihan komponen ini adalah kemampuannya mendeteksi suara dengan sensitivitas yang dapat diatur. Sensor ini cukup sederhana dan mudah digunakan serta kemampuannya yang andal.

Sinyal yang dikeluarkan oleh sensor perlu diolah dan diterjemahkan agar dapat dimengerti oleh manusia. Mikro kontrol merupakan perangkat yang mampu menangani pekerjaan ini. ESP32 salah satu modul mikro kontrol dengan CPU inti ganda berarsitektur 32-bit yang beroperasi pada frekuensi 160 MHz, (Dwinanto & Yulianto, 2024; Sugandi et al., 2020). Kemampuan konektivitas nirkabel merupakan salah satu kelebihan perangkat ini untuk terhubung ke perangkat lain secara nirkabel, yang memudahkan transfer data tanpa kabel (Effendi & Saryadi, 2023; Nailurrohman et al., 2024). Selain itu, data-data yang dihasilkan perlu disimpan dalam format yang terstruktur dan mudah diakses seperti file CSV, sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut atau sebagai dasar dalam perawatan prediktif.

2.2. Pengembangan Perangkat Lunak, Prototipe dan Integrasi Sistem

Pengembangan perangkat lunak dialukan dengan bahasa C++ menggunakan Arduino Ide, platform ini dipilih karena kemampuannya digunakan untuk membuat program, serta kemudahannya dalam membuat *debugging* dan perbaikan program (Afhrila & Hidayat, 2023), fokus utama adalah merancang program yang dapat membaca, menyimpan, dan mengolah data dari sensor-sensor yang memantau kondisi mesin. Program ini dibuat untuk menyimpan data secara otomatis dalam format file CSV untuk memudahkan evaluasi data historis mesin.

Tahap pembuatan prototipe sistem elektronik yang sebelumnya telah dirancang mulai diterapkan. Setiap modul ditempatkan pada *breadboard* lalu dihubungkan sesuai rancangan elektronik menggunakan kawat tembaga. Selanjutnya, program perangkat lunak yang telah dikembangkan diunggah ke mikro kontrol sehingga seluruh sistem dapat berfungsi sesuai rencana. Langkah ini dilakukan untuk memeriksa fungsi keseluruhan sistem, mempermudah koneksi antar komponen, dan mempercepat perbaikan jika terjadi masalah (Akbar & Chusyairi, 2021). Jika pengujian pada *breadboard* menunjukkan hasil yang memuaskan, langkah berikutnya adalah memasang semua modul dan mikro kontrol yang telah diprogram ke papan PCB berlubang, kemudian disambungkan Pin komponen menggunakan kawat tembaga secara permanen melalui proses solder dan di tempatkan pada kotak elektronik.

2.3. Uji Coba Perangkat

Pengujian dilakukan dalam kondisi sebenarnya pada kompresor mesin refrigerasi untuk melihat apakah sistem dapat berfungsi pada kondisi yang sebenarnya, termasuk getaran, suhu yang tinggi, dan kebisingan. Di tahap ini juga, konektivitas nirkabel diuji untuk memastikan hasil pengukuran dapat diakses dari jarak jauh melalui *device* yang berbeda. Hasil pengujian ini digunakan sebagai umpan balik, dan jika ditemukan ketidaksesuaian atau masalah, perbaikan dapat dilakukan sebelum sistem diterapkan sepenuhnya.

Sebelum perangkat ini digunakan hasilnya dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan sensor dengan hasil pengukuran alat ukur referensi yang terkalibrasi pada objek dan waktu yang sama untuk mengetahui nilai *error* (persamaan 1) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) penilaian ini untuk mengukur rata-rata kesalahan absolut antara hasil pengukuran alat uji coba dan nilai acuan yang

ditampilkan pada persamaan 2 (Ulfa et al., 2023). Semakin kecil nilai MAPE, semakin tinggi tingkat keakuratan alat uji.

$$Err_X = |X_{sensor} - X_{referensi}| \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - x_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan tersebut dengan ketentuan y_i merupakan nilai yang didapatkan dari alat yang sudah dikalibrasi, sementara x_i merupakan nilai yang ditampilkan pada alat prototipe yang dibuat sedangkan n merupakan jumlah total pengukuran yang dilakukan.

2.4. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan pada mesin kompresor di mesin refrigerasi. Sensor ditempatkan pada bagian mesin yang berdekatan dengan bantalan yang terhubung dengan mesin penggeraknya. Posisi ini dipilih karena sumber getaran, temperatur dan noise mesin berada pada bagian yang berputar dan bagian awal mesin bergerak ada pada poros yang terhubung dengan motor penggerak.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang perangkat pemantau mesin dengan mengikuti langkah-langkah yang telah direncanakan dalam metode penelitian. Setiap langkah dilakukan secara terstruktur untuk memastikan keberhasilan penelitian, dan hasilnya disajikan dengan jelas.

3.1. Merancang Sistem Elektronik dan Mikro Kontrol

Perangkat pemantauan ini memanfaatkan sejumlah modul sensor yang dirancang untuk mendekripsi perubahan parameter fisik seperti getaran, suhu, dan suara. Sensor-sensor tersebut menangkap perubahan tersebut dan mengonversinya menjadi sinyal elektronik yang kemudian diproses oleh mikro kontrol. Daftar sensor yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 yang mengacu pada Analog Devices, (2008); Melexis Technologies NV, (2019); Generic Manufacturer, (2020)

Tabel 1. Parameter Sensor yang Digunakan.

Parameter	ADXL345	MLX90614	KY-037
Fungsi	Mengukur getaran	Mengukur suhu	Mendeteksi suara
Tipe Sensor	akselerometer 3 sumbu	Sensor inframerah	Mikrofon elektret
Rentang Pengukuran	$\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$	-70°C hingga 380°C	Nilai ADC: 889–4000 (analog output)
Resolusi	10-bit	0,02°C	Tidak spesifik
Antarmuka	I2C, SPI	I2C	Analog dan Digital
Tegangan	1,8V–3,6V	3,6V–5V	3,3V–5V
Frekuensi	Hingga 3200 Hz	10 Hz (default)	Bergantung pada mikrofon
Sampling			
Keunggulan	Sensitivitas tinggi, hemat energi	Akurat untuk aplikasi tanpa kontak	Mudah digunakan, cocok untuk suara

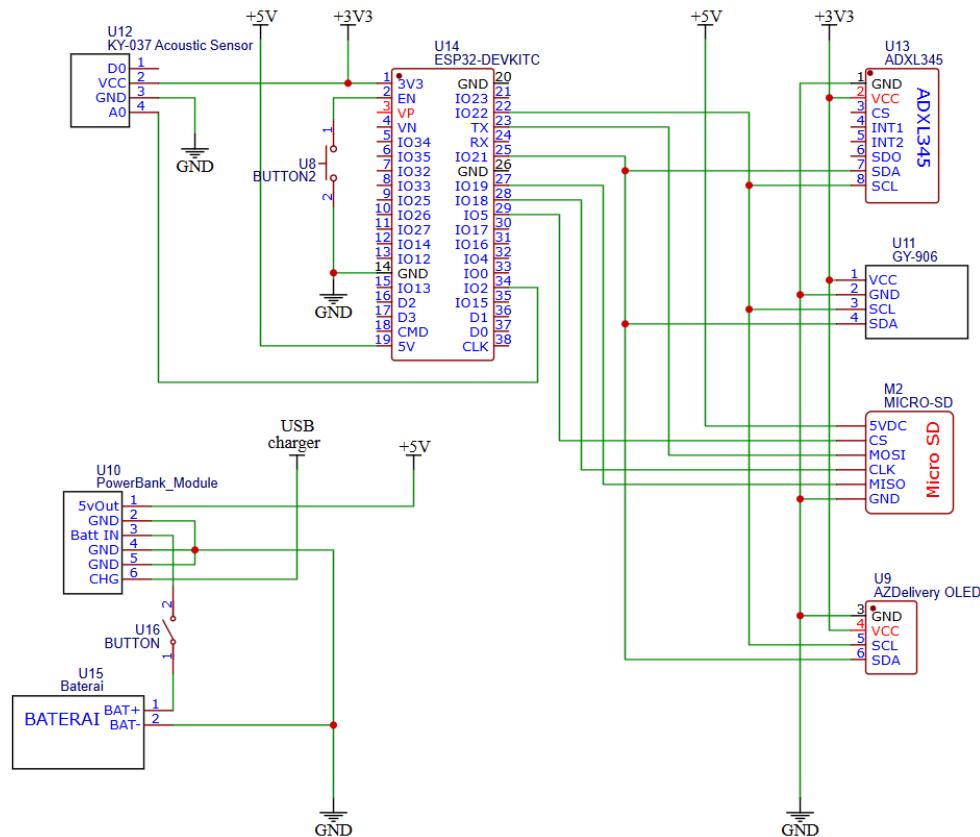
Ketiga sensor ini memiliki jenis koneksi yang berbeda sesuai dengan cara kerjanya. Sensor ADXL345 dan MLX90614 menggunakan komunikasi digital melalui protokol I2C, sehingga keduanya terhubung ke Pin digital pada mikro kontrol. Sementara itu, sensor KY-037 dihubungkan ke Pin analog

untuk membaca perubahan tegangan yang mencerminkan intensitas suara. Kombinasi ketiga sensor ini dapat bekerja dengan mikro kontrol untuk menghasilkan nilai baca parameter mesin.

3.2. Sistem Elektronik dan Mikro Prosesor

Sistem elektronik dan mikro kontrol pada perangkat monitoring ini dirancang untuk mengintegrasikan sensor ADXL345 untuk getaran, MLX90614 untuk suhu tanpa kontak, dan KY-037 untuk kebisingan. Seluruh data dari ketiga sensor diproses oleh ESP32 Dev Kit, kemudian ditampilkan melalui OLED serta dikirimkan melalui WiFi agar dapat dipantau perangkat lain. Data juga disimpan dalam format CSV pada microSD untuk analisis lanjutan. Sistem ini dirancang bekerja pada tegangan 3,3V dan 5V guna memastikan kompatibilitas seluruh komponen.

Perancangan sistem elektronika dilakukan mengikuti *datasheet* setiap modul Analog Devices, (2008); Melexis Technologies NV, (2019); Generic Manufacturer, (2020). Tegangan yang digunakan disesuaikan dengan tegangan kerja tiap modul, sumber tegangan didapatkan dari baterai Li-Ion 3.7 VDC, dari baterai di hubungkan dengan modul power. Tegangan dari modul power digunakan untuk suplai tegangan mikro kontrol ESP32 melalui GPIO 5V dan modul Micro SD card melalui PIN VCC, sedangkan modul sensor dibangkitkan melalui tegangan 3.3VDC yang dihasilkan oleh modul ESP32. modul yang bekerja menggunakan protokol komunikasi I2C yaitu sensor akselerator, sensor temperatur dan modul OLED *display*, sedangkan *micro SD card* modul bekerja menggunakan protokol komunikasi SPI lalu sensor suara dihubungkan dengan koneksi analog seperti ditunjukkan pada Gambar 2...



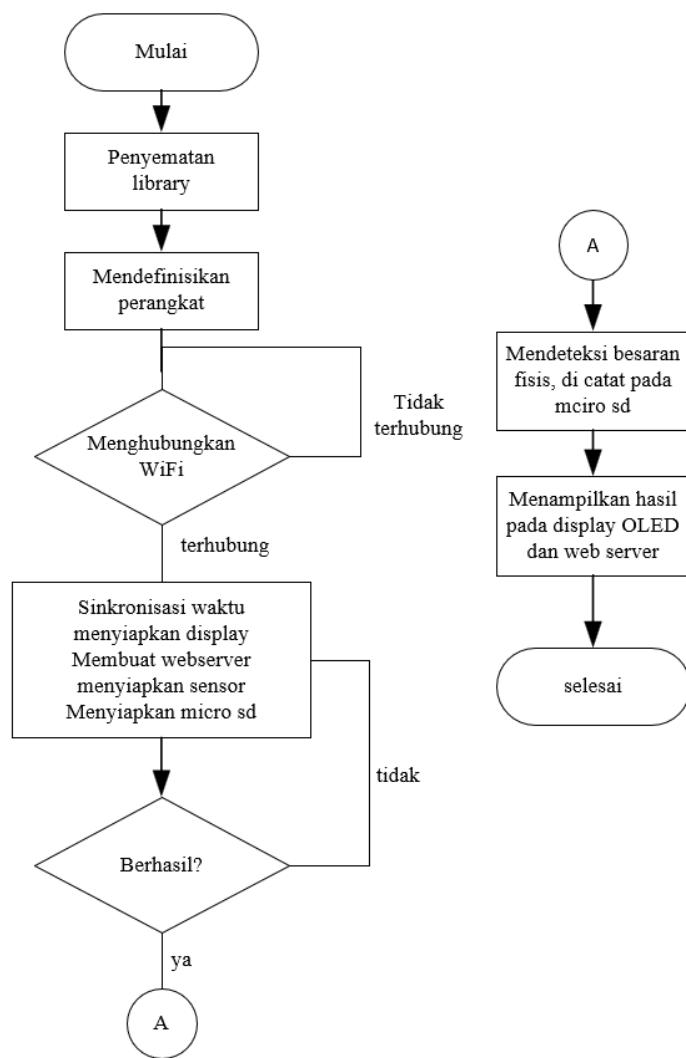
Gambar 2. Skema Rangkaian Modul Elektronik.

3.3. Mengembangkan Perangkat Lunak (Software)

Sebelum dilakukan pemrograman, terlebih dahulu membuat rencana kerja program yang akan disematkan pada mikro kontrol agar tahapan perangkat lunak yang dibuat berjalan sesuai alur yang runut. Adapun urutan kerja program tersebut dibuat seperti pada **Gambar 3** diagram alir seperti yang

dilakukan Rizaldi et al., (2022) diagram alir ini memudahkan dalam melakukan perencanaan sehingga program berjalan runut.

Pemrograman menggunakan beberapa *library* dengan yang diawali dengan perintah #include. Tahapan selanjutnya dengan mendefinisikan konstanta untuk memudahkan dalam membuat perintah. Urutan selanjutnya yang perlu di lakukan seperti pada **Gambar 3** adalah menghubungkan mikro kontrol pada jaringan WiFi dengan pasti untuk mencegah perangkat bekerja tanpa pengawasan melalui perangkat lain, kemudian membuat program untuk menyiapkan komponen menjalankan tugasnya dengan pasti, apabila ada salah satu modul yang tidak bekerja maka alat tidak menjalankan pekerjaan selanjutnya untuk mencegah program bekerja dengan hasil yang tidak sesuai. Pada tahap ini sensor digunakan untuk menangkap besaran fisis dan dipadukan dengan mikro kontrol. Pemrograman dilakukan pada komputer dengan menggunakan beberapa library "Adafruit_Sensor", "Adafruit_ADXL345", "OneWire", dan *library* lainnya yang digunakan seperti yang dilakukan oleh .



Gambar 3. Diagram Alir Program Perangkat Lunak.

3.4. Prototipe dan Integrasi Sistem

Tahap ini mengimplementasikan hasil rancangan sistem elektronik dengan menempatkan modul pada papan *bread board* lalu di hubungkan dengan kawat tembaga sesuai pada **Gambar 2**, selanjutnya mengunggah hasil pengembangan perangkat lunak yang telah di buat sebelumnya melalui kabel USB data. Setelah itu mengamati dan memastikan semua bekerja, sensor mendeteksi, *micro SD* mencatat,

display bekerja dan mampu memancarkan sinyal informasi melalui WiFi. Prototipe ini berhasil seperti yang dilakukan Rizaldi *et al.*, (2022) bahwa sensor dapat bekerja dengan mikro kontrol dan berhasil mencatat nilai dan di tampilkan pada monitor. Hasil rancangan dipastikan bekerja dengan baik lalu dilanjutkan dengan mengimplementasikan dalam bentuk prototipe. Tahap pembuatan prototipe dengan menempatkan setiap modul pada papan PCB lubang dan dihubungkan dengan kawat tembaga kemudian disolder. Rangkaian modul ini dibagi menjadi dua bagian, yang masing-masing ditempatkan di dalam kotak, seperti terlihat pada **Gambar 4** di bawah kotak terpisah ini seperti yang dilakukan oleh Rahmawati *et al.*, (2022) memudahkan dalam alat saat operasionalnya.

Kotak pertama digunakan untuk menempatkan modul sensor akselerometer, sensor temperatur dan sensor suara yang nantinya ditempatkan pada mesin yang akan di monitor. Sedangkan kotak kedua digunakan untuk menempatkan komponen dan modul lain seperti baterai, modul *charger*, mikro kontrol, *display*, modul *micro SD* dan tombol kontrol, kedua kotak tersebut di hubungkan dengan plug konektor 6 pin dan kabel AWG.



Gambar 4. Prototipe Hasil Rancangan Instrumen.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa data fisik yang diproses oleh mikro kontrol berhasil ditampilkan secara akurat melalui modul monitor pada kotak kedua. Modul ini mampu menyajikan data dengan respons cepat setiap 0,2 detik. Layar *display* menampilkan berbagai informasi, termasuk waktu pengukuran (tanggal dan jam), nilai akselerometer pada sumbu X, Y, dan Z dalam satuan m/s^2 , temperatur lingkungan (*ambient*) dan objek dalam $^{\circ}\text{C}$, serta respons suara yang terdeteksi oleh sensor KY-037 (**Gambar 5**).

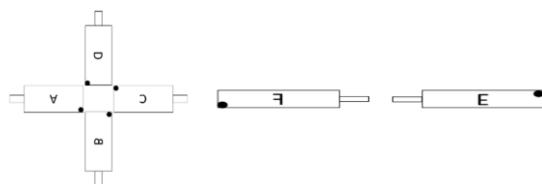


Gambar 5. Tampilan Hasil Pengukuran Pada Display OLED dan Mobile Device.

Selain melalui *display*, data tersebut juga dapat diakses melalui browser perangkat lain yang terhubung ke jaringan WiFi. Namun, respons pembaruan data pada browser memiliki jeda sekitar 1-2 detik, berbeda dengan kecepatan pembaruan pada *display* yang *real-time* setiap 0,2 detik. Meski begitu, pencatatan data pada *micro SD* tetap konsisten dengan interval 0,2 detik sesuai dengan perintah yang diberikan.

3.5. Pengujian Perangkat

Perangkat yang telah dibuat dilakukan pengujian untuk memastikan alat yang digunakan sesuai mendapatkan nilai yang sesungguhnya. posisi sensor ADXL telah di tempatkan posisinya sehingga ketika posisi sensor di letakkan tepat pada posisi sumbu 3 dimensi X, Y dan Z sedangkan untuk memastikan posisi sensor dilakukan beberapa pengamatan melalui pengamatan hasil pembacaan sensor seperti di tunjukkan pada **Gambar 6** berikut.



Gambar 6. Posisi Pengambilan Sampel Sensor ADXL345.

Pengujian ini menunjukkan ketika sensor di tempatkan pada bidang diam dengan berbagai posisi nilai akselerometer dan didapatkan nilai *absolute error* di tunjukkan pada tabel 2, dan ini sesuai bahwa di permukaan datar (posisi E) sumbu X dan Y menunjukkan angka 0 dan sumbu Z menunjukkan angka 9.82 m/s^2 (Rahayu et al., 2024; Rodrigues et al., 2021), ini artinya rata-rata kesalahan sensor sekitar 0.34 m/s^2 dari nilai seharusnya ($\pm 3\text{--}4\%$ dari 9.82 m/s^2), sehingga akurasinya bisa dianggap cukup baik.

Tabel 2. Nilai Akselerometer Dari Sensor ADXL 345 di Berbagai Posisi.

Posisi	Nilai error sumbu		
	Err_X (m/s2)	Err_Y (m/s2)	Err_Z (m/s2)
A	0.93	0.53	0.45
B	0.02	0.73	0.24
C	0	0.04	0.02
D	0.53	0.10	0.31
E	0.47	0.24	0.41
F	0.31	0.24	0.50

Pengujian suhu dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor dengan termometer alkohol sebagai acuan referensi. Proses pengujian dilakukan pada jarak 1 mm antara sensor dengan objek yang diuji sedangkan termometer alkohol menyentuh pada objek yang diukur. Semua hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian disajikan secara rinci pada tabel **Tabel 3** berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Temperatur Dengan Sensor MLX90614 (x) dan Termometer Alkohol (y)

Pengukuran	x (°C)	y(°C)	S (°C)	APE (%)
1	80.65	80	0.65	0.8%
2	75.73	75	0.73	1.0%
3	71.15	70	1.15	1.6%
4	66.42	65	1.42	2.2%
5	61.02	60	1.02	1.7%
6	55.97	55	0.97	1.8%
7	45.65	45	0.65	1.4%
8	40.63	40	0.63	1.6%
9	34.99	35	0.01	0.0%
10	29.59	30	0.41	1.4%

Pada pengukuran pertama, Sensor MLX mendeteksi temperatur sebesar 80.65°C, sedangkan termometer alkohol menunjukkan nilai 80°C. Selisihnya (S) hanya 0.65°C, dengan APE sebesar 0.8%. Secara keseluruhan dari 10 pengukuran ini mendapatkan nilai APE berada di antara 0.0% sampai 2.2%, sedangkan Nilai MAPE dari 10 pengukuran pada tabel 4 adalah 1.35%. Artinya selisih antara hasil pengukuran sensor dan termometer tetap termasuk pada nilai yang kecil, nilai ini tidak jauh berbeda dengan yang dilakukan oleh (Hayder Fadil Jawad et al., 2022) dengan akurasi hingga 1.21%. Sensor *noise* digunakan untuk menangkap respons suara, hasil yang didapatkan merupakan nilai tegangan analog yang dihasilkan oleh sensor KY037. Nilai respons ini yang digunakan untuk mendeteksi perubahan suara yang kemudian diterima oleh mikro kontrol dalam bentuk tegangan *output* sebagai respons pada intensitas suara yang ditangkap oleh sensor. Besarnya *noise* diukur berdasarkan perbandingan antara tegangan *output* KY-037 dengan tegangan *input*. KY-037 menghasilkan sinyal analog yang diukur dalam satuan 12-bit.

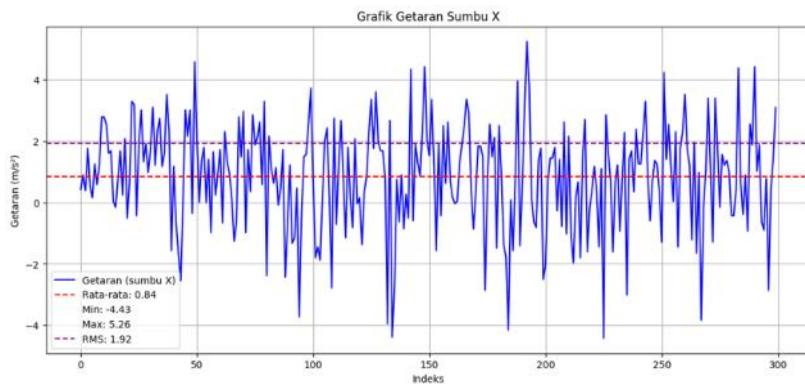
3.6. Pembahasan Hasil Rancangan

Pengukuran dilakukan pada mesin kompresor mesin refrigerasi yang sedang beroperasi, sensor ditempatkan pada beberapa tempat seperti bagian kompresor yang dekat dengan bantalan sumber getaran mesin yaitu pulley (**Gambar 7**), karena kemampuannya mengukur 3 sumbu, maka pengukuran ini menghasilkan pengukuran getaran sumbu x, sumbu y dan sumbu z temperatur serta *noise* mesin.

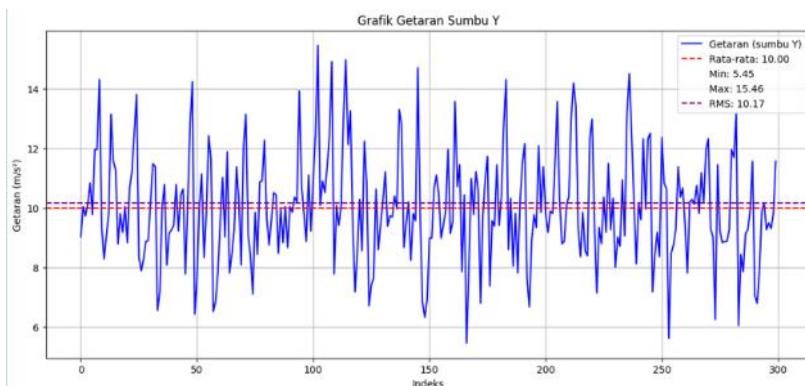


Gambar 7 Posisi Sensor Mendeteksi Getaran, Temperatur Dan Noise Pada Mesin Kompressor.

Penelitian ini menganalisis karakteristik getaran pada sumbu X berdasarkan parameter-parameter seperti rata-rata (average), minimum (min), maksimum (max), root mean square (RMS), peak-to-peak (P2P), dan standar deviasi (SD) seperti ditunjukkan pada **Gambar 8**. Nilai rata-rata getaran sumbu X sebesar 0.842 m/s² hal ini menunjukkan secara keseluruhan tingkat getaran sumbu X tergolong rendah dan stabil. Adanya fluktuasi getaran dengan nilai min sebesar -4.43 m/s² dan max hingga 5.26 m/s² yang menghasilkan rentang P2P sebesar 9.69 m/s². Hal ini menunjukkan adanya perbedaan selama pengukuran, hal ini dapat terjadi karena berbagai kemungkinan seperti *misalignment*, bantalan hingga pulley seperti dituliskan oleh Taviana et al., (2023) dalam artikelnya. Pengukuran menghasilkan nilai RMS sebesar 1.9225 m/s² mengungkapkan tingkat energi getaran efektif, yang lebih tinggi dibandingkan nilai rata-rata. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun rata-rata getaran rendah, sistem mengalami intensitas energi yang signifikan akibat fluktuasi perubahan getaran.



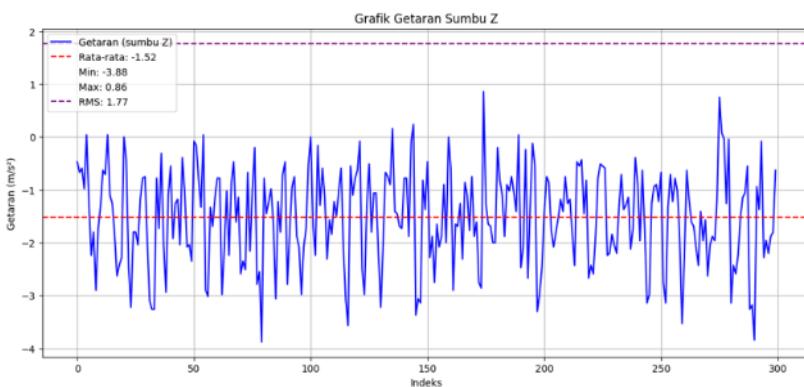
Gambar 8 Grafik Getaran Sumbu X Terhadap Indeks Pengukuran.



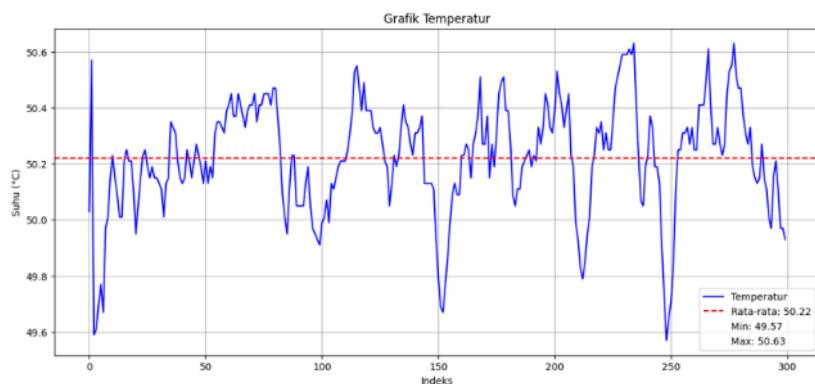
Gambar 9 Grafik Getaran Sumbu Y Terhadap Indeks Pengukuran.

Data hasil pengukuran getaran sumbu Y pada **Gambar 9** menunjukkan karakteristik yang cukup tinggi dengan rata-rata getaran sebesar 10.0035 m/s^2 , hal ini karena di pengaruhi oleh gravitasi sebesar 9.82 m/s^2 jika tanpa dipengaruhi gravitasi getaran berada pada angka 0.813 m/s^2 . Gambar tersebut menunjukkan variasi getaran dengan nilai min 5.45 m/s^2 dan max 15.46 m/s^2 , menghasilkan rentang P2P sebesar 10.01 m/s^2 . Sedangkan nilai RMS sebesar 10.1695 m/s^2 menggambarkan tingkat energi efektif getaran pada sumbu Y. RMS yang mendekati nilai rata-rata menunjukkan bahwa energi getaran sistem tersebut merata tanpa adanya lonjakan yang besar, hal ini diperkuat oleh nilai standar deviasi 1.8327 m/s^2 yang mengindikasikan bahwa variasi getaran di sekitar rata-rata relatif kecil dan terkendali.

Hasil pengukuran getaran sumbu Z (**Gambar 10**), nilai rata-rata sebesar -1.5165 m/s^2 menunjukkan getaran cenderung bergerak ke arah negatif. Hal ini mengindikasikan adanya dominasi pergerakan arah negatif pada sumbu Z, dominasi ini kemungkinan disebabkan efek gaya tarik *v belt* pada pulley yang terhubung ke motor penggerak yang ada di sisi negatif sumbu Z. Nilai min -3.88 m/s^2 dan max 0.86 m/s^2 menunjukkan adanya fluktuasi dengan total rentang P2P sebesar 4.74 m/s^2 . Rentang ini lebih kecil dibandingkan dengan sumbu X dan Y yang mengindikasikan tingkat variasi getaran pada sumbu Z relatif lebih rendah. Begitu juga nilai RMS sebesar 1.7686 m/s^2 memberikan gambaran energi efektif dari getaran pada sumbu Z. Nilai ini sedikit lebih tinggi dari standar deviasi ($SD=0.9115 \text{ m/s}^2$), yang menunjukkan meskipun terdapat fluktuasi getaran, namun intensitas energi getaran masih terkendali. Rendahnya standar deviasi menandakan variasi getaran di sekitar rata-rata cukup kecil.

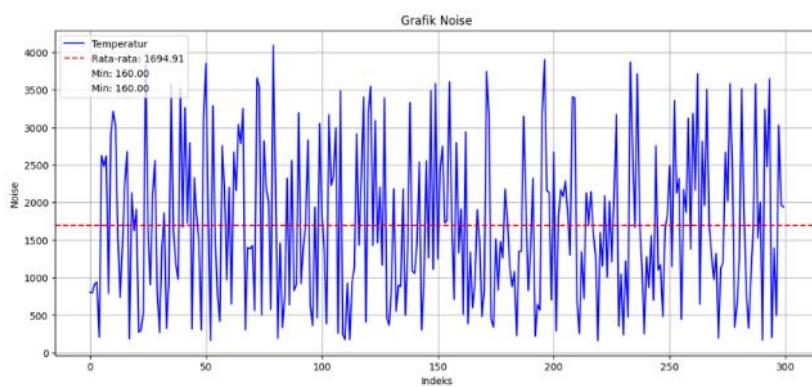


Gambar 10 Grafik Getaran Sumbu Z Terhadap Indeks Pengukuran.



Gambar 11 Grafik Temperatur Mesin Kompresor.

Temperatur operasi mesin kompresor **Gambar 11** yang diukur didapatkan rata-rata sebesar 50.22°C, nilai ini menunjukkan kompresor beroperasi pada suhu stabil, rata-rata dalam rentang ini menunjukkan pelumasan dan kondisi mekanis bantalan berada dalam keadaan baik, dengan suhu minimum 49.57°C dan maksimum 50.63°C. Perbedaan suhu P2P sebesar 1.06°C cukup kecil yang menandakan kestabilan termal yang baik, tidak ada lonjakan suhu yang berlebihan yang biasanya terjadi akibat gesekan tinggi, pelumasan yang buruk, atau kerusakan bantalan, sementara deviasi standar suhu berada pada 0.24°C, yang menunjukkan fluktuasi temperatur yang kecil.



Gambar 12 Grafik Noise Kompresor.

Berdasarkan data pengukuran noise (**Gambar 12**) pada mesin kompresor, nilai rata-rata tingkat kebisingan tercatat sebesar 1694.91. Tingkat kebisingan terendah yang tercatat adalah 160 ini terjadi karena mesin kompresor bekerja menghasilkan suara pada frekuensi rendah yang kurang sensitif terhadap mikrofon KY-037 sehingga nilai terdeteksi lebih rendah, sedangkan tingkat kebisingan tertinggi

mencapai 4095. Nilai standar deviasi sebesar 1043.17 yang mengindikasikan bahwa variasi data *noise* cukup tinggi, dengan sebagian besar data tersebut cukup jauh dari nilai rata-rata. Selain itu, nilai RMS (*Root Mean Square*) sebesar 1989.30 memberikan gambaran tentang tingkat kebisingan efektif yang dirasakan selama operasi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan perangkat monitoring kondisi mesin refrigerasi pada industri perikanan yang memadukan tiga parameter utama, yaitu getaran, temperatur, dan *noise*. Integrasi ketiga parameter ini menjadi pembeda utama dibanding penelitian sebelumnya yang umumnya hanya memfokuskan pada satu atau dua parameter saja, serta lebih banyak dilakukan pada mesin industri umum atau transportasi darat. Dengan adanya sistem pemantauan nirkabel berbasis real-time, perangkat ini tidak hanya mampu mendeteksi anomali operasional lebih dini, tetapi juga memberikan kemudahan akses data bagi teknisi untuk mendukung strategi perawatan prediktif pada mesin refrigerasi. Perangkat ini menggunakan sensor akselerator untuk mendeteksi getaran secara bersamaan pada tiga sumbu, IR untuk mengukur temperatur nirsentuh dan mikrofon elektret yang dapat mendeteksi suara serta ESP32 yang memiliki banyak fitur sebagai mikro kontrol pengolah sinyal. Hasil rancang bangun ini menghasilkan prototipe pengukuran dengan hasil yang memadai. Signifikansi yang dihasilkan adanya fitur pencatatan *real-time* yang memberikan data operasional secara terus-menerus. perangkat ini juga dapat diakses melalui jaringan WiFi yang memudahkan untuk memantau kondisi operasional mesin tanpa harus berada langsung dekat lokasi. Saran penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan dengan menguji perangkat pada berbagai jenis mesin refrigerasi dengan kapasitas dan kondisi operasional yang berbeda untuk meningkatkan reliabilitas sistem. Selain itu, analisis data monitoring dapat ditingkatkan melalui penerapan metode *machine learning*, sehingga perangkat mampu melakukan diagnosis kerusakan secara lebih cerdas dan akurat. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem pemantauan kondisi mesin refrigerasi yang lebih adaptif, akurat, dan aplikatif bagi industri perikanan.

Daftar Pustaka

- Afhrila, R., & Hidayat, R. (2023). Saklar Kontrol Hand Sanitizer Otomatis Menggunakan Jarak Pada Infrared Sensor Obstacle Avoidance. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(11), 232–244.
- Ahmad Faqih Supriyadin, Edi Kurniawan, & Eddi Eddi. (2024). Sistem Keselamatan Terhadap Kebisingan Di Kamar Mesin Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(2), 53–69. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i2.3755>
- Akbar, R., & Chusyairi, A. (2021). Rancang Bangun Dispenser Penuangan Air Minum Otomatis Berbasis Arduino Menggunakan Metode Prototype. *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (AJIEE)*, 3(2), 153–162.
- Albianto, M. D. (2023). Internet of Things (IoT) Based Temperature Monitoring System on The Low Voltage Sub-Distribution Panel (LVSDP) Busbar. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 3(2), 45–52.
- Analog Devices. (2008). ADXL345: Three-Axis $\pm 2/4/8/16g$ Digital Accelerometer – Preliminary Technical Data. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>
- Arifin, Z., Muliawati, F., & Irawan, J. (2023). Prototipe Gerbang Presensi Terintegrasi Alat Pemeriksaan Suhu Tubuh Berbasis Mikrokontroler. *JuTEKS (Jurnal Teknik Elektro Dan Sains)*, 10(1), 35–40.
- Buwarda, S., Lutfi, L., & Yaqin, M. A. (2023). Monitoring Suhu, Vibrasi dan Arus Motor Induksi 3 Fasa. *MUSTEK ANIM HA*, 12(02), 137–141.
- Dwinanto, B., & Yulianto, B. (2024). Rancang Bangun Repeater Lora Rfm95 Dengan Frekuensi 915 Mhz Berbasis Esp32. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 4(2), 109–125.

- Effendi, H., & Saryadi, R. M. (2023). Perancangan Sistem Deteksi Dan Pengenalan Perintah Suara Menggunakan Modul Esp 32 Dengan Metode Convolutional Neural Network (Cnn). *SA/INSTECH: JURNAL PENELITIAN DAN PENGKAJIAN SAINS DAN TEKNOLOGI*, 33(4).
- Farhan, V., Irianto, C. G., Kasim, I., & Sari, T. K. (2023). A Deteksi Kekurangan Pelumas Bearing untuk Mencegah Kerusakan pada Motor Induksi Kompresor Udara. *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 153–164.
- Generic Manufacturer. (2020). *KY-037 Highly Sensitive Microphone Sound Sensor Module -- Technical Specifications*. <https://components101.com/modules/kv-037-sound-detection-sensor-module>
- Gumulya, D. (2023). Rancangan Produk Daur Ulang Melalui Metode Circular Design. *Jurnal PATRA*, 5(1), 7–15. <https://doi.org/10.35886/patra.v5i1.480>
- Hayder Fadhil Jawad, Ali Al-Askery, & Adnan Hussein Ali. (2022). Design and Implementation of a Healthcare Monitoring System Based on LoRa. *Journal of Techniques*, 4(4), 80–94. <https://doi.org/10.51173/jt.v4i4.792>
- Huda, A. N., Imaduddin, I. R., Iskawanto, H. S., & Putra, R. G. (2020). Perancangan Solar Charge Controller Menggunakan Control Proportional Integral Derivative (PID) Pada Prototype Traffic Light. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, 5(2), 9–15.
- Karabacak, Y. E., Özmen, N. G., & Gümüşel, L. (2022). Intelligent worm gearbox fault diagnosis under various working conditions using vibration, sound and thermal features. *Applied Acoustics*, 186, 108463.
- Karyatanti, I. D. P., Zulkifli, R. S., Noersena, A., Purnomo, F. R., Dewantara, B. Y., & Wijayanto, A. (2022). Identification Of Ball Bearing Damage On Induction Motors Through Sound Signal Analysis. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 15(1), 33–38.
- Majid, I. N., & Cahyono, M. R. A. (2022). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Parameter Untuk Mendiagnosa Kondisi Mesin Kompresor Sentrifugal Berbasis Web. *Jurnal Instrumentasi Dan Teknologi Informasi (JITI)*, 4(1), 36–46.
- Melexis Technologies NV. (2019). *MLX90614: Infrared Thermometer Sensor for Contactless Temperature Measurements - Datasheet*. <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>
- Nailurrohman, M., Santoso, F., & Baijuri, A. (2024). Rancang Bangun Sistem Smart Key Pada Sepeda Motor Menggunakan Mikrokontroler Esp32 dan Android Via Bluetooth. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1759–1768.
- Noh, K., & Lee, C. (2021). Development of an Ignition System and Assessment of Engine Performance and Exhaust Characteristics of a Marine Gas Engine. *Sustainability*, 13(8), 4097. <https://doi.org/10.3390/su13084097>
- Pamungkas, G. S. G., Dewanto, Y., & Sukendar, T. (2023). Rancang Bangun Alat Pendekripsi Kebisingan Suara dan Peringatan Jam Perkuliahinan Otomatis. *JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI*, 12(2).
- Rahayu, R. A., Nurhanafi, K., Syahrir, S., & Zarkasi, A. (2024). Aplikasi Sensor Micro Electro Mechanical System (Mems) Accelerometer Berbasis IoT dalam Pengukuran Percepatan Maksimum Getaran Struktur Jembatan. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2).
- Rahmawati, Y., Simanjuntak, I. U. V., & Simorangkir, R. B. (2022). Rancang Bangun Purwarupa Sistem Peringatan Pengendara Pelanggar Zebra Cross Berbasis Mikrokontroller ESP-32 CAM. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 189–195.
- Rizaldi, D. M., Wisaksono, A., Saputra, D. H. R., & Ahfas, A. (2022). IoT-Based Car Monitoring Engine Mounting Design. *Procedia of Engineering and Life Science*, 2(2). <https://doi.org/10.21070/pels.v2i2.1190>

- Rodrigues, J. V. O., Pedroso, M. P. G., Silva, F. F. B., & Junior, R. G. L. (2021). Performance evaluation of accelerometers ADXL345 and MPU6050 exposed to random vibrational input. *Research, Society and Development*, 10(15), e286101523082–e286101523082.
- Sugandi, B., Satria, M. H., Arif, H., Nelmiawati, N., & Mulyadi, I. H. (2020). Low Cost Wireless ECG Patch Using ESP32. *JURNAL INTEGRASI*, 12(1), 31–35. <https://doi.org/10.30871/ji.v12i1.1764>
- Susanto, M., Saputra, R., Herlinawati, Savetlana, S., & Alam, S. (2020). Prototype of Sensor Node for Low-Cost Machine Vibration Monitoring System Using Accelerometer Sensor. *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, 222–226. <https://doi.org/10.1109/Comnetsat50391.2020.9328973>
- Tauvana, A., Rachmanu, F., Nulhakim, L., & Mulyani, Y. (2023). Predictive Maintenance Mechanical Looseness Pada Poros Berputar Berbasis Lab View. *Ramatekno*, 3(1), 1–9.
- Triwijaya, S. (2023). Design of Noise Level Measuring Instruments in Railway Facilities. *JREEC: Journal of Renewable Energy, Electronics and Control*, 3(2), 24–30.
- Ulfa, M. A., Dewi, I. A. S. K., & Darmawan, Y. (2023). Peramalan Produksi Pulp Menggunakan ARIMA dan Analisis Daya Saingnya di Pasar Internasional. *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis Digital (Ekobil)*, 2(2).
- Wang, A., Li, Y., Du, X., & Zhong, C. (2021). Diesel Engine Gearbox Fault Diagnosis Based on Multi-features Extracted from Vibration Signals. *IFAC-PapersOnLine*, 54(10), 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.137>
- Xu, Y., Tang, X., Feng, G., Wang, D., Ashworth, C., Gu, F., & Ball, A. (2022). Orthogonal on-rotor sensing vibrations for condition monitoring of rotating machines. *Journal of Dynamics, Monitoring and Diagnostics*, 1(1), 29–36.