

Pemantauan Vibrasi Dan Temperatur Motor Listrik Menggunakan Piezo, Ntc Sensor, Iot Esp32 Dan Analisa Regresi Guna Penentuan Waktu Tindakan Pemeliharaan

Windy Widayat, Moch Syahrir, M.Kom, Muhammad Zulfikri

Universitas Bumigora, Mataram, Indonesia

Correspondence : e-mail: windy.widayat@gmail.com

Abstrak

Motor listrik merupakan komponen vital dalam sistem pembangkitan dan perindustrian. Kerusakan umum pada bearing dan kumparan dapat menyebabkan biaya tinggi dan waktu henti produksi. Penelitian ini merancang alat pemantauan vibrasi dan temperatur motor listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor piezoelektrik dan thermistor NTC dengan mikrokontroler ESP32 serta komunikasi data berbasis MQTT yang dapat dimonitor secara real-time melalui antarmuka web. Data vibrasi kemudian dianalisis menggunakan regresi untuk memprediksi batas ambang dan waktu ideal tindakan pemeliharaan. Hasil pengujian menunjukkan deviasi maksimum sensor piezo sebesar 10% dibandingkan alat industri (VibExpert), dan sensor NTC memiliki deviasi maksimum $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$ terhadap termometer inframerah (FLIR). Analisis regresi memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) yang cukup signifikan pada tiga sumbu getaran, yang digunakan untuk menentukan waktu prediksi tindakan pemeliharaan. Sistem ini terbukti efektif sebagai alat bantu prediktif dalam pemeliharaan motor listrik.

Kata Kunci: Motor listrik, vibrasi, temperatur, IoT, ESP32, piezo, NTC, analisis regresi, MQTT, predictive maintenance.

Abstract

Electric motors are vital components in power generation and industrial systems. Common failures in bearings and windings can lead to high costs and production downtime. This study designs a vibration and temperature monitoring device for electric motors based on the Internet of Things (IoT), utilizing piezoelectric sensors and NTC thermistors with an ESP32 microcontroller and MQTT-based data communication, which can be monitored in real time through a web interface. The vibration data is then analyzed using regression to predict threshold limits and the optimal timing for maintenance actions. The test results show that the piezo sensor has a maximum deviation of 10% compared to industrial equipment (VibExpert), and the NTC sensor has a maximum deviation of $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ compared to an infrared thermometer (FLIR). Regression analysis yields significant coefficients of determination (R^2) across three vibration axes, which are used to determine the predicted timing for maintenance actions. This system has proven effective as a predictive tool in electric motor maintenance.

Keywords: Electric motor, vibration, temperature, IoT, ESP32, piezo, NTC, regression analysis, MQTT, predictive maintenance

1. Pendahuluan

Motor listrik memiliki peran penting dalam sistem industri, terutama dalam menggerakkan pompa dan kipas. Kerusakan pada bearing dan kumparan dapat mengakibatkan kerugian besar dan waktu henti sistem [13]. Oleh karena itu, pemantauan kondisi motor menjadi sangat penting, khususnya dalam mengawasi parameter vibrasi dan temperatur [8]. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pengawasan kondisi motor dilakukan secara real-time dan jarak jauh. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring menggunakan sensor vibrasi piezoelektrik dan sensor temperatur NTC yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 serta dilengkapi analisis regresi untuk menentukan prediksi waktu tindakan pemeliharaan berdasarkan data getaran.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem *Prototype* dengan tahapan pengembangan system sebagai berikut : analisis kebutuhan, perancangan system, pengembangan, pengujian, implementasi, pemeliharaan [1]

2.1 Analisis Kebutuhan (Requirement Analysis)

Tahap ini pengembang sistem diperlukan komunikasi yang bertujuan untuk memahami kebutuhan perangkat lunak maupun keras yang diharapkan oleh pengguna dan batasan perangkat lunak maupun keras tersebut. Adapun alat dan bahan yang diperlukan untuk perangkat keras dan lunak yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah :

- a. Perangkat Lunak yang digunakan

Tabel 1 Alat yang dibutuhkan

No	Nama	Fungsi
1	Motor Pompa listrik beserta instalasi	Sebagai tempat uji coba alat
2	Engravir	Untuk memberikan simulasi getaran pada sensor
3	Smartphone	Untuk memantau pembacaan nilai sensor pada web
4	Solder	Untuk merakit komponen
5	Lem G	Untuk menempelkan sensor padaudukan sensor
6	Obeng	Untuk membantu proses pemasangan sensor ke motor pompa
7	Kunci Pass	Untuk membantu proses pemasangan sensor ke motor pompa
8	Laptop	Untuk membuat Coding serta web
9	VPS	Untuk tempat server penyimpanan dan pengolahan data
10	Arduino Ide	Untuk tempat membuat coding microcontroller
11	Vistual Studio Code	Untuk Coding pembuatan web
12	Mosquito MQTT	Untuk transfer data ke VPS
13	PM2	Untuk mengelola dan menjaga aplikasi agar tetap online
14	Express JS	Untuk membangun web

- b. Perangkat Keras yang digunakan

Tabel 2 Bahan yang dibutuhkan

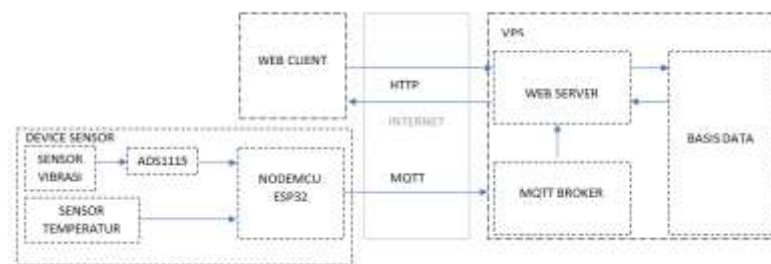
No	Nama	Fungsi
1	Sensor Piezo	Sebagai sensor yang merasakan vibrasi dari motor
2	Ads 115	Untuk mengkondisikan sinyal sebelum masuk ke node mcu agar tidak terdisrupsi dengan sinyal sumbu lain
3	Node MCU ESP32	Untuk mengolah konversi data dan mengirim ke vps
4	Thermistor NTC	Sebagai sensor yang merasakan temperatur dari motor

	10K	
5	Kabel Pelangi	Untuk menghubungkan node mcu dengan sensor
6	PCB Dot Matrix	Untuk tempat merakit node mcu, ads, serta resistor
7	Timah Solder	Untuk bahan solder
8	Resistor	Untuk membatasi tegangan yang dihasilkan

2.2 Perancangan Awal Sistem (Initial System Design)

Pada tahap ini, pengembang membuat desain sistem yang dapat membantu menentukan perangkat keras (hardware) dan sistem persyaratan dan juga membantu dalam mendefinisikan arsitektur sistem secara keseluruhan.

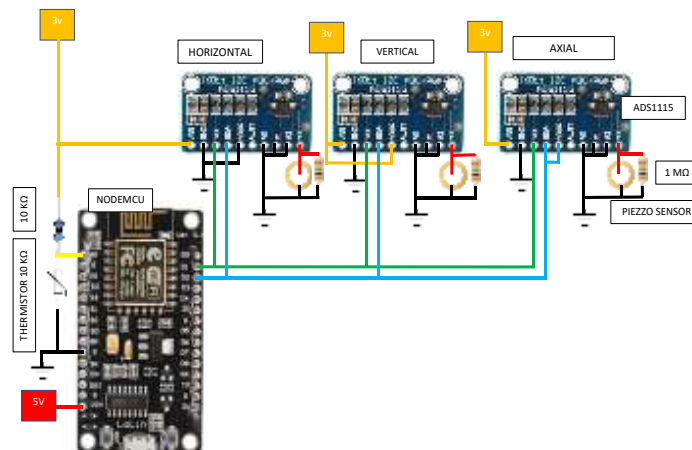
2.2.1. Arsitektur Sistem



Gambar 1 Arsitektur Sistem

Berdasarkan gambar 1, diketahui bahwa alur data berawal dari sensor yang membaca parameter pada motor listrik kemudian mengirimkan sinyal ke Nodemcu esp32 sebagai microcontrol. Untuk sensor vibrasi, pengiriman data dilewatkan terlebih dahulu ke ADS1115 sebagai filtering sinyal baru diteruskan ke NodeMCU. Kesatuan sensor hingga microcontrol ini berada pada device sensor. Device sensor meneruskan data yang sudah dibaca ke MQTT Broker yang sudah terinstall di dalam VPS melalui MQTT pada internet. Kemudian MQTT Broker mengirimkan data tersebut kepada web server yang dibuat di node.js dengan menggunakan express.js dan PM2. Web Server menyimpan dan mengambil data ke Basis Data menggunakan PostgreSQL yang juga sudah diinstal di VPS. Hasil monitoring dan olah data disajikan ke HTTP untuk dapat di akses di web client.

2.2.2. Prototype Alat Fisik



Gambar 2 Wiring Perangkat Keras

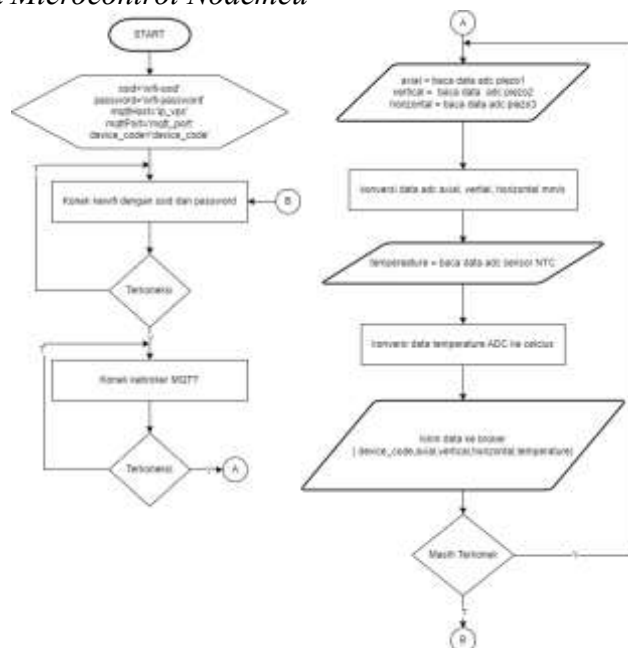
Secara Hardwire alat ini dikonfigurasi dengan kabel Pelangi sesuai dengan rancangan di atas. Dimana :

1. Masing-masing sensor piezo disambungkan pada 1 ADS 1115

2. Kemudian Sensor piezo di sambungkan parallel dengan resistor gelang 1 M Ω pada kaki A3 dari ADS dan ground.
3. Pada kaki piezo A0, A1,A2, GND masing-masing ADS disambungkan dengan ground
4. Untuk kaki ADDR pada masing masing ADS disambungkan dengan kaki ground untuk yang Horizontal, dengan 3V untuk yang Vertical, dengan kaki SDA ADS nya untuk yang Axial
5. Kemudian menyambungkan kaki VDD pada semua ADS pada power 3V
6. Kemudian menyambungkan kaki SCL pada semua ADS ke kaki D1 Node MCU
7. Kemudian menyambungkan kaki SDA pada semua ADS ke kaki D2 Node MCU
8. Pada sensor temperature (NTC 10K) disambungkan dengan resistor 10 K Ω ke power 3V dan A0 pada Node MCU serta Ground di kaki satunya dari NTC 10K
9. Terakhir menyambungkan power 5V ke Vin dari Node MCU

Untuk pemasangan sensor temperatur diletakkan pada kumparan motor sisi dalam, sehingga dilakukan pembongkaran pada cover motor untuk peletakkan sensor. Untuk sensor vibrasi ditempelkan pada dudukan yang di kuncikan dengan baut cover depan dari pompa.

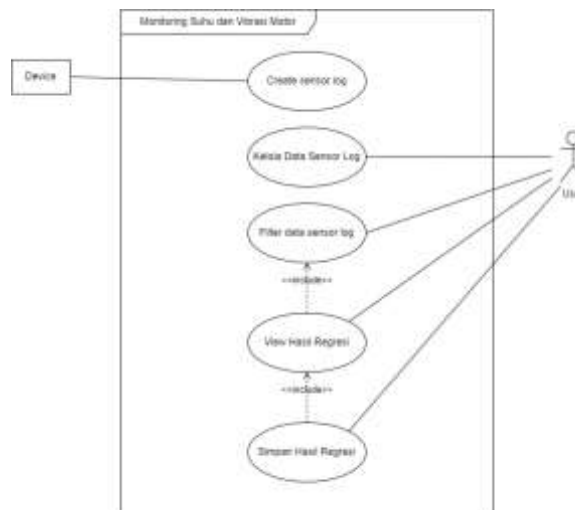
2.2.3. Prinsip Kerja *Microcontrol Nodemcu*



Gambar 3 Alur Kerja Perangkat Keras

Berdasarkan gambar 3, diketahui bahwa alur program dimulai dari device sensor (Node MCU ESP32) yang aktif dengan didalamnya sudah terdapat ssid dan password untuk Node MCU dapat terhubung dengan Wifi. Kemudian didalamnya juga sudah terdapat host,port mqtt broker serta device code untuk terkoneksi dengan mqtt broker agar dapat mengirimkan data ke mqtt broker yang sudah terinstal di dalam VPS. Ketika device on maka kedua hal tersebut dilakukan terlebih dahulu oleh Node MCU. Kemudian ketika sudah berhasil maka proses lanjut ke menerima input sinyal dari sensor (A) untuk vibrasi axial, vertical dan horizontal serta temperature. Kemudian Node MCU mengolahnya menjadi data dengan satuan mm/s untuk vibrasi dan satuan Celsius untuk data temperatur. Kemudian Node MCU melakukan pengiriman data ke broker dan proses berulang lagi atau Kembali ke point (B) bila ada kendala dengan koneksi ke Broker

2.2.4. Use Case Diagram

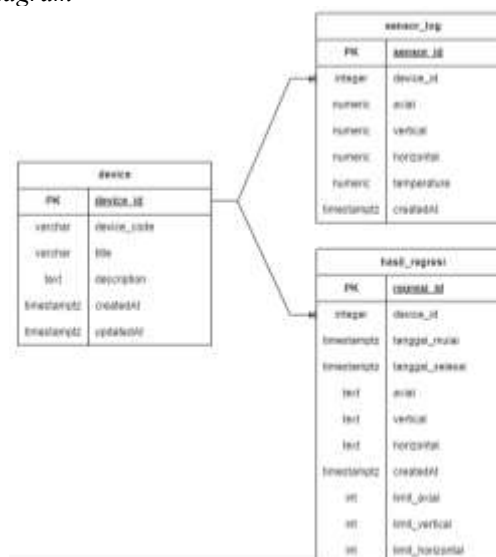


Gambar 4 Use Case Diagram Web

Berdasarkan gambar 4, diketahui bahwa terdapat 2 user pada penelitian ini antara lain :

1. Device yang hanya melakukan Create Sensor Log
2. User yang dapat melakukan
 - a. Kelola Data Sensor Log
 - b. Filter Data Sensor Log
 - c. View Hasil Regresi
 - d. Menyimpan Hasil Regresi

2.2.5. Entity Relationship Diagram



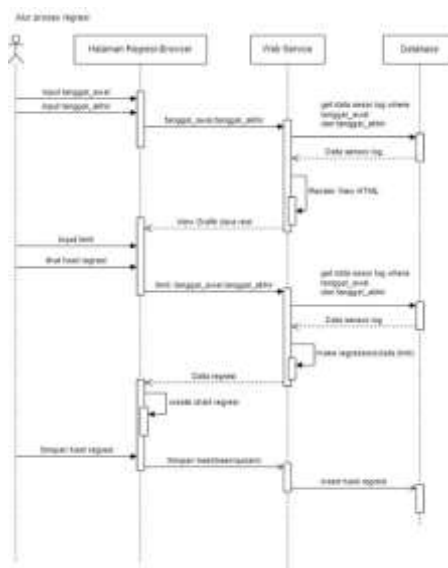
Gambar 5 ERD Sistem Web

Berdasarkan gambar 5, diketahui bahwa terdapat 3 tabel system basis data yang digunakan pada penilaian ini antara lain :

1. Tabel device digunakan untuk menyimpan perangkat
2. Tabel sensor log digunakan untuk menyimpan data dari sensor
3. Tabel hasil regresi digunakan untuk menyimpan hasil regresi

Dari ketiga tabel tersebut dihubungkan lewat relasi *primary key* device_id pada tabel device dan menjadi *foreign key* pada tabel hasil_regresi dan tabel sensor_log

2.2.6. Sequence Diagram

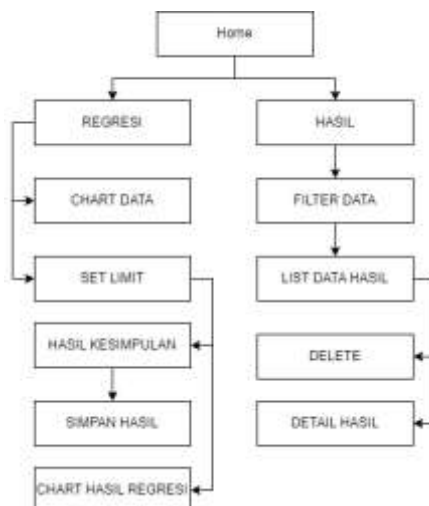


Gambar 6 Sequence Diagram Sistem Web

Berdasarkan gambar 6, diketahui bahwa urutan atau sequence diagram dari aplikasi web page penelitian ini adalah :

1. User melakukan input_tanggal_awal dan input_tanggal_akhir pada web page
2. Kemudian web service menyimpan data tanggal awal dan tanggal akhir dan meneruskannya ke Database
3. Kemudian Database mendapatkan data yang tersimpan sesuai dengan tanggal tersebut dan melakukan render view HTML pada web service dan Browser sehingga diketahui user
4. Kemudian user melakukan input limit nilai untuk memberikan limit nilai dari yang didapat dan memberikan perintah untuk melakukan uji regresi ke web service
5. Web service meneruskan data tersebut ke Database dan mendapatkan data sesuai permintaan limit kemudian melakukan uji regresi dan menampilkan hasil regresi pada web service sehingga dapat dievaluasi oleh user
6. User mengevaluasi hasil regresi dan bisa memerintahkan untuk menyimpan hasil regresi sebagai data tersimpan

2.2.7. Site Map Diagram



Gambar 7 Site Map Diagram Web

Berdasarkan gambar 7 diketahui terdapat beberapa halaman yang penjelasan masing-masing halaman dirangkum dari tabel berikut :

Tabel 1 Perangkat keras yang digunakan

No	Nama	Fungsi
1	Home	Sebagai halaman utama dan menunjukkan data terakhir yang dikirimkan oleh perangkat. Data tersebut berarti data ter update dari kondisi pembacaan
2	Hasil	Menunjukkan data hasil regresi yang telah dilakukan sesuai dengan data yang terpilih
3	Regresi	Digunakan untuk melihat hasil regresi dari data yang dipilih. Pada halaman ini terdapat data chart awal dari data yang dipilih kemudian terdapat chart hasil regresi dan kesimpulan dari hasil regresi. Keseluruhan dari hasil regresi ini akan tersimpan di halaman hasil

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Sensor Piezzo



Gambar 8 Pengujian Sensor Piezzo

Pengujian sensor piezo dilakukan melalui pengambilan data bersamaan antara nilai vibrasi yang terbaca pada web yang dipantau dengan *handphone* dengan nilai vibrasi yang terbaca pada alat pengukur vibrasi industrial (Merek : VibExpert). Berdasarkan pengujian, berikut tabel hasil pengujian sensor piezo tersebut :

Tabel 4 Tabel Data Uji Sensor Piezzo pada web

No	Nilai Terbaca pada web (mm/s)	Nilai Terbaca pada Alat Industrial (mm/s)	Deviasi (range error 10%)
1	0,16	0,17	0,01 (6%)
2	0,23	0,21	0,02 (10%)
3	0,71	0,66	0,05 (8%)
4	1,76	1,80	0,04 (2%)
5	5,07	4,97	0,10 (2%)
6	6,19	6,41	0,22 (3%)
7	6,5	6,82	0,32 (5%)

3.2 Hasil Pengujian Sensor NTC



Gambar 9 Pengujian Sensor NTC

Pengujian sensor NTC (Temperatur) dilakukan melalui pengambilan data bersamaan antara nilai vibrasi yang terbaca pada web yang dipantau dengan *handphone* dengan nilai temperatur yang terbaca pada alat pengukur temperatur industrial (Merek : Flir). Berdasarkan pengujian, berikut tabel hasil pengujian sensor piezo tersebut :

Tabel 5. Tabel Data Uji Sensor Temperatur pada web

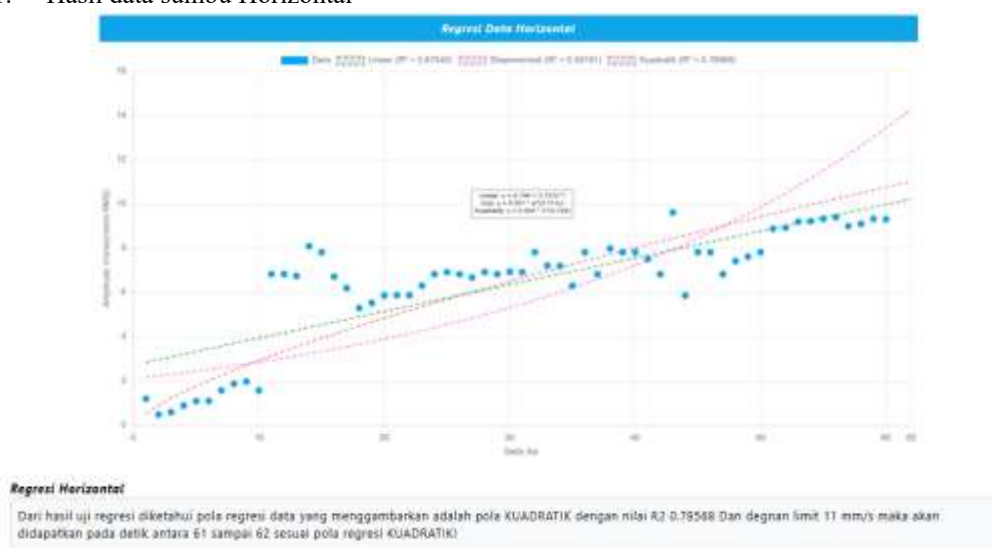
No	Nilai Terbaca pada web ($^{\circ}\text{C}$)	Nilai Terbaca Infrared Termometer ($^{\circ}\text{C}$)	Deviasi ($^{\circ}\text{C}$) (range $\pm 10^{\circ}\text{C}$)
1	42,9	42	0,9
2	43,1	42,5	0,6
3	43,6	43	0,6
4	44,1	43,4	0,7
5	44,5	43,8	0,7
6	45,3	44,8	0,5
7	46,6	46	0,6
8	47,7	47	0,7
9	48,4	47,6	0,8
10	49,2	48,5	0,7

Dari hasil data yang didapat diketahui deviasi antara nilai terbaca di alat dengan alat insutrial tidak terlalu besar atau masih di range error sensor.

3.3 Hasil Interface dan Regresi

Dari hasil data yang di dapat pada masing – masing sumbu maka dilakukan uji regresi data untuk data vibrasi dengan limit nilai vibrasi di 11 mm/s. sehingga dari aplikasi akan melakukan regresi dan menentukan pada detik berapa akan diprediksi nilai menyentuh limit vibrasi 11 m/s sehingga perlunya dilakukan perbaikan sebelum detik tersebut.

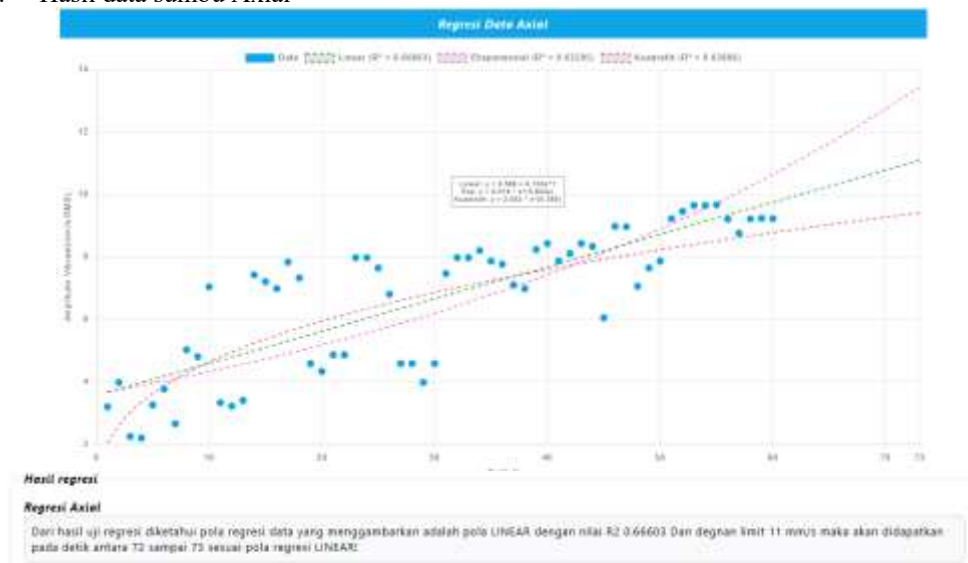
3.3.1. Hasil data sumbu Horizontal



Gambar 10 Hasil Data dan Regresi Data di Sumbu Horizontal

Berdasarkan hasil uji regresi data tersebut, diketahui bahwa pada sumbu horizontal, pola regresi data yang paling menggambarkan adalah pola Kuadratik dengan nilai R^2 0,78. Sehingga apabila ditentukan nilai limit 11 mm/s maka pola data akan menyentuh nilai tersebut pada detik ke -62.

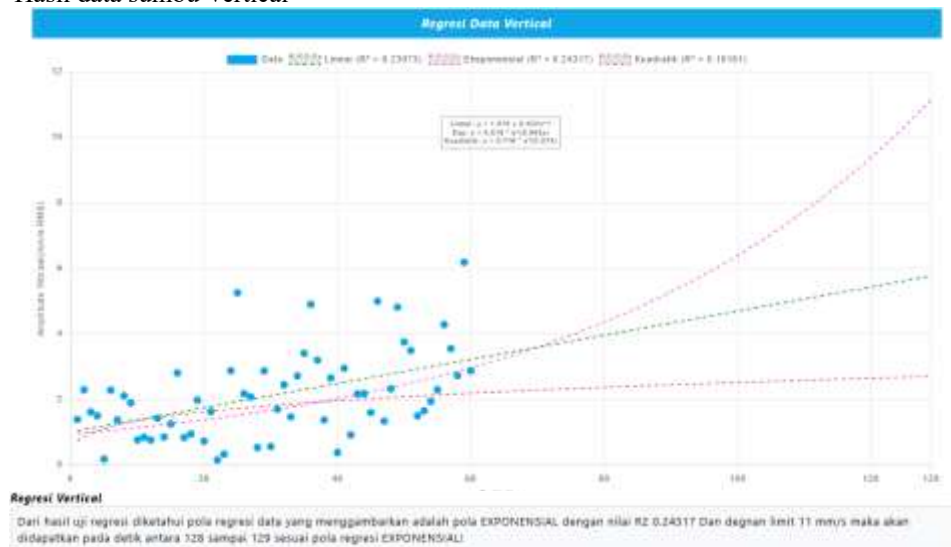
3.3.2. Hasil data sumbu Axial



Gambar 11 Hasil Data dan Regresi Data di Sumbu Axial

Berdasarkan hasil uji regresi data tersebut, diketahui bahwa pada sumbu Axial, pola regresi data yang paling menggambarkan adalah pola Linear dengan nilai R^2 0,66. Sehingga apabila ditentukan nilai limit 11 mm/s maka pola data akan menyentuh nilai tersebut pada detik ke -73.

3.3.3. Hasil data sumbu Vertical



Gambar 12 Hasil Data dan Regresi Data di Sumbu Vertical

Berdasarkan hasil uji regresi data tersebut, diketahui bahwa pada sumbu Vertical, pola regresi data yang paling menggambarkan adalah pola Exponensial dengan nilai R^2 0,24. Sehingga apabila ditentukan nilai limit 11 mm/s maka pola data akan menyentuh nilai tersebut pada detik ke -129.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa Sensor Piezzo tipe keping, Sensor temperatur NTC, Node MCU dan MQTT dapat di integrasikan dengan web untuk menjadi monitoring vibrasi dan temperatur motor listrik. Kemudian Analisa Regresi dapat digunakan untuk melakukan prediksi nilai parameter vibrasi sehingga didapatkan trending atau pola nilai parameter vibrasi dari motor listrik untuk dapat diperkirakan pada detik ataupun waktu seberapa nilai parameter tersebut akan mendekati nilai limit yang ditentukan.

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Wahid. (2020). “Analisis Metode Waterfall Untuk Pengembangan Sistem Informasi,” . *Jurnal Ilmu-Ilmu Informatika Dan Manajemen STMIK*, 1(November).
- [2] Areias, I. A. D. S., Da Silva, L. E. B., Bonaldi, E. L., De Oliveira, L. E. D. L., Lambert-Torres, G., & Bernardes, V. A. (2019). Evaluation of current signature in bearing defects by envelope analysis of the vibration in induction motors. *Energies*, 12(21), 1–15. <https://doi.org/10.3390/en12214029>
- [3] Azhari Akbar, & Karmiadiji, D. (2021). Analisis Getaran Pengaruh Variabel Misalignment. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 11(3), 141–150. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v11i3.2901>
- [4] Cheng, Y., Zhou, K., & Wang, J. (2019). *Performance Analysis of PostgreSQL and MongoDB Databases for Unstructured Data*. 92(Mbdasm), 60–62. <https://doi.org/10.2991/mbdasm-19.2019.14>
- [5] Darmawansyah, D., Rosa, M. K. A., & Anggraini, I. N. (2020). Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Berbagai Gangguan Menggunakan Mikrokontroler. *Jurnal Amplifier : Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 10(1), 9–17. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v10i1.15168>
- [6] Mahfud, A., Ariansyah, M. S., & Kunci, K. (2023). Prototype Monitoring Vibrasi, Temperatur dan Jam Kerja pada Elektromotor Berbasis IoT. *Citra Widya Edukasi*, 15(3), 221–230.
- [7] Meidiasha, D., Rifan, M., & Subekti, M. (2020). Alat Pengukur Getaran, Suara Dan Suhu Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Indikasi Kerusakan Motor Induksi Berbasis Arduino. *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 5(1), 27–31. <https://doi.org/10.21009/jevet.0051.05>
- [8] Nazara, K. Y. (2022). Perancangan Smart Predictive Maintenance untuk Mesin Produksi. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2022(1), 691–702. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1575>
- [9] Rizaldi, D. M., Wisaksono, A., Saputra, D. H. R., & Ahfas, A. (2022). Rancang Bangun Monitoring Engine Mounting (Bantalan Mesin) Mobil Berbasis IoT. *Procedia of Engineering and Life Science*, 2(2).
- [10] Sally, F. H. S., & Sudding, M. F. (2023). Penerapan Metode Analisis Regresi Linier Pada Faktor-Faktor Penguasaan Kosakata Bahasa Inggris Mahasiswa. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 5(1), 36–41. <https://doi.org/10.35580/variensiunm85>
- [11] Satriya Guna Adnyana, P. A., Sari Hartati, R., & Dyana Arjana, I. G. (2022). Rancang Bangun Data Logger Monitoring Vibrasi Pada Motor Listrik 6,3 Kv Berbasis Iot Secara Real Time Di Pltu Jeranjang. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(1), 121. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i01.p14>
- [12] Shukla, A., Shukla, S. P., Chacko, S. T., Mohiddin, M. K., & Fante, K. A. (2022). Monitoring of Single-Phase Induction Motor through IoT Using ESP32 Module. *Journal of Sensors*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8933442>
- [13] Syahmendra, H., & Hariyanto, N. (2023). *Studi Penggulangan Ulang Belitan Motor Induksi Tiga-Fasa 2 HP-380 V 50 Hz*.
- [14] Wicha, M., & Pańczyk, B. (2023). Performance analysis of REST API