

Perancangan Sistem Pendeteksi Kerusakan Motor Induksi Berbasis *IoT* dengan Menggunakan Sensor Suhu, Arus dan Getaran

Design of an *IoT*-Based Induction Motor Fault Detection System Using Temperature, Current, and Vibration Sensors

Resa Pramudita^{1*}, Yusuf Ibnu Sidhiq², Muhammad Adli Rizulloh³,
Roer Eka Pawinanto⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia
Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154
resa.pd@upi.edu^{1*}, yusufibnusidhiq@upi.edu², muhammad.adli.riz@upi.edu³, roer_eka@upi.edu⁴

Abstrak – Motor induksi dikenal karena keunggulan dalam konstruksi sederhana, ketahanan terhadap beban, dan efisiensi yang tinggi, namun memiliki potensi kerusakan yang dapat mengurangi efisiensi operasional. Sebagai solusi, sistem monitoring kerusakan motor induksi berbasis *IoT* dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino yang terintegrasi dengan ESP 01. Pengujian meliputi pengukuran akurasi sensor dalam berbagai kondisi operasi untuk memastikan keandalan deteksi. Tiga sensor utama, yaitu sensor suhu DS18B20, sensor arus SCT-013, dan sensor getaran ADXL335 digunakan untuk mendeteksi suhu, arus, dan getaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian suhu motor memiliki akurasi hingga 97%, sementara pengujian arus mencapai 84,3%. Sistem pendeteksi kerusakan motor menunjukkan tingkat akurasi 100% dalam mendeteksi kerusakan pada motor. Selain itu, sistem ini dirancang untuk memberikan peringatan dini melalui platform *IoT*, sehingga pemeliharaan dapat dilakukan sebelum kerusakan signifikan terjadi. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan efektivitas dalam mendeteksi potensi kerusakan pada motor induksi dengan fokus pada tiga parameter kunci: suhu, arus, dan getaran, yang meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional motor induksi.

Kata Kunci: *IoT*, Motor Induksi, Sistem monitoring, Akurasi, Mikrokontroler.

Abstract – Induction motors are known for their advantages in simple construction, load resistance, and high efficiency. However, they have the potential for damage that can reduce operational efficiency. As a solution, an *IoT*-based induction motor fault monitoring system is developed using an Arduino microcontroller integrated with ESP 01. Testing includes measuring sensor accuracy in various operating conditions to ensure detection reliability. Three main sensors DS18B20, SCT-013, and ADXL335 are used to detect temperature, current, and vibration. Test results show that the motor temperature test has an accuracy of up to 97%, while the current test reaches 84.3%. The motor fault detection system demonstrates 100% accuracy in detecting motor faults. Additionally, the system is designed to provide early warnings through the *IoT* platform, enabling maintenance to be performed before significant damage occurs. Overall, this system demonstrates effectiveness in detecting potential faults in induction motors, focusing on three key parameters: temperature, current, and vibration, which enhances the reliability and operational efficiency of induction motors

Keywords: *IoT*, Induction Motor, Monitoring System, Accuration, Microcontroller.

1. Pendahuluan

Motor induksi, merupakan alat yang umum digunakan dalam berbagai sektor industri berfungsi mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis menggunakan *stator* dan *rotor* [1][2]. Kelebihan utama motor ini diantaranya kemudahan produksi, ketahanan terhadap beban berat, dan efisiensi tinggi, menjadikannya populer di sebagian besar industri [3]. Meskipun efisien, motor induksi rentan mengalami kerusakan yang bisa menyebabkan *downtime* dan menurunkan efisiensi [4], serta menimbulkan kesulitan dalam mendeteksi kerusakan secara tepat waktu. [5]. Sebagai solusi, teknologi *IoT* digunakan untuk memantau kondisi motor secara *real-time* dengan mengidentifikasi kerusakan dini melalui beberapa parameter seperti suhu, arus, dan getaran untuk menjaga keandalan dan efisiensi [2][4], meskipun implementasinya membutuhkan investasi signifikan [6].

Beberapa studi menunjukkan bahwa suhu, arus, dan getaran adalah parameter krusial yang mempengaruhi kondisi motor induksi, dimana suhu berkorelasi dengan efisiensi motor [7]. Selain itu variasi arus juga menandakan adanya masalah pada kinerja motor induksi [8] dan terjadinya getaran yang berlebihan pada motor induksi mengindikasikan adanya kerusakan mekanis [9]. Parameter tambahan lainnya seperti suara, vibrasi, efisiensi, dan faktor daya juga penting untuk pemeliharaan preventif dan diagnostik yang mempengaruhi kinerja motor induksi [1][4]. Pemantauan beberapa parameter tersebut penting dalam mendeteksi kerusakan pada motor induksi yang berpengaruh pada perpanjangan masa pakai motor, dan dalam mengurangi biaya perawatan.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pengembangan sistem pendeteksi kerusakan pada motor induksi. Salah satunya menggunakan *Arduino* sebagai kontroler dan sensor suhu serta getaran [10]. Studi lain mengembangkan perangkat *monitoring* motor induksi tiga fasa dengan mikrokontroler ESP 32 dan sensor lainnya [2]. Ada juga studi tentang analisis getaran motor induksi dengan *Power Quality Analyzer Fluke 435* [5], dan aplikasi *transducer* arus dengan akurasi 95% [11]. Dari beberapa studi tersebut teknologi *IoT* belum diterapkan secara optimal pada sistem pendeteksi kerusakan motor induksi padahal teknologi ini menawarkan solusi inovatif untuk dapat memberikan peringatan kerusakan motor induksi dini secara *real-time*, meski dengan pertimbangan biaya implementasi yang signifikan. Selain itu dari beberapa studi yang telah dilakukan akurasi sensor dalam deteksi kerusakan jarak jauh memerlukan penelitian lebih lanjut untuk optimalisasi kinerja dan efisiensi [12].

Penelitian ini mengajukan solusi berupa sistem pendeteksi kerusakan pada motor induksi yang berbasis *IoT*. Sistem ini berfokus pada pengukuran parameter suhu, arus, dan getaran sebagai indikator utama dari kerusakan alat. Metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup pengujian keakuratan implementasi dalam mengukur suhu, arus, dan getaran.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini terdiri dari dua bagian utama yaitu evaluasi kinerja sistem melalui parameter pembanding dan pengembangan perancangan Sistem, termasuk *hardware* dan *software*. Tujuannya adalah menciptakan sistem inovatif dengan mengintegrasikan aspek *hardware* dan *software*. Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan akurasi dan kehandalan, dengan membandingkan pembacaan sensor dengan alat ukur standar. Hasil pengujian ini kemudian dianalisis keakuratannya.

2.1. Parameter Pembanding

2.1.1. Suhu

Pada penelitian ini dilakukan pengujian suhu pada motor induksi kelas insulasi B dengan suhu maksimal pengoperasian 130° , dan peningkatan temperatur saat beban puncak adalah $80^{\circ} - 90^{\circ}$, dimana motor induksi normalnya beroperasi pada variasi suhu $60-80^{\circ}\text{C}$. Apabila suhu pada motor induksi ini berlebih maka dapat merusak komponen penting pada motor, sehingga diperlukan pemantauan suhu vital untuk menghindari kerusakan pada motor, dimana suhu

penggunaan motor ini diatur dengan standar *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* [7] seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. *NEMA standard Insulation class.*

Temperature Class	Tabel Insulation Class			
	Masimum Operation Temperature Allowed		Allowable Temperature Rise at full load	
	C	F	1.0 Service Factor	1.15 Service Factor
A	105	221	60	70
B	130	266	80	90
F	155	311	105	115
H	180	356	125	-

2.1.2. Arus

Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian arus dikarenakan arus yang tidak sesuai dengan spesifikasi dapat mempengaruhi kinerja motor induksi. Standar arus operasi untuk motor induksi 3 fasa menurut *NEMA* ditunjukkan pada Tabel 2 [13]. Dalam penelitian ini, pengujian sistem dilakukan pada motor kelas insulasi B dengan arus maksimal operasi antara 4,5 hingga 5A. Penelitian ini mengacu pada standar *NEMA* untuk memastikan bahwa pengujian dilakukan pada kondisi operasi yang realistis dan sesuai dengan standar industri yang berlaku.

Tabel 2. Standar arus menurut *NEMA*.

Kelas Motor Induksi	Start/nominal
A	5 – 7
B	4,5 – 5
C	3,5 – 5
D	3 – 8
E	2 – 4

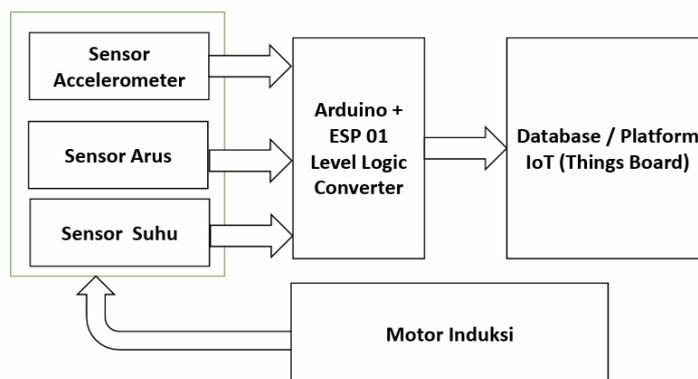
2.1.3. Getaran

Pada penelitian ini standar getaran untuk motor induksi mengacu pada standar internasional *ISO 10816*. Standar ini menetapkan batas getaran berdasarkan ukuran dan kelas motor. Untuk motor dengan kelas insulasi B, standar tersebut menetapkan bahwa getaran tidak boleh melebihi 2 milimeter pada frekuensi 10-1000 Hz. Penetapan batas getaran ini penting untuk memastikan kinerja dan keandalan motor induksi dalam operasi normalnya.

2.2. Perancangan Sistem

2.3.1. Perancangan Hardware

Pada bagian ini dijelaskan mengenai perancangan sistem *hardware* dimana desain ini menggabungkan *Arduino* dengan *ESP-01* serta tiga sensor untuk memantau suhu, arus, dan getaran motor induksi selanjutnya data tersebut dikirim ke platform *IoT Thingsboard* untuk visualisasi *real-time* dan pemberitahuan apabila terjadi anomali. Diagram blok pada Gambar 1 menggambarkan rancangan *hardware* sistem ini, dimana pada bagian kontroler menggunakan mikrokontroler *Arduino ATmega328* untuk pemrosesan data sensor dengan fungsi pembacaan ADC yang lebih stabil [14]. Agar sistem dapat terkoneksi dengan internet digunakan Modul Wi-Fi *ESP01* yang terhubung ke kontroler utama. Sebagai input, sistem ini terhubung dengan sensor suhu DS18B20 (Pada penelitian yang telah dilakukan memiliki akurasi 98,91% [15]), sensor arus SCT-013 (akurasi 3,07%), dan modul ADC 16-bit ADS1115 untuk mengubah tegangan referensi [16], serta sensor getaran ADXL335 3-axis [17]. Data dari sensor-sensor ini dikirim ke *database* melalui ESP 01 setelah terkoneksi internet.



Gambar 1. Diagram blok perancangan sistem *hardware*.

A. Pembacaan Suhu

Sistem pembacaan sensor suhu DS18B20 bekerja dengan cara membaca data suhu dari sensor digital one-wire yang memiliki ADC internal 12-bit. Sensor ini memungkinkan Arduino untuk melakukan pembacaan suhu secara digital tanpa memerlukan pin ADC tambahan. Setiap perubahan suhu yang terdeteksi oleh sensor menyebabkan perubahan tegangan yang terbaca oleh Arduino, dengan kenaikan sebesar 0.0012 V untuk setiap kenaikan suhu. Setelah data suhu diambil, sistem akan melakukan deteksi dan pemrosesan informasi suhu tersebut. Selanjutnya, inisialisasi *library* sensor DS18B20 diverifikasi untuk memastikan bahwa sistem dapat berkomunikasi dengan sensor secara efektif. Jika inisialisasi berhasil, data suhu yang telah diproses kemudian dikirimkan ke platform *Thingsboard* untuk pemantauan dan analisis lebih lanjut. Proses ini memastikan bahwa data suhu yang diukur dapat dikumpulkan dan dianalisis secara akurat dan efisien. Program sensor ini dirancang dengan mengintegrasikan dua pustaka, yaitu *Dallas Temperature* dan *One Wire*, yang bersinergi untuk memfasilitasi proses inisialisasi. Kedua pustaka tersebut menjadi kunci dalam mengaktifkan dan mengoperasikan sensor suhu dengan efisien, di mana prosesnya diatur melalui penerapan persamaan (1).

$$V_{in} = \frac{(V_{ref})}{4096} \quad (1)$$

$$V_{in} = \frac{(5 \text{ Volt})}{4096}$$

$$V_{in} = 0.0012 \text{ v}$$

B. Pembacaan Arus

Pendeteksian arus pada penelitian ini menggunakan sensor SCT-013 dimana pada penggunaannya memanfaatkan *Current Transformator* Sensor untuk mengukur arus AC secara *non-invasif* dimana hanya dipasang pada satu kabel fasa. Sensor ini memiliki kapasitas hingga 10 A dengan rasio 10A:1V, yang berarti setiap kenaikan 0.1 A menghasilkan keluaran 1 V. Sinyal keluarannya berbentuk sinusoidal yang diinterpretasikan oleh *Arduino* dalam rentang ADC 0-1023. Tahapan yang dilakukan dalam pengukuran dan pengiriman data arus listrik menggunakan sensor SCT-013, yang kemudian diproses dan dikirim ke platform *Thingsboard* untuk keperluan monitoring. Proses diawali dengan pembacaan data arus dari sensor SCT-013, dilanjutkan dengan deteksi arus yang mengacu pada nilai yang diukur. Tahapan kritis dalam proses ini adalah peningkatan tegangan referensi hingga 2.4V, yang bertujuan untuk memastikan keakuratan pembacaan sensor. Hal ini selaras dengan kebutuhan penggunaan pin ADC pada Arduino, di mana sensor SCT-013 dengan tegangan referensi 0 Volt memerlukan rangkaian *offset* 2.3 Volt sebagai referensi [18]. Setelah itu, sistem melakukan verifikasi terhadap inisialisasi pustaka (*library*) sensor SCT-013, yang merupakan prasyarat untuk melanjutkan ke tahap pengiriman data. Apabila inisialisasi gagal, sistem akan mengulang proses pembacaan sensor. Namun, jika

berhasil, data yang telah diukur dikirimkan ke platform *Thingsboard*, yang memungkinkan pengolahan dan analisis data lebih lanjut. Pengiriman data yang sukses menandai akhir dari proses ini, menunjukkan bahwa sistem berhasil dalam pengukuran dan transmisi data sensor arus secara efektif.

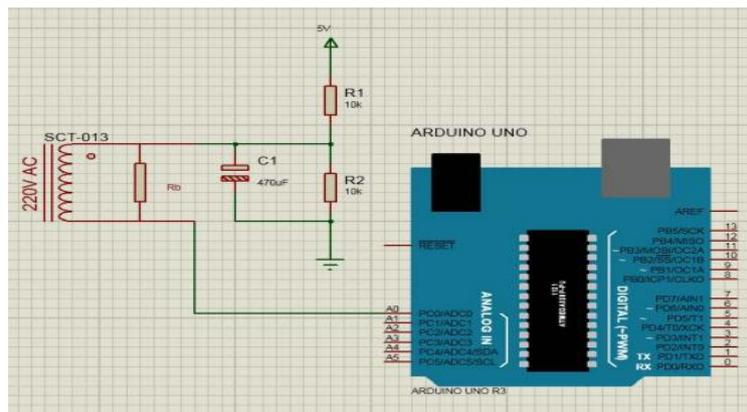
C. Penambahan Rangkaian Offset

Berdasarkan *datasheet* SCT-013 dari YHDC, pembacaan sensor SCT 013 pada *Arduino* dapat dilakukan melalui modul ADS115. Dalam pembacaan pin analog *Arduino* digunakan *library* *Adafruit* ADS115. Instruksi `ads.setgain` diimplementasikan untuk memaksimalkan resolusi modul ADS115 ke 16 bit. Mengacu pada arus maksimal SCT-013 yaitu 10 A, instruksi "`Float Factor = 10`" ditambahkan ke program sebagai berikut.

$$V_{rms} = Multiplier \times ads.readADC_{Differential} \quad (2)$$

$$I_{rms} = v_{rms} \times Float Factor \quad (3)$$

Berdasarkan instruksi `ads.read ADC differential`, V_{rms} diperoleh dan dikalikan dengan multiplier dari *library* *Adafruit* ADS115 seperti ditunjukkan persamaan (2). Sedangkan persamaan (3) Nilai V_{rms} selanjutnya dikalikan dengan *float factor* yang telah ditentukan [16]. Gambar 2 menampilkan rangkaian tegangan *offset*, penambahan rangkaian *offset* ini perlu dilakukan karena jika implementasi rangkaian digunakan tanpa *offset* maka $V_{minimum}$ terbaca -16 mV, mengakibatkan sinyal negatif menjadi 0 Volt. Namun, dengan *offset*, pembacaan $V_{minimum}$ meningkat menjadi 2.2 Volt, menunjukkan efektivitas rangkaian *offset*.



Gambar 2. Rangkaian tegangan *offset*.

D. Pembacaan Getaran

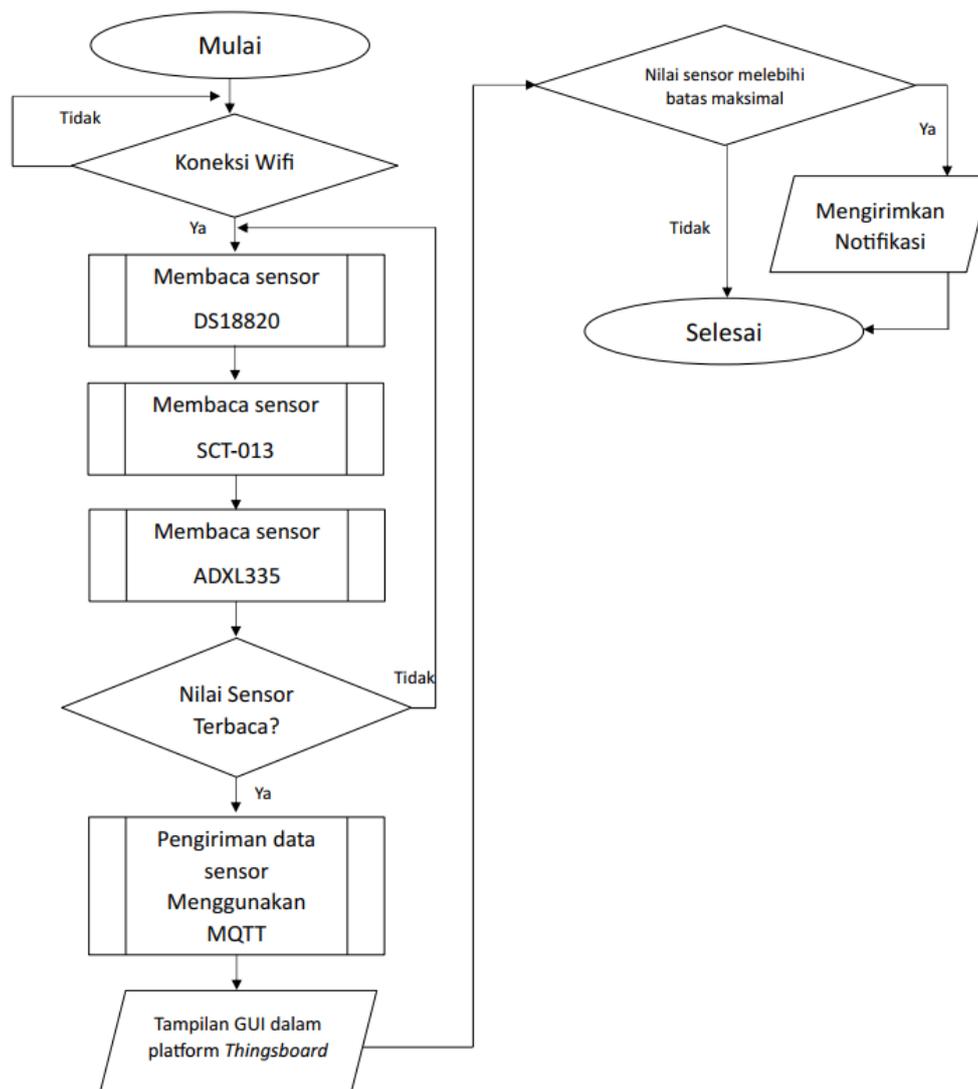
Penambahan sensor getaran dilakukan untuk mengukur percepatan dan getaran yang menjadi salah satu parameter *monitoring* kerusakan motor induksi, pengukuran getaran pada studi ini menggunakan persamaan (4) untuk dapat mengukur percepatan getaran. Persamaan ini penting diaplikasikan untuk menganalisis dinamika dan kondisi operasional mesin. Dari persamaan (4) diketahui A sebagai panjang radius pergeseran, F sebagai frekuensi gerakan, dan t sebagai waktu, pergeseran terjadi pada tiga sumbu. Sensor ini, yang satuan ukurannya adalah gravitasi (mm / s^2), menggunakan tegangan referensi antara 5V hingga 3V untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Proses pembacaan sensor getaran dimulai dengan *Arduino* yang mengukur getaran melalui sumbu X, Y, dan Z. Data getaran ini kemudian dikonversi melalui *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dengan rentang 0-1023.

$$Velocity = 2\pi f A \cos(2\pi f t) \quad (4)$$

2.3.2. Perancangan Software

A. Pembuatan Program Mikrokontroler

Dalam pengembangan awal, sistem ini menggunakan Arduino IDE sebagai *compiler* dan beberapa *library* yang sudah ada. Sistem ini dibuat untuk terhubung ke internet melalui modul *WiFi* ESP-01, untuk mengirim data ke platform *IoT Thingsboard*. Setelah terhubung, sistem membaca data sensor untuk mendeteksi parameter suhu, arus, dan getaran, kemudian mengolahnya melalui pin digital dan analog Arduino. Data yang telah diproses oleh Arduino dikirim melalui MQTT broker ke *Thingsboard*, yang menampilkan pembacaan data secara *real-time* pada antarmuka pengguna. Jika terjadi perubahan yang signifikan melebihi batas normal pada pembacaan sensor maka notifikasi akan dikirimkan sebagai bentuk peringatan. Algoritma pemrograman sistem ini dijelaskan secara visual pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir algoritma program mikrokontroler.

B. Design GUI menggunakan *Thingsboard*

Thingsboard adalah platform *IoT open source* yang berfokus pada akuisisi, pemrosesan, dan visualisasi data serta manajemen perangkat. Sistem ini mengirim data sensor dari *Arduino* melalui protokol API dan MQTT broker. Antarmuka pengguna grafis (*GUI*) dikembangkan dengan *Node-Red*, *GUI* ini dilengkapi dengan '*Digital Gauges*', '*Chart*', dan '*Alarm Widget*' untuk *monitoring* dan notifikasi.

2.3. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan selama 30 menit pada motor induksi tiga fasa yang terpasang pada mesin bubut. Fokus pengujian ini yaitu pada pengukuran suhu, arus, dan getaran. Penempatan Sensor suhu DS18B20 dan sensor ADXL335 ditempatkan pada stator motor, sedangkan Penempatan sensor SCT-013 ditempatkan pada fasa RST motor induksi.

2.4.1. Metode Pengujian Sistem

Sistem ini diuji dengan membandingkan pembacaan sensor dan alat ukur standar. Untuk menilai akurasi pada studi ini menggunakan Persamaan (5) dan untuk mengukur kesalahan (*Error*) menggunakan Persamaan (6). Akurasi diukur dengan membandingkan data sensor dan alat ukur referensi, sementara kesalahan dihitung dari selisih pembacaan sensor dan alat ukur referensi.

$$akurasi = \frac{Hasil\ Pembacaan\ Sensor}{Hasil\ Pembacaan\ Alat\ ukur} \times 100\% \quad (5)$$

$$Error = \frac{Selisih\ Nilai\ Sensor\ dan\ alat\ ukur}{Hasil\ Pembacaan\ Alat\ ukur} \times 100\% \quad (6)$$

2.4.2. Alat Ukur Pembanding

Tabel 3 menguraikan spesifikasi alat ukur pembanding yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk rentang pengukuran, akurasi, dan resolusi. Spesifikasi ini penting untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan dengan standar yang tinggi dan menghasilkan data yang dapat dipercaya. Hal ini juga memungkinkan perbandingan objektif dengan teknologi yang dikembangkan dalam penelitian.

Tabel 3. Spesifikasi alat ukur.

<i>Thermogun GM-320</i>	<i>Digital Clamp Meter MT87.</i>
Range suhu: -50°C – 380°C atau -58° – 716°F.	Tegangan DC: 600V, akurasi: ± 1.0%.
Tingkat akurasi 1,5° C ⁰	Tegangan DC: 600V, akurasi: ± 1.0%.
Resolusi: 1%	Tegangan AC: 450V, akurasi: ± 1.2%.
Pengulangan: 1 C ⁰	Arus AC: 20 - 400A, akurasi: ± 2.0%.
Waktu merespon: 95%	Resistansi: 200KΩ, akurasi: ± 1.0%
Jarak spot ratio: 12:1.	Tegangan DC: 600V, akurasi: ± 1.0%.

2.4.3. Kondisi Motor Induksi yang Diuji

Motor induksi 3 fasa yang diuji dalam penelitian ini memiliki spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 4, mencakup daya, frekuensi, dan efisiensi. Analisis kinerja motor dilakukan dengan mempertimbangkan spesifikasi ini dalam berbagai kondisi operasional untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam skenario industri yang sesungguhnya. Spesifikasi motor tersebut krusial untuk memastikan keandalan hasil pengujian dan relevansi temuan dalam konteks industri.

Tabel 4. Spesifikasi motor induksi yang diuji.

Parameter	Nilai
Daya	2.2 KW
Tegangan	380/220 VAC
Arus	4,9/8,5.Ampere
Frekuensi	50 Hz
Kelas Insulasi	B
IP	54
cos u	0.84
Bearing	0530/72
RPM	114 r/min
Weight	10.5 Kg

3. Hasil dan Pembahasan

Pada studi ini pengujian dilakukan selama 30 menit dengan fokus pada pengukuran suhu, arus, dan getaran pada sebuah motor induksi tiga fasa yang terpasang pada mesin bubut seperti ditunjukkan Gambar 4. Dalam proses pengujian ini, sensor suhu tipe DS18B20 dan sensor ADXL335 diletakkan dan ditempelkan pada bagian badan motor, khususnya pada bagian stator. Sementara itu, motor bersama dengan sensor SCT-013 dipasang pada fasa RST dari motor tiga fasa tersebut.



Gambar 4. Motor 3 fasa pada mesin bubut.

3.1. Hasil Pengujian Suhu

Hasil pengujian suhu dapat dilihat pada Tabel 5 yang menunjukkan akurasi 97%, dengan suhu rata-rata 27,3°C berbanding 28,25°C dari *thermogun*. Hasil pengujian ini sesuai standar *NEMA*, dimana suhu operasional maksimum motor induksi kelas B adalah 130°C, hasil ini berbeda apabila pengujian dilakukan pada instalasi di luar ruangan.

Tabel 5. Perbandingan hasil pengujian sensor suhu.

Waktu	Perbandingan Hasil Pengukuran		Nilai Akurasi	Nilai <i>Error</i>
	DS18B20 (°C)	<i>Thermogun</i> (°C)		
19.30	24,56	24,7	0,99	0,006
19.32	25,56	26,4	0,97	0,030
19.35	25,94	26,4	0,98	0,017
19.38	26,75	28,2	0,95	0,051
19.40	26,95	27,6	0,98	0,024
19.42	26,69	27,6	0,97	0,033
19.45	26,69	28,4	0,94	0,060
19.48	27,44	27,6	0,99	0,006
19.50	27,81	28,4	0,98	0,021
19.52	29,5	31	0,95	0,048
19.55	28,88	30	0,96	0,037
19.58	29	30	0,97	0,033
20.00	29,19	30,9	0,94	0,038
Rata- rata	27,3	28,246	0,97	0,03

3.2. Hasil Pengujian Arus pada Fasa R

Hasil pengujian Arus pada fasa R motor tiga fasa, alat ini menunjukkan akurasi 80% dengan kesalahan 20%, mengukur arus rata-rata 2,35A dibandingkan dengan 2,91A dari *Clamp Meter* MT87. Menurut standar *NEMA*, motor induksi tiga fasa kelas insulasi B memiliki spesifikasi termasuk arus pengasutan 8,5A dan nominal 4,9A, menunjukkan kondisi operasi yang aman.

Tabel 6. Perbandingan hasil pengujian sensor arus pada fasa R.

Waktu	Perbandingan Hasil Pengukuran		Nilai Akurasi	Nilai <i>Error</i>
	SCT-013 (A)	<i>Clamp Meter</i> (A)		
19.30	2,34	2,9	0,81	0,193
19.32	2,3	2,91	0,79	0,210
19.35	2,34	2,92	0,80	0,199
19.38	2,3	2,92	0,79	0,212
19.40	2,36	2,9	0,81	0,186
19.42	2,37	2,92	0,81	0,188
19.45	2,36	2,9	0,81	0,186
19.48	2,35	2,88	0,82	0,184
19.50	2,29	2,92	0,78	0,216
19.52	2,34	2,91	0,80	0,196
19.55	2,36	2,9	0,81	0,186
19.58	2,4	2,92	0,82	0,178
20.00	2,38	2,98	0,80	0,201
Rata- rata	2,35	2,91	0,80	0,20

3.3. Hasil Pengujian Arus pada Fasa S

Dalam pengujian 30 menit pada Fasa S motor tiga fasa dengan sensor arus SCT-013, menghasilkan akurasi 86% dan kesalahan 14%, mencatat arus rata-rata 2,45A dibandingkan dengan 2,85A dari *Clamp Meter*. Hasil ini sesuai standar *NEMA*, dimana kondisi arus Fasa S ini aman. Motor induksi tiga fasa kelas insulasi B memiliki spesifikasi 2,2 kW, 380/220 VAC, efisiensi 75%, dan arus start 8,5A serta nominal 4,9A.

Tabel 7. Perbandingan hasil pengujian sensor arus pada fasa S.

Waktu	Perbandingan Hasil Pengukuran		Nilai Akurasi	Nilai <i>Error</i>
	SCT-013 (A)	<i>Clamp Meter</i> (A)		
19.30	2,08	2,88	0,72	0,278
19.32	2,05	2,88	0,71	0,288
19.35	2,14	2,65	0,81	0,192
19.38	2,08	2,65	0,78	0,215
19.40	2,11	2,67	0,79	0,210
19.42	2,12	2,56	0,83	0,172
19.45	2,65	2,72	0,97	0,059
19.48	2,71	2,75	0,99	0,015
19.50	2,77	2,82	0,98	0,018
19.52	2,7	2,84	0,95	0,049
19.55	2,8	3,05	0,92	0,082
19.58	2,83	3,12	0,91	0,093
20.00	2,81	3,49	0,81	0,195
Rata- rata	2,45	2,85	0,86	0,14

3.4. Hasil Pengujian Arus pada Fasa T

Dalam pengujian Arus pada Fasa T motor tiga fasa, sensor mencatat akurasi 87%, mengukur rata-rata arus 2,08A dibandingkan dengan 2,40A dari *Clamp Meter* MT87. Menurut standar *NEMA*, motor induksi tiga fasa kelas insulasi B dengan spesifikasi 2,2 kW, 380/220 VAC, efisiensi 75%, arus 4,9/8,5A, memiliki arus start 8,5A dan nominal 4,9A. Hasil pengujian ini mengindikasikan motor masih dalam kondisi layak operasi.

Tabel 8. Perbandingan hasil pengujian sensor arus pada fasa T.

Waktu	Perbandingan Hasil Pengukuran		Suhu	Nilai <i>Error</i>
	SCT-013 (A)	<i>Clamp Meter</i> (A)		
19.30	2,04	2,43	0,84	0,160
19.32	1,97	2,42	0,81	0,186
19.35	2,34	2,42	0,97	0,033
19.38	2	2,3	0,87	0,130
19.40	2,02	2,34	0,86	0,137
19.42	2,08	2,44	0,85	0,148
19.45	1,92	2,31	0,83	0,169
19.48	1,99	2,42	0,82	0,178
19.50	2,05	2,44	0,84	0,172
19.52	1,96	2,43	0,81	0,193
19.55	2,15	2,38	0,90	0,097
19.58	2,32	2,44	0,95	0,049
20.00	2,22	2,46	0,90	0,098
Rata- rata	2,08	2,40	0,87	0,13

3.5. Hasil Pengujian Getaran

Pada pengujian getaran menggunakan sensor ADXL335 di motor tiga fasa selama 30 menit, hasilnya tertera di Tabel 9. Dari pengujian, diperoleh rata-rata getaran $0,71 \text{ mm} / \text{s}^2$. Motor 2,2 KW atau 1,47 HP kelas B memiliki batas getaran maksimal $2 \text{ mm} / \text{s}^2$ sesuai standar ISO 10816-3.

Tabel 9. Hasil pengujian sensor getaran ADXL335.

Waktu	Hasil Pembacaan Sensor (mm / s^2)
19.30	0,57
19.32	0,65
19.35	0,66
19.38	0,92
19.40	0,66
19.42	0,91
19.45	0,66
19.48	0,65
19.50	0,46
19.52	0,66
19.55	0,93
19.58	0,65
20.00	0,91
Rata- rata	0,71

3.6. Hasil Pengujian *Monitoring* motor 3 phase

Hasil pengujian *monitoring* motor 3 fasa berada dalam kondisi normal, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 10. Dimana hasil pembacaan kondisi tabel diatas merujuk kepada *NEMA* dan ISO 10816. Kondisi yang ditampilkan alat *monitoring* sudah sesuai dengan standar *NEMA* dan ISO 10816, hal tersebut menunjukkan tingkat keakuratan pembacaan kondisi sebesar 100%.

Tabel 10. Hasil pembacaan alat *monitoring*

Waktu	Pembacaan Arus (A)			Suhu (°C)	Getaran (mm / s ²)	Kondisi
	R	S	T			
19.30	2,34	2,08	2,04	24,56	0,160	Normal
19.32	2,3	2,05	1,97	25,56	0,186	Normal
19.35	2,34	2,14	2,34	25,94	0,033	Normal
19.38	2,3	2,08	2	26,75	0,130	Normal
19.40	2,36	2,11	2,02	26,95	0,137	Normal
19.42	2,37	2,12	2,08	26,69	0,148	Normal
19.45	2,36	2,65	1,92	26,69	0,169	Normal
19.48	2,35	2,71	1,99	27,44	0,178	Normal
19.50	2,29	2,77	2,05	27,81	0,172	Normal
19.52	2,34	2,7	1,96	29,5	0,193	Normal
19.55	2,36	2,8	2,15	28,88	0,097	Normal
19.58	2,4	2,83	2,32	29	0,049	Normal
20.00	2,38	2,81	2,22	29,19	0,098	Normal

4. Kesimpulan

Pada studi ini telah dilakukan perancangan sistem *monitoring* pendeteksi kerusakan motor induksi 3 fasa, dimana pada studi ini sistem yang dibuat dapat mendeteksi kerusakan dengan mengukur 3 parameter utama dalam mendeteksi kerusakan pada motor. Parameter yang digunakan yaitu parameter suhu, arus dan getaran. Pengujian alat ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat dengan alat ukur standar dimana setelah dilakukan pengujian pada motor 3 fasa, ditemukan bahwa pembacaan suhu memiliki akurasi 97%, dan pembacaan arus memiliki akurasi 84,3%. Kedua sensor ini menunjukkan keandalan yang baik. Sistem ini juga efektif dalam pemantauan *real-time* melalui antarmuka pengguna di platform *IoT Thingsboard*. Hasil pengujian pada motor induksi menunjukkan motor induksi 3 fasa dalam kondisi prima, dengan parameter suhu, arus, dan getaran berada dalam batas aman. Faktor-faktor eksternal seperti kondisi cuaca, beban kerja motor, suhu ruangan, dan instalasi listrik juga mempengaruhi kinerja sensor.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Fakultas Pendidikan Teknologi Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia atas dukungan penuh yang memungkinkan penelitian ini berjalan dengan lancar, Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Fakultas tahun 2023 sesuai dengan SK Rektor UPI No 906/UN40/PT.01.02//2023.

Referensi

- [1] D. Meidiasha, M. Rif'an, M. Subekti, "Alat pengukur getaran, suara dan suhu motor induksi tiga fasa sebagai indikasi kerusakan motor induksi berbasis *Arduino*," *Journal of Electrical and Vocational Education and Technology*, vol. 5 no. 1, pp. 27-31, 2020.
- [2] G. Mamatha, A. H. Thejaswi, "Induction Motor Condition *Monitoring* and Controlling Based on *IoT*," *IJRESM*, vol. 4, no. 9, pp. 220–225, 2021.
- [3] P. Zhang, Y. Du, T. G. Habetler, B. Lu, "A survey of condition *monitoring* and protection methods for medium-voltage induction motors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 47, no. 1, pp. 34–46, 2011.
- [4] S. Fan, D. Meng, M. Ai, "Efficiency analytical of five-phase induction motors with different stator connections for fracturing pump drives," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 405–413, 2022.
- [5] H. Tang, S. Lu, G. Qian, J. Ding, Y. Liu, Q. Wang, "*IoT*-Based Signal Enhancement and

- Compression Method for Efficient Motor Bearing Fault Diagnosis," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 2, pp. 1820–1828, 2021.
- [6] Z. Idrees, Z. Zou, L. Zheng, "Edge computing based *IoT* architecture for low cost air pollution *monitoring* systems: A comprehensive system analysis, design considerations & development," *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 9, 2018.
- [7] S. Zaiser, M. Buchholz, K. Dietmayer, "Rotor Temperature Modeling of an Induction Motor using Subspace Identification," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 28, pp. 847–852, 2015.
- [8] K. C. D. Kompella, M. V. G. Rao, R. S. Rao, "Bearing fault detection in a 3 phase induction motor using stator current frequency spectral subtraction with various wavelet decomposition techniques," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 2427–2439, 2018.
- [9] Z. Peng, N.J. Kessissoglou, M. Cox, "A study of the effect of contaminant particles in lubricants using wear debris and vibration condition *monitoring* techniques," *Wear*, vol. 258, no. 11–12, pp. 1651–1662, 2005.
- [10] K. Mykoniatis, "A *real-time* condition *monitoring* and maintenance management system for low voltage industrial motors using internet-of-things," *Procedia Manuf.*, vol. 42, pp. 450–456, 2020.
- [11] A. K. Verma, P. Akkulu, S. v. Padmanabhan, S. Radhika, "Automatic Condition *Monitoring* of Industrial Machines Using FSA-Based Hall-Effect Transducer," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 2, pp. 1072–1081, 2021.
- [12] R. F. Maulana, "Simulasi sistem *monitoring* getaran, suhu dan arus pada motor induksi," Univ. Muhammadiyah Sumatera Utara, 2022.
- [13] X. Chen, Z. Feng, "Induction motor stator current analysis for planetary gearbox fault diagnosis under time-varying speed conditions," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 140, 2020.
- [14] I. G. M. N. Desnanjaya and I. B. A. I. Iswara, "Trainer Atmega32 Sebagai Media Pelatihan Mikrokontroler Dan Arduino", *jurnalresistor*, vol. 1, no. 1, pp. 55–64, Apr. 2018.
- [15] R. N. Ikhsan, N. Syafitri, "Pemanfaatan Sensor Suhu DS18B20 sebagai Penstabil Suhu Air Budidaya Ikan Hias," in *Proc. Seminar Nas. Energi, Telekomunikasi dan Otomasi (SNETO 2021)*, pp. SNETO - 18, *Inst. Teknol. Nas. Bandung*, 2021.
- [16] R. M. Antosia, "Voltmeter Design Based on ADS1115 and *Arduino* Uno for DC Resistivity Measurement," *JTERA (J. Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i1.2019.73-80.
- [17] H. Kuemmler, T. Gross, J. Kolerus, "Machine vibrations and diagnostics the world of ISO," in *Industry Applications Society 60th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, Chicago, IL, USA, 2013, doi: 10.1109/PCICon.2013.6666052.
- [18] V. Miron-Alexe, "Comparative study regarding measurements of different AC current sensors," in *2016 Int. Symp. Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), Bucharest, Romania*, 2016, pp. 1–6, doi: 10.1109/ISFEE.2016.7803152.