



Rancang Bangun Sistem Deteksi Menggunakan Getaran, Suhu, Arus, dan RPM Motor listrik

Haykal Silaban¹, Genap Munthe², Yehezkiel situmorang³, Eka Dodi Suryanto⁴,
Dian putra saragi⁵

¹Teknik elektro, Teknik, Universitas Negeri Medan, Willian Iskandar, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20221

*Penulis Korespondensi: haykalsilaban@gmail.com, Pampean1007@gmail.com
situmorangkiel45@gmail.com, ekadodisuryanto@unimed.ac.id,
dianpsaragi@unimed.ac.id

Abstract Operational reliability in the modern manufacturing sector is highly dependent on the performance of induction motors as the main drive [1]. This dependency poses a significant risk if maintenance is still reactive, as sudden failures can trigger significant financial losses. As a solution, the MachinaSense Predictive Engine Guardian system is designed using ESP32-based Internet of Things (IoT) technology to continuously monitor machine conditions [2]. This system integrates four critical sensor parameters to detect anomalies early. [3]. Meanwhile, the vibration sensor plays a role in detecting mechanical disturbances such as bearing wear through vibration frequency analysis [5]. To prevent insulation damage due to heat, a temperature sensor is used to monitor the condition of the stator [4], while the rotational speed is monitored through an RPM monitoring system to analyze the motor slip value according to the fundamental theory of electrical machines [6]. All sensor data is acquired using I2C and UART communication protocols and then sent to a cloud platform via a WiFi network [4]. This multi-sensor integration has been proven to be able to identify operational deviations before they exceed critical thresholds, thus providing a much more accurate diagnosis than single-sensor methods. The application of this technology not only minimizes downtime, but also becomes a concrete step in the transformation towards Industry 4.0 which prioritizes data-based predictive maintenance [7].

Keywords: Predictive Maintenance, ESP32, Vibration Analysis, , Real-Time Monitoring.

Abstrak Keandalan operasional dalam sektor manufaktur modern sangat bergantung pada performa motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama [1]. Ketergantungan ini menimbulkan risiko besar jika pemeliharaan masih bersifat reaktif, karena kerusakan mendadak dapat memicu kerugian finansial yang signifikan. Sebagai solusi, sistem MachinaSense Predictive Engine Guardian dirancang menggunakan teknologi pemantauan data secara real time berbasis ESP32 untuk melakukan pengawasan kondisi mesin secara kontinu [2]. Sistem ini mengintegrasikan empat parameter sensorik kritis untuk mendeteksi anomali lebih awal. Sementara itu, sensor getaran berperan mendeteksi gangguan mekanis seperti keausan bearing melalui analisis frekuensi getaran [5]. Untuk mencegah kerusakan isolasi akibat panas, sensor suhu digunakan untuk memantau kondisi stator [4], sementara kecepatan putar dipantau melalui sistem monitoring RPM guna menganalisis nilai slip motor sesuai teori fundamental mesin listrik [6]. Seluruh data sensor diakuisisi menggunakan protokol komunikasi I2C Integrasi multi-sensor ini terbukti mampu mengidentifikasi penyimpangan operasional sebelum melewati ambang batas kritis, sehingga memberikan diagnosa yang jauh lebih akurat dibandingkan metode sensor tunggal. Penerapan teknologi ini tidak hanya meminimalisir downtime, tetapi juga menjadi langkah konkret dalam transformasi menuju Industri 4.0 yang mengedepankan pemeliharaan prediktif berbasis data [7].

Kata kunci: Predictive Maintenance, ESP32, Analisis Getaran, Monitoring Real-Time.

LATAR BELAKANG

Dalam ekosistem manufaktur modern, motor listrik memegang peranan vital sebagai penggerak utama pada berbagai peralatan produksi kritis [1]. Keandalan motor ini sangat menentukan stabilitas fungsional sistem industri secara keseluruhan. Namun, penerapan metode perawatan yang bersifat reaktif atau hanya berdasarkan jadwal rutin seringkali gagal mendeteksi kerusakan internal yang tersembunyi, yang pada akhirnya memicu

downtime tidak terencana dan kerugian ekonomi yang masif. Salah satu indikator utama kegagalan fungsional adalah fluktuasi jatuh tegangan dan beban arus yang tidak stabil, yang jika dibiarkan dapat merusak komponen elektronik lainnya [3]. Selain itu, gangguan mekanis yang bermanifestasi dalam bentuk getaran berlebih sering kali menjadi pertanda awal kerusakan pada bagian *bearing* atau ketidakseimbangan poros [5]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan pemeliharaan yang lebih cerdas dan adaptif untuk memitigasi risiko kegagalan sistemik sebelum mencapai ambang batas kritis.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem *MachinaSense Predictive Engine Guardian* yang mengintegrasikan berbagai parameter fisik ke dalam satu platform monitoring berbasis *pemantauan data secara real time dengan module lcd*. Melalui penggunaan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama, sistem ini mampu melakukan akuisisi data secara *real-time* melalui protokol komunikasi I2C, UART, dan SPI [2]. Integrasi sensor suhu, sensor getaran, dan sistem monitoring RPM memungkinkan analisis komprehensif terhadap kondisi kesehatan motor, termasuk pemantauan nilai *slip* yang merupakan indikator efisiensi kinetik motor [6]. Data yang terkumpul kemudian dikirimkan ke *lcd* untuk memberikan akses pengawasan jarak jauh bagi teknisi [4]. Dengan memanfaatkan analisis data multi-parameter ini, diagnosa terhadap gejala kerusakan seperti *overheating* atau beban lebih dapat dilakukan secara lebih akurat dan preventif [7]. Implementasi ini tidak hanya mendukung efisiensi energi, tetapi juga menjadi pilar penting dalam transisi menuju paradigma Industri 4.0 yang berbasis pada konektivitas dan otomatisasi.

KAJIAN TEORITIS

Operasi motor induksi didasarkan pada prinsip elektromagnetika yang melibatkan interaksi antara medan magnet putar stator dan arus induksi pada rotor [1]. Keandalan operasional mesin ini dapat diukur melalui parameter fisik spesifik, di mana munculnya panas berlebih sering kali menjadi indikator awal adanya rugi-rugi daya atau kegagalan isolasi pada lilitan [1], [4]. Selain itu, anomali mekanis seperti kerusakan *bearing* atau ketidakseimbangan poros dapat diidentifikasi secara akurat melalui analisis getaran frekuensi tinggi, sementara performa kinetik motor dievaluasi berdasarkan nilai *slip* yang diperoleh dari perbandingan kecepatan sinkron dan kecepatan putar aktual (RPM) [5], [6].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa efektivitas pengawasan mesin sangat bergantung pada kecepatan akuisisi data dan kemampuan akses jarak jauh. Penggunaan mikrokontroler modern seperti ESP32 telah terbukti efektif dalam memfasilitasi antarmuka (*interfacing*) berbagai modul sensor melalui protokol komunikasi serial seperti I2C dan UART [2]. Penelitian terkait sistem akuisisi data menunjukkan bahwa integrasi memungkinkan pengiriman informasi suhu dan kelembaban ke *platform cloud* secara *real-time* dengan tingkat kesalahan yang minimal [4]. Lebih lanjut, pengembangan sistem peringatan dini menggunakan sensor getaran telah berhasil diimplementasikan untuk memberikan notifikasi otomatis saat mesin mengalami gangguan fisik yang melebihi ambang batas keamanan [5]. Berdasarkan tinjauan tersebut, penelitian ini

menggabungkan parameter getaran, suhu, dan RPM ke dalam satu kesatuan sistem pemeliharaan prediktif yang komprehensif guna memberikan diagnosa kerusakan yang lebih valid dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang cenderung berfokus pada parameter tunggal [7].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental laboratorium untuk merancang bangun *prototype* sistem monitoring *MachinaSense Predictive Engine Guardian*. Fokus penelitian dilakukan pada motor induksi sebagai objek utama, di mana pengambilan data dilakukan melalui teknik akuisisi data sensoris secara *real-time*. Instrumen pengumpulan data utama terdiri dari sensor suhu DS18B20 [4], sensor getaran SW420 [5], dan *rotary encoder* untuk parameter RPM [6]. Seluruh data sensor tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan protokol komunikasi I2C dan UART untuk kemudian dikirimkan ke platform lcd 12c. Alat analisis data yang digunakan meliputi komputasi numerik pada MATLAB untuk memodelkan tren anomali dan perhitungan nilai *slip* (s), di mana s didefinisikan sebagai selisih antara kecepatan sinkron (n_s) dan kecepatan rotor (s_r) dibagi dengan kecepatan sinkron [1]. Validitas instrumen dipastikan melalui kalibrasi dengan alat ukur standar, di mana pengujian reliabilitas menunjukkan tingkat *error* yang rendah dan konsisten, sehingga sistem mampu memberikan peringatan dini (*early warning*) yang valid saat data sensor melewati ambang batas keamanan yang telah ditentukan [7].

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 desain penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium yang berfokus pada rancang bangun sistem pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*) untuk motor listrik. Prosedur penelitian diawali dengan identifikasi masalah mengenai kegagalan motor listrik di industri, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur untuk memahami karakteristik elektromagnetik motor dan parameter sensor yang relevan [1]. Secara sistematis, desain penelitian ini dibagi menjadi empat tahapan utama:

1. Tahap Perancangan Perangkat Keras dan Lunak.
2. Tahap Implementasi dan finishing
3. Tahap Pengujian dan Koleksi Data
4. Tahap Analisis dan Evaluasi

4.2 Alat dan Bahan

1. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berperforma tinggi yang digunakan sebagai "otak" dari sistem *MachinaSense*. Dengan prosesor *dual-core* yang cepat, ESP32 mampu mengolah data sensor mentah dan membandingkannya dengan ambang batas (*threshold*) keamanan secara *real-time* untuk menentukan status kondisi motor (Normal, Waspada, atau Bahaya) [7], [8].

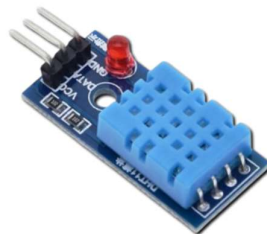


Gambar 1 module esp32

Pemilihan ESP32 didasarkan pada efisiensi biaya dan kemampuannya dalam mendukung ekosistem Industri 4.0, di mana konektivitas dan kecepatan transmisi data menjadi kunci utama dalam sistem pemeliharaan prediktif.

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem, setiap sensor yang digunakan tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur, tetapi juga sebagai parameter utama dalam menentukan kondisi kesehatan motor induksi secara menyeluruh. Integrasi antar sensor ini membentuk suatu sistem monitoring yang saling melengkapi dalam mendeteksi potensi gangguan sejak dini.

2. Sensor Suhu (DS18B20)



Gambar 3 sensor suhu DHT11

Mengukur suhu operasional pada permukaan *casing* atau area lilitan motor secara digital. Panas adalah hasil akhir dari hampir semua jenis gangguan, baik elektrik maupun mekanis [4]. Berdasarkan referensi motor listrik, kenaikan suhu yang ekstrem dapat mempercepat degradasi isolasi pada lilitan motor. Jika suhu melewati ambang batas aman (misal $>80^{\circ}\text{C}$), sistem akan memberikan peringatan untuk mencegah kerusakan permanen [1].

Sensor suhu digunakan untuk memvalidasi kondisi termal motor akibat gangguan listrik maupun mekanis. Kenaikan suhu pada motor induksi umumnya disebabkan oleh rugi-rugi daya seperti rugi tembaga, rugi inti, dan gesekan mekanis.

Berdasarkan teori motor induksi, peningkatan beban akan menyebabkan kenaikan arus stator yang berdampak langsung terhadap peningkatan daya aktif dan panas pada motor. Oleh karena itu:

1. Suhu menjadi indikator lanjutan (*Secondary indicator*) setelah arus
2. Suhu tinggi menunjukkan akumulasi gangguan dalam jangka waktu tertentu

Dalam sistem ini, suhu digunakan sebagai parameter proteksi untuk mencegah kerusakan isolasi lilitan akibat *overheating*.

3. Rotary Encoder (Sensor RPM)



Gambar 4 module sensor rpm

Menghitung jumlah putaran per menit (RPM) motor. Data ini sangat krusial untuk menghitung nilai **Slip** (\$s\$), yaitu selisih antara kecepatan medan magnet putar (sinkron) dan kecepatan aktual rotor [6].

Pengukuran kecepatan motor menggunakan rotary encoder sangat penting untuk menganalisis performa motor secara dinamis. Nilai RPM digunakan untuk menghitung **slip**, yaitu selisih antara kecepatan sinkron dan kecepatan rotor.

Konsep slip pada motor induksi dijelaskan bahwa rotor selalu berputar lebih lambat dari medan magnet stator, dan perbedaan ini dinyatakan sebagai slip .

Berikut hubungan slip:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

Dimana:

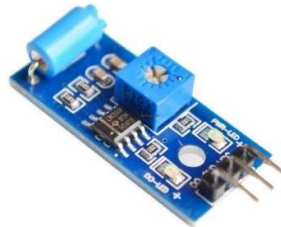
- n_s = kecepatan sinkron (rpm)
- n_r = kecepatan rotor (rpm)

Dalam kondisi normal, slip berkisar antara 2–5%. Jika terjadi:

- **Slip meningkat** → indikasi beban berlebih atau kerusakan rotor
- **Slip terlalu kecil** → indikasi beban ringan atau no-load

Dengan demikian, sensor RPM tidak hanya mengukur kecepatan, tetapi juga menjadi parameter penting dalam diagnosis kondisi elektromekanis motor.

5. Sensor Getaran

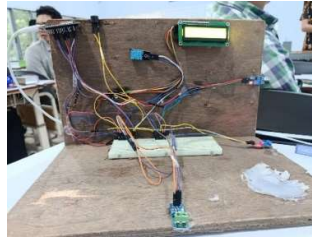


Gambar 5 sensor getaran

ini memantau amplitudo dan frekuensi getaran mesin. Dalam kondisi normal, motor memiliki pola getaran yang stabil. Jika terjadi kenaikan intensitas getaran, ini

merupakan indikasi awal adanya masalah seperti *bearing* yang aus, poros yang tidak sejajar (*misalignment*), atau kendongan mekanis [5].

4. Hasil Pengukuran Parameter



Gambar 6 Hasil Rancangan Sistem Deteksi

Bentuk keseluruhan prototype untuk alat pendeteksi gangguan pada motor listrik

4.1 keadaan Normal Alat



Gambar: *deteksi keadaan motor normal*

Pada saat keadaan motor listrik normal, maka sensor akan menampilkan kondisi normal motor, mulai dari, rpm motor yang stabil, getaran motor yang stabil dan suhu motor yang tidak ada potensi panas berlebih, maka keadaan pemantauan lcd akan menunjukkan keadaan motor akan normal

4.2 keadaan motor tidak normal



Gambar : keadaan motor tidak normal

Pada saat pengujian dilakukan, terdapat 2 gangguan pada motor yaitu rpm yang melonjak akibat lonjakan tegangan yang langsung ditampilkan pada module lcd, dan berpengaruh pada getaran yang menyebabkan putaran bearing pada motor tidak normal yang menyebabkan getarannya tidak normal

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian sistem predictive maintenance pada motor listrik, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32 serta sensor suhu, RPM, dan getaran mampu bekerja secara terintegrasi dalam memantau kondisi motor secara real-time.
2. Parameter multi-sensor meningkatkan akurasi deteksi gangguan. Kombinasi parameter arus, suhu, kecepatan (RPM), dan getaran terbukti lebih efektif dalam mendeteksi kondisi motor dibandingkan penggunaan satu parameter saja.
 1. Suhu → menunjukkan kondisi termal
 2. Slip (RPM) → menunjukkan performa motor
 3. Getaran → mendeteksi gangguan mekanis
3. Sistem mampu mengklasifikasikan kondisi motor secara otomatis. Berdasarkan nilai ambang batas (threshold), sistem dapat mengelompokkan kondisi motor menjadi:
 1. Normal
 2. Warning
 3. Fault.
4. Sistem mampu mendeteksi potensi kerusakan lebih dini (early fault detection). Indikasi gangguan seperti kenaikan suhu, slip, dan getaran dapat terdeteksi sebelum terjadi kerusakan fatal, sehingga dapat mengurangi downtime dan biaya perawatan.

SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan (AI/ML). Sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan algoritma machine learning untuk melakukan prediksi kerusakan secara lebih akurat berdasarkan pola data historis.
2. Penambahan parameter monitoring. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan sensor lain seperti:
 1. Tegangan (voltage sensor)
 2. Faktor daya (power factor)

3. Analisis harmonisa
4. arus
guna mendapatkan analisis kondisi motor yang lebih komprehensif.
3. Pengujian pada skala industri nyata
Sistem perlu diuji langsung pada lingkungan industri secara kontinu dalam jangka waktu yang lebih lama untuk mengetahui tingkat keandalan dan kestabilan sistem.
4. Pengembangan antarmuka monitoring (dashboard)
Disarankan untuk membuat tampilan dashboard berbasis web atau mobile yang lebih interaktif agar memudahkan pengguna dalam membaca data dan notifikasi sistem.
5. Integrasi dengan sistem proteksi eksisting
Sistem predictive maintenance dapat dikombinasikan dengan perangkat proteksi seperti MCCB dan Thermal Overload Relay (TOR) untuk menciptakan sistem proteksi yang lebih optimal dan otomatis.

DAFTAR REFERENSI

Artikel Jurnal

- [1] M. Taif, M. Y. H. Abbas, dan Moh. Jamil, “Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM Shield,” *Jurnal PROtek*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [2] A. Fitriandi, “Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway,” 2016.
- [3] D. W. Suryawan, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Temperatur pada Sistem Pencatu Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler ATmega128,” 2012.
- [4] E. Supriyanto, “Rancang Bangun Alat Pendeteksi Dini untuk Drop Tegangan Berbasis SMS Gateway,” 2015.
- [5] L. A. Subagyo, “Sistem Monitoring Arus Tidak Seimbang 3 Fasa Berbasis Arduino Uno,” 2017.
- [6] R. Sulistyowati, “Perancangan Prototype Sistem Kontrol dan Monitoring Pembatas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler,” 2012.
- [7] E. D. Meutia, “Internet of Things – Keamanan dan Privasi,” Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro, 2015.
- [8] N. Kolban, *Kolban's Book on ESP32*, 2017.