

Prototipe Sistem Monitoring Gangguan Motor Tiga Fasa Berbasis *Internet of Things*

Prototype of a Three-Phase Motor Fault Monitoring System Based on IoT

Emanuel Purwadi Wicaksono, Subuh Isnur Haryudo *

Universitas Negeri Surabaya, Jl. Lidah Wetan, Lidah Wetan, Kec. Lakarsantri, Surabaya, Jawa Timur 60213

Email* : subuhisnur@unesa.ac.id

Abstrak – Dalam dunia industri, motor tiga fasa banyak dipakai karena mempunyai konstruksi yang sederhana, perawatannya mudah, putarannya konstan, murah, kehandalan tinggi dan punya faktor daya yang tinggi. Namun, pada saat pengoperasian motor tiga fasa sering terjadi gangguan seperti ketidakseimbangan tegangan, ketidakseimbangan arus, beban berlebih, bahkan *overheat*. Penelitian ini dilakukan agar menghasilkan sebuah sistem monitoring gangguan motor tiga fasa yang dapat mudah diakses melalui web dan memiliki nilai akurasi yang baik. Metode penelitian menggunakan metode ADDIE (*Analysis, Design, Development, and Evaluation*) dengan pendekatan bersifat kuantitatif. Hasil rata-rata pengukuran motor menggunakan sensor PZEM004T mendapatkan nilai tegangan tanpa beban sebesar 220V – 223V dengan error 1,04% - 1,95%, nilai tegangan fasa tunggal sebesar 217V – 224,4V dengan error sebesar 1,14% - 2,5%, nilai rata-rata arus sebesar 2A – 4,2A dengan error sebesar 0% - 16,6%, nilai daya aktif sebesar 144,6W – 790,4W. Hasil pengukuran suhu motor menggunakan sensor LM35 sebesar 38°C - 50°C dengan nilai error sebesar 1,06% - 2,5%. Hasil pengukuran RPM (*Revolution per Minute*) menggunakan sensor optocoupler sebesar 1027 – 2375 dengan nilai error sebesar 0,26% - 58,71%. Web yang digunakan dapat digunakan dengan baik yang dapat diakses dengan alamat web dan dapat menampilkan hasil pengukuran oleh sensor dengan jelas. Akurasi yang dihasilkan dari sensor PZEM004T cukup baik, pada sensor LM35 juga cukup baik, namun sensor optocoupler memiliki akurasi yang buruk dan tidak cocok untuk mengukur RPM motor tiga fasa.

Kata kunci : Monitoring gangguan, ADDIE, ketidakseimbangan fasa.

Abstract - In industrial world, three-phase motors are widely used because they have simple construction, easy maintenance, constant rotation, cheap, high reliability and have a high power factor. However, when operating a three-phase motor, disturbances often occur such as voltage imbalance, current imbalance, excessive load, and even *overheat*. This research was conducted to produce a three-phase motor disturbance monitoring system that can be easily accessed via the web and has good accuracy values. The research method uses the ADDIE (*Analysis, Design, Development, and Evaluation*) method with a quantitative approach. The average results of motor measurements using the PZEM004T sensor obtained a no-load voltage value of 220V – 223V with an error of 1.04% - 1.95%, a single phase voltage value of 217V – 224.4V with an error of 1.14% - 2, 5%, average current value of 2A – 4.2A with error of 0% - 16.6%, active power value of 144.6W – 790.4W. The results of motor temperature measurements using the LM35 sensor were 38 °C - 50 °C with an error value of 1.06% - 2.5%. The RPM (*Revolution per minute*) measurement results using an optocoupler sensor were 1027 – 2375 with an error value of 0.26% - 58.71%. The website used can be used properly, which can be accessed with a web address and can display measurement results by sensors clearly. The accuracy resulting from the PZEM004T sensor is quite good, the LM35 sensor is also quite good, but the optocoupler sensor has poor accuracy and is not suitable for measuring three-phase motor RPM.

Keywords : Disturbances monitoring, ADDIE, Phase imbalance.

I. PENDAHULUAN

Jenis motor induksi yang sering dipakai dalam industri yaitu motor tiga fasa [1]. Motor tiga fasa biasanya digunakan di berbagai aplikasi industri, contohnya sebagai mesin penggerak, sistem pengaturan suhu, sistem penyemprotan, sistem pemompaan, dan masih banyak lagi penerapannya [2]. Menurut [3, 4] pertimbangan untuk menggunakan motor induksi tiga fasa karena memiliki konstruksi yang sederhana yang mudah perawatannya, putaran yang relatif konstan dengan perubahan beban, biaya yang murah, kehandalan yang tinggi, dan memiliki faktor daya yang baik. Akan tetapi, Pada pengoprasian motor tiga fasa sering mengalami gangguan seperti ketidakseimbangan fasa, tegangan berlebih, overload, dan overheat [5, 6]. Suplai tegangan yang kurang akan menyebabkan kenaikan arus motor [7]. Tegangan lebih akan menyebabkan tegangan tembus isolasi dan arus lebih akan menyebabkan lilitan pada motor akan panas. Temperatur sangat mempengaruhi umur motor, jika motor terus memiliki temperatur yang tinggi akan mengakibatkan kerusakan pada belitan motor. Akibat dari panas tinggi yang berlangsung lama menyebabkan umur motor menjadi pendek karena isolasi pada kumparan rusak, putaran dan torsi pada motor juga akan turun, sehingga bisa berdampak kerusakan pada motor [5]. Selain itu, semakin cepat putaran dari motor tiga fasa akan menyebabkan tegangan dan arus semakin besar tersebut [8]. Menurut [9, 10] monitoring pada tegangan dan arus motor tiga fasa perlu dilakukan agar kinerja motor dalam keadaan baik dan saat ada gangguan dapat dideteksi sedini mungkin. Monitoring tegangan dan arus motor tiga fasa biasanya masih dilakukan secara manual. Menurut [11] pengukuran manual menggunakan alat ukur langsung dinilai kurang fleksibel. *Engineer* mendatangi motor tiga fasa dan membawa alat ukur untuk mengukur tegangan dan arus motor tiga fasa tersebut. Pekerjaan ini memiliki resiko *human error* dan tidak efektif.

Penelitian mengenai ketidakseimbangan fasa dan gangguan lainnya pada motor tiga fasa sudah banyak dilakukan. Contohnya pada penelitian yang dilakukan [12] yang menganalisis ketidakseimbangan tegangan dan kenaikan suhu pada motor induksi tiga fasa saat terjadi gangguan *single-phasing* dalam kondisi tanpa beban dan berbeban. Namun pada penelitian tersebut hanya menganalisis gangguan motor tiga fasa yang disebabkan oleh ketidakseimbangan tegangan dan suhu, Oleh sebab itu, penelitian ini

akan mengembangkan penelitian sebelumnya dengan menganalisis gangguan pada motor tiga fasa yang disebabkan oleh tegangan, arus, daya, suhu, dan RPM. Penelitian lainnya mengenai ketidakseimbangan fasa yang dilakukan [13] menganalisis sebuah mesin induksi *flock feeder* yang mengalami gangguan *overload*. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh hubungan ketidakseimbangan tegangan terhadap kinerja motor listrik, naiknya arus, naiknya temperatur, turunnya torsi dan daya yang terpakai. Pada penelitian yang akan dilakukan kali ini akan menganalisis gangguan motor tiga fasa berdasarkan hasil pengukuran sensor tegangan, arus, dan daya terhadap suhu dan RPM. Berbeda dari penelitian sebelumnya, semua pengukuran akan dilakukan oleh mikrokontroler dan dapat dimonitor melalui web.

Penelitian tentang sistem monitoring motor tiga fasa sudah banyak diangkat. Contohnya dalam penelitian [14] yang berjudul "Monitoring Suhu, Vibrasi dan Arus Motor Induksi 3 Fasa". Penelitian tersebut menggunakan sensor MLX90614 sebagai sensor suhu, sensor piezoelektrik sebagai sensor vibrasi dan sensor PZEM 004T sebagai sensor arus dan tegangan. Wemos D1 Mini berfungsi sebagai modul *wifi* dan menggunakan aplikasi *thingspeak* yang berfungsi sebagai media tampilan web yang menampilkan parameter yang dimonitor. Penelitian ini mengembangkan penelitian sebelumnya yang menggunakan sistem monitoring berbasis IoT (*Internet of Things*). Namun akan memonitoring pengukuran yang lebih kompleks dan dimonitoring melalui web. Selain itu ada juga penelitian yang dilakukan oleh [15] yang membuat sistem monitoring motor tiga fasa. Sistem monitoring terdiri dari sensor PZEM-004T sebagai sensor arus, tegangan, dan daya, Wemos D1 Mini dan LCD, RTC DS1307 untuk sinkronisasi waktu pada LCD. Sensor PZEM-004T mengukur besaran listrik seperti arus, tegangan, dan daya pada motor listrik. Selanjutnya Wemos D1 mini mengolah data hasil pembacaan tersebut serta mengirim dan menampilkan data tersebut pada layar LCD. Penelitian sebelumnya tidak menerapkan IoT dalam menyajikan hasil pengukuran PZEM-004T yang mengukur tegangan, arus, dan daya. Sehingga pada penelitian ini akan menggunakan web untuk menampilkan hasil pengukuran dan monitoring secara *real-time*.

Berdasarkan latar belakang dan referensi dari penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah prototipe sistem monitoring motor tiga fasa yang dapat diakses via web secara *real-time*. Berbeda dari penelitian

lainnya yang telah dilakukan, sistem monitoring ini akan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama dan modul wifi untuk IoT, sensor PZEM-004T untuk mengukur arus, tegangan, dan daya pada tiap fasa, sensor LM35 untuk mengukur suhu pada badan motor, dan sensor optocoupler akan mengukur RPM dari putaran poros dari encoder. Dengan penelitian ini diharapkan menghasilkan sistem monitoring gangguan motor tiga fasa yang dapat diakses dengan mudah serta memiliki tingkat akurasi yang baik.

II. METODOLOGI

A. Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode ADDIE dengan pendekatan yang bersifat kuantitatif. Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan referensi dari suatu fenomena dan mengkaji teori berdasarkan masalah yang ada sehingga dapat dihasilkan suatu produk atau inovasi berdasarkan dari hasil analisis kebutuhan kebutuhan dan target *audiens*, merancang produk atau inovasi yang sesuai, mengembangkan produk atau inovasi dengan prinsip-prinsip mengacu pada kualitas, mengimplementasikan produk atau inovasi, dan melakukan evaluasi untuk mengetahui keefektifan dan efisiensi produk atau inovasi tersebut.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya dan dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2023.

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah cara yang digunakan untuk mengumpulkan informasi atau data didalam penelitian. Dalam penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data yaitu:

- 1) Studi Literatur, studi literatur dilakukan sebagai pengumpulan referensi dari buku atau jurnal yang berhubungan dengan sistem monitoring motor tiga fasa, sehingga dari hasil studi literatur didapatkan rumusan masalah dan penyelesaiannya.
- 2) Observasi, observasi dilakukan dengan pengamatan dan perencanaan yang sistematis pada motor tiga fasa dan sistem monitoring.
- 3) Dokumentasi, dokumentasi dilakukan dengan pengumpulan data hasil pengukuran dan monitoring motor tiga fasa.

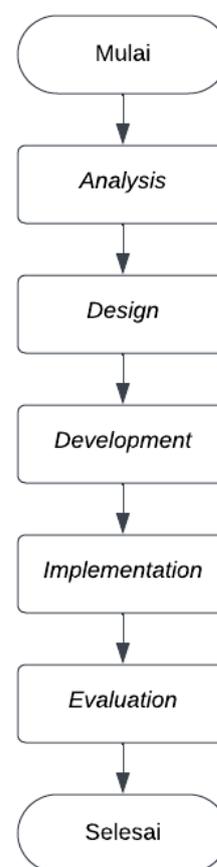
D. Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian ini yaitu:

- 1) Data spesifikasi motor tiga fasa yang digunakan.
- 2) Data spesifikasi dan *library* dari komponen mikrokontrol yang digunakan.
- 3) Alat ukur terkalibrasi sebagai pembanding hasil pengukuran.

E. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini menggunakan tahap-tahap dalam metode ADDIE yang dijabarkan dalam diagram alir pada **Gambar 1** dibawah ini.



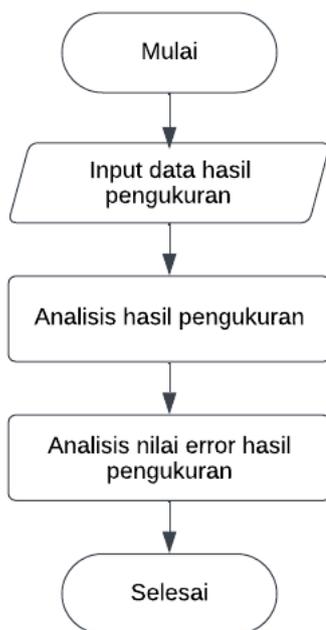
Gambar 1. Diagram Alir Rancangan Penelitian

- 1) *Analysis* (Analisis), analisis dilakukan dengan pengumpulan informasi dari buku dan jurnal mengenai sistem monitoring motor tiga fasa dan gangguan pada motor tiga fasa sehingga didapatkan rumusan masalah tentang perancangan sistem monitoring motor tiga fasa.
- 2) *Design* (desain), desain dilakukan dengan merancang sebuah sistem monitoring motor tiga fasa yang fleksibel, mudah diakses, dan akurat, sesuai dengan masalah yang telah diangkat.

- 3) *Development* (Pengembangan), pengembangan dilakukan dengan mengembangkan sistem monitoring motor tiga fasa yang dapat mengukur tegangan, arus, daya, suhu, serta RPM secara *realtime* dan dapat diakses melalui web.
- 4) *Implementation* (Implementasi), implementasi dilakukan dengan pembuatan sistem monitoring motor tiga fasa berbasis IoT mulai dari perancangan rangkaian mikrokontroler, web monitoring, dan rangkaian daya dan kontrol motor tiga fasa.
- 5) *Evaluation* (Evaluasi), evaluasi dilakukan dengan menganalisa sistem monitoring motor tiga fasa dan menganalisa hasil pengukuran, sehingga dapat menjawab rumusan masalah.

F. Teknik Analisis Data

Dalam teknik analisis data dimulai dengan pengumpulan data hasil pengukuran, analisis hasil pengukuran, dan perbandingan hasil pengukuran. Untuk lebih jelas dapat dilihat dalam diagram alir pada **Gambar 2** dibawah.



Gambar 2. Diagram Alir Teknik Analisis Data

- 1) Input data hasil pengukuran, pengumpulan data hasil pengukuran dari sensor dan alat ukur. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit untuk melihat perubahan yang terjadi pada motor tiga fasa.
- 2) Analisis hasil pengukuran, menganalisis hasil pengukuran sehingga mengetahui keadaan

motor tiga fasa berdasarkan data hasil pengukuran tersebut.

- 3) Analisis nilai error hasil pengukuran, menganalisis nilai error dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari sensor dengan pengukuran alat ukur terkalibrasi sehingga mendapatkan nilai akurasi dari pengukuran sistem monitoring motor tiga fasa yang telah dibuat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Motor Tiga Fasa

Motor tiga fasa yang dipakai untuk pengambilan data yaitu motor tiga fasa weg 3-AL80. Untuk spesifikasi motor akan ditampilkan pada **Tabel I** dibawah ini.

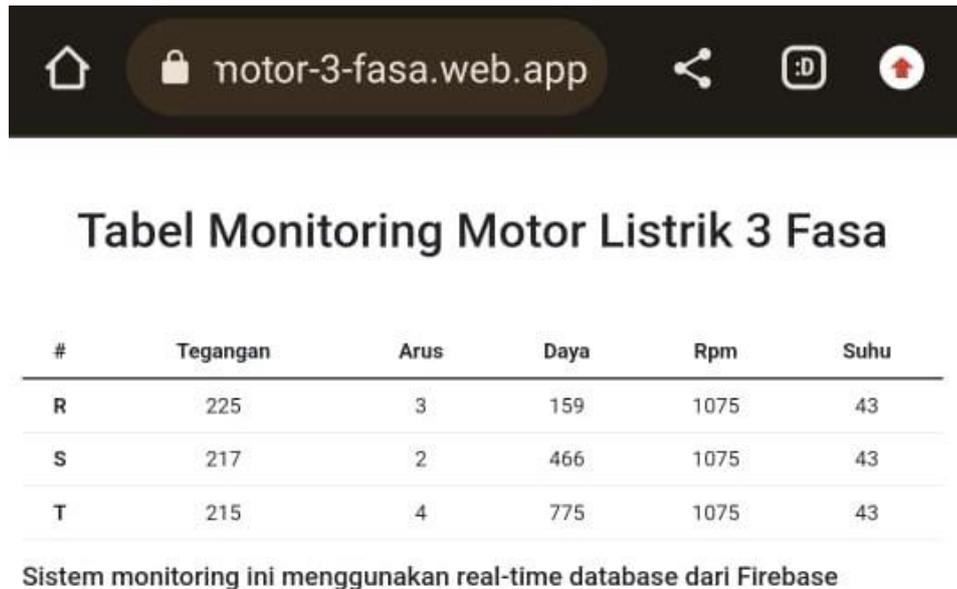
Spesifikasi Motor	
Frame	80
Output	0.75KW(1.0HP)
Number of poles	3
Frequency	50Hz
Rated Speed	1415 min ⁻¹
Rated Voltage	220/380
Rated Current	3.11/1.80
Insulation Class	F
Imbident temperature	40°C
Cos μ	0.83

Motor tiga fasa dapat bekerja pada frekuensi 50Hz dengan tegangan 220V/380V dan arus 3.11A/1.80A. Daya yang diperlukan untuk mengoprasikan motor dengan beban optimal sebesar 0.75KW atau 1HP dan menghasilkan rotasi per menit (RPM) sebesar 1415 min⁻¹. Memiliki cospi 0,83 dalam perhitungan daya. Insulasi kelas F dengan *ambident temperature* (suhu lingkungan) maksimal 40 °C, maksimal peningkatan suhu saat beban puncak 105°C. Sehingga suhu maksimal pengorasan sesuai standar yaitu 155 °C. RPM saat beban optimal sebesar 1415.

B. Hasil Rancang Bangun Sistem Monitoring

- 1) Rangkaian Kontrol dan Daya Motor 3 Fasa

Untuk pengambilan data pada penelitian ini, motor tiga fasa disambung seperti **Gambar 3** diatas. Rangkaian kontrol dan rangkaian daya motor menggunakan rangkaian *direct on-line* (DOL) agar mempermudah pengambilan data.



Gambar 5. Tampilan Web Monitoring

Gambar 5 merupakan tampilan dari web monitoring yang diakses via *smartphone*. Hasil yang ditampilkan pada web monitoring berupa tegangan, arus, dan daya dari tiap fasa, suhu motor, dan kecepatan RPM. Untuk *database* menggunakan *real-time database* dari *Firestore* yang menampilkan hasil pembacaan sensor secara *real-time*.

C. Anaisis Hasil Pengujian Sensor

Dalam bab ini akan menganalisis data hasil pengukuran yang telah dilakukan. Data yang ditampilkan merupakan data hasil pengukuran dengan prototipe sistem monitoring motor tiga fasa dan data hasil pengukuran dengan alat yang sudah terkalibrasi. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang performa dan kondisi motor 3 fasa yang telah diuji serta mengetahui nilai error dari perbandingan hasil pengukuran.

1) Pengukuran Tegangan Tanpa Beban

Pengukuran tegangan tanpa beban ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sumber tegangan yang akan digunakan untuk mengoperasikan motor.

Tabel II. Hasil Pengukuran Menggunakan PZEM004T

Tegangan Tanpa Beban (V)	
R	222
S	223
T	223

Tabel II merupakan tabel hasil pengukuran tegangan sumber menggunakan alat sistem monitoring yang telah dibuat. Pada web monitoring

akan menampilkan tegangan fasa tunggal dari fasa R, S, dan T. Hasil tegangan tanpa beban fasa tunggal pada fasa R sebesar 222V, fasa S sebesar 223V, dan fasa T 223V. Dari hasil pengukuran tegangan tanpa beban, diketahui bahwa sumber tegangan untuk motor tiga fasa yang akan dipakai dalam kondisi baik dan memenuhi standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik).

Tabel III. Tabel Nilai Error Hasil Pengukuran Tegangan Tanpa Beban Fasa Tunggal

Fasa	PZEM004T	Amperemeter	Error
R	222	219,9	1,95%
S	223	220,4	1,04%
T	223	219,9	1,31%

Dari **Tabel III** menampilkan hasil perhitungan tegangan tanpa beban untuk fasa tunggal dari pengukuran volmeter dan PZEM004T dan didapatkan hasil error tiap fasa. Pada fasa R memiliki nilai error 1,95%, fasa S memiliki nilai error 1,04%, dan fasa T memiliki nilai error 1,31%. Dengan nilai error tertinggi sebesar 1,95%, PZEM004T memiliki akurasi yang baik dalam mengukur tegangan tanpa beban.

2) Pengukuran Tegangan Fasa Tunggal

Setelah mengukur tegangan tanpa beban, kali ini akan membahas tegangan, arus, dan daya pada motor 3 fasa. Motor tidak diberikan beban apapun pada poros dan dirangkai menggunakan sistem DOL.

Tabel IV. Tabel Hasil Pengukuran Tegangan Menggunakan PZEM004T

Waktu	Tegangan (V)		
	R	S	T
Menit ke-5	224	216	217
Menit ke-10	225	217	215
Menit ke-15	224	213	216
Menit ke-20	225	217	215
Menit ke-25	224	224	222
Rata-rata	224,4	217,4	217

Tabel IV merupakan hasil pengukuran tegangan menggunakan PZEM004T. Pengukuran dilakukan 5 kali untuk melihat kenaikan fasa dan mendapatkan nilai rata-rata dari hasil pengukuran. Nilai rata-rata hasil pengukuran tegangan pada fasa R sebesar 22,4V, fasa S sebesar 217,4V, dan fasa T sebesar 217,4V. Pada sistem DOL yang digunakan motor 3 fasa, tegangan memiliki nilai yang seimbang dan memenuhi standar PUIL.

Tabel V. Tabel Nilai Error Hasil Pengukuran Tegangan Fasa Tunggal

Fasa	PZEM004T	Amperemeter	Error
R	224,4	219,9	2,5%
S	217,4	219,9	1,14%
T	217	219,9	1,32%

Tabel V merupakan tabel hasil perbandingan nilai pengukuran tegangan menggunakan voltmeter dan PZEM004T. Setelah melihat perbandingan antara hasil pengukuran tegangan dengan voltmeter dan hasil rata-rata pengukuran dengan PZEM004T, didapatkan nilai error dari perbandingan tersebut. Untuk fasa R memiliki nilai error sebesar 2,5%, pada fasa S sebesar 1,14%, dan pada fasa T sebesar 1,32%. Dengan nilai error tertinggi sebesar 2,5%, PZEM004T memiliki akurasi yang baik dalam mengukur tegangan.

3) Pengukuran Arus

Pada pengambilan data arus motor, motor tiga fasa di aliri listrik dari sumber tegangan 380V menggunakan sistem DOL dan diukur besarnya arus yang mengalir pada motor tersebut secara seri. Pada sistem DOL yang dipakai, beban yang terpasang pada sistem hanya motor 3 fasa yang akan diuji tanpa ada beban pada poros motor. Pada nameplate motor diketahui arus optimal untuk motor sebesar 3,11A saat dialiri tegangan 220V dan sebesar 1,80A saat dialiri tegangan 380V.

Tabel VI merupakan hasil pengukuran arus menggunakan PZEM004T. Pengukuran dilakukan 5 kali untuk melihat kenaikan arus dan mendapatkan nilai rata-rata dari hasil pengukuran. Nilai hasil pengukuran arus pada fasa R memiliki

rata-rata sebesar 2,6A, pada fasa S sebesar 2A, dan pada fasa T sebesar 4,2A. Arus yang mengalir pada tiap fasa melebihi standar yang tertera pada nameplate. Terdapat ketidakseimbangan antarfasa dari arus yang mengalir pada motor.

Tabel VI. Tabel Hasil Pengukuran Arus Menggunakan PZEM004T

Waktu	Arus (A)		
	R	S	T
Menit ke-5	3	2	4
Menit ke-10	3	2	5
Menit ke-15	3	2	4
Menit ke-20	2	2	4
Menit ke-25	2	2	4
Rata-rata	2,6	2	4,2

Tabel VII. Tabel Nilai Error Pengukuran Arus

Fasa	PZEM004T	Amperemeter	Error
R	2,6	3,1	13,16%
S	2	2,4	16,6%
T	4,2	4,2	0%

Tabel VII merupakan tabel hasil perbandingan nilai pengukuran arus menggunakan amperemeter dan PZEM004T. Setelah melihat perbandingan antara hasil pengukuran tegangan dengan amperemeter dan hasil rata-rata pengukuran dengan PZEM004T, didapatkan nilai error dari perbandingan tersebut. Untuk fasa R memiliki nilai error sebesar 13,16%, pada fasa S sebesar 16,6%, dan pada fasa T sebesar 0%. Perbandingan nilai error pengukuran arus sekitar 0% - 16,6%. Hal ini bisa disebabkan karena pengambilan nilai arus menggunakan PZEM004T dilakukan dengan nilai rata-rata dari 5 kali pengambilan. Pada saat pengambilan data arus, motor akan mengalami lonjakan arus saat *starter*. Akurasi PZEM004T dalam mengukur arus memiliki nilai error paling besar 16,6% dan dapat dikatakan cukup baik.

4) Pengukuran Daya

Pada pengambilan data daya motor, yang diukur pada PZEM004T merupakan daya aktif. Motor dijalankan menggunakan sistem DOL dan tidak diberi beban pada poros.

Tabel VIII. Tabel Hasil Pengukuran Daya Menggunakan PZEM004T

Waktu	Daya (W)		
	R	S	T
Menit ke-1	125	430	743
Menit ke-2	123	466	775
Menit ke-3	199	532	864
Menit ke-4	159	466	775
Menit ke-5	117	485	795
Rata-rata	144,6	475,8	790,4

Tabel VIII merupakan hasil pengukuran daya menggunakan PZEM004T. Pengukuran dilakukan 5 kali untuk melihat perbedaan konsumsi daya saat dialiri tegangan dan arus tertentu, sehingga mendapatkan nilai rata-rata dari hasil pengukuran. Nilai hasil pengukuran daya pada fasa R memiliki rata-rata 144,6 Watt, pada fasa S 475,8 Watt, dan pada fasa T 790,4 Watt. Pada nameplate motor, terdapat standar daya optimal saat menjalankan motor tersebut yaitu 750 Watt. Motor 3 fasa yang bekerja optimal akan mengkonsumsi 750 Watt saat diberi beban yang sesuai.

Daya yang dimaksud pada pengukuran menggunakan PZEM004T merupakan daya aktif yang berlangsung pada saat itu (real-time). Meskipun motor tidak diberi beban, tetapi ada beberapa kerugian internal dan komponen yang mengkonsumsi daya. Oleh sebab itu, daya aktif akan lebih rendah dibandingkan ketika motor diberikan beban penuh, motor masih akan mengkonsumsi daya untuk mengoprasikannya. Pada penelitian ini akurasi PZEM004T dalam mengukur daya aktif belum bisa dibuktikan karena tidak ada alat ukur yang dapat mengukur daya aktif.

5) Pengukuran Suhu

Pada bagian ini akan membahas hasil pengujian sensor suhu motor tiga fasa yang telah dilakukan. Analisis data dari hasil pengukuran akan memberikan gambaran tentang kondisi motor terkait perubahan suhu terhadap waktu. Pada nameplate motor diketahui motor yang digunakan termasuk golongan *insulation class* F dan memiliki *ambient temperature* sebesar 40°C. berdasarkan standar IEC (International Electrotechnical Commission), suhu kumparan maksimal saat operasional beban puncak yaitu sebesar 155 °C dan maksimal suhu lingkungan motor sebesar 40 °C.

Tabel IX. Tabel Hasil Pengukuran Temperatur Suhu Menggunakan LM35

Suhu (°C)	
Menit ke-5	38
Menit ke-10	41
Menit ke-15	41
Menit ke-20	46
Menit ke-25	50

Dari **Tabel IX** hasil pengukuran suhu motor, didapatkan perubahan suhu dari menit ke-5 hingga menit ke-25 sebesar 38 °C ke 50 °C. Perubahan suhu ini termasuk besar dan juga saat pengoprasian motor dalam pengambilan data motor mengeluarkan bau terbakar. Hal ini

memungkinkan adanya kerusakan pada gulungan motor. Pada Analisis arus motor juga mengalami ketidakseimbangan yang disebabkan oleh buruknya tahanan kumparan. Sebaiknya perlu dilakukan perawatan pada kumparan untuk mengatasi kerusakan motor.

Tabel X. Tabel Nilai Error Hasil Pengukuran Suhu

Waktu	Suhu (°C)		Error
	LM35	Termometer	
Menit ke-5	38	37	1,06%
Menit ke-10	41	40	2,50%
Menit ke-15	41	40,2	1,99%
Menit ke-20	46	High	-
Menit ke-25	50	High	-

Tabel X merupakan tabel hasil pengukuran suhu menggunakan thermometer dan LM35. Pada pengambilan data suhu dilakukan sebanyak 5 kali sejalan dengan waktu pengoprasian motor. Suhu motor terus naik dari waktu ke waktu. Data pengukuran dengan termometer sangat terbatas, mengingat termometer yang digunakan memiliki rentang ukur dari 30-40°C, sehingga saat suhu motor melebihi 40 °C termometer akan terbaca “high” atau bisa dibilang suhu terlalu tinggi untuk diukur menggunakan termometer tersebut. Nilai error yang akan dipakai sebagai pembandingan hasil pengukuran merupakan suhu yang dapat diukur dengan termometer. Nilai error dari perbandingan nilai suhu sebesar 1,06%-2,5%. Dengan nilai error tertinggi sebesar 2,5%, sensor LM35 memiliki akurasi yang baik.

6) Pengukuran RPM

Pada bagian ini akan membahas hasil pengujian sensor RPM motor tiga fasa yang telah dilakukan. Analisis data dari hasil pengukuran akan memberikan gambaran tentang kondisi motor terkait perubahan putaran motor dengan waktu. Motor akan dihubungkan dengan rangkaian DOL dan tidak diberi beban pada poros. Pada nameplate motor diketahui RPM saat diberi beban yang optimal yaitu sebesar 1415.

Tabel XI. Tabel Hasil Pengukuran RPM Menggunakan Optocoupler

RPM	
Menit ke-5	1577
Menit ke-10	1152
Menit ke-15	1027
Menit ke-20	1075
Menit ke-25	2375

Dari **Tabel XI** didapatkan hasil pengukuran RPM dari menit ke-5 hingga menit ke-

25 memiliki rentang sebesar 1577 hingga 2375. Terlihat bahwa dari pengukuran RPM, putaran motor terlihat tidak stabil. Oleh karena itu akan dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur tachometer sebagai pembanding.

Tabel XII. Tabel Nilai Error Hasil Pengukuran RPM

Waktu	RPM		Error
	Optocoupler	Tachometer	
Menit ke-5	1500	1500	5,13%
Menit ke-10	1155	1155	0,26%
Menit ke-15	1465	1465	30%
Menit ke-20	1469	1469	26,92%
Menit ke-25	1498	1498	58,71%

Pada **Tabel XII** pengambilan data RPM dilakukan sebanyak 5 kali sejalan dengan waktu pengoprasian motor. Dari hasil pengukuran tachometer, RPM motor tidak stabil atau konstan dari 1155-1500 RPM, sedangkan yang dibaca oleh sensor optocoupler memiliki rentang nilai 1027-2375 RPM. Nilai error pada perbandingan nilai RPM sebesar 0,26% - 58,71%. Melihat nilai error sangat besar hingga 58,71% bisa disebabkan oleh ketidakstabilan pada putaran motor, sehingga pembacaan sensor optocoupler mengalami kesalahan perhitungan. Pada pengambilan data optocoupler, motor akan dipangkan encoder pada poros sebagai perhitungan putaran. Encoder ini terdapat 20 *holes* yang akan berputar bersama poros dan akan dibaca oleh optocoupler. Saat putaran encoder tidak stabil, akan mengakibatkan perhitungan *holes* ini akan terganggu. Hal ini menyebabkan perhitungan RPM sedikit melenceng dari nilai yang sebenarnya. Karena ketidakstabilan dan nilai error yang besar, sensor optocoupler memiliki akurasi yang rendah.

Ketidakstabilan pada putaran motor dapat disebabkan oleh karna adanya ketidakseimbangan fasa, komponen mekanis motor, dan beban motor. Ketidakseimbangan fasa dapat mempengaruhi torsi yang dihasilkan motor dan mengakibatkan getaran dan fluktuasi putaran. Kondisi motor juga mempengaruhi performa motor dalam kestabilan putaran.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu prototipe sistem monitoring gangguan motor tiga fasa dirancang

menggunakan sensor PZEM004T sebagai sensor tegangan, arus, dan daya, sensor LM35 sebagai sensor suhu, optocoupler sebagai sensor RPM, dan ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Web monitoring menggunakan *Firebase Real-Time Database* yang dikirim oleh ESP32. Untuk mengakses web hanya membutuhkan alamat web dan koneksi internet sehingga mudah diakses. Pada web monitoring akan menampilkan tegangan fasa tunggal, arus tiap fasa, daya aktif, suhu, dan RPM dari motor tiga fasa secara *real-time*. Penyajian data hasil pengukuran juga ditampilkan berupa tabel sehingga mudah dibaca.

Dari hasil pengumpulan data dari sistem monitoring motor tiga fasa, didapatkan hasil pengukuran tegangan tanpa beban fasa tunggal pada fasa R 220V, fasa S 223V, dan fasa T 223V. Nilai ini masih pada standar yang berlaku menurut PUIL. Hasil pengukuran tegangan fasa tunggal motor didapatkan rata-rata pada fasa R sebesar 224,4V, fasa S sebesar 217,4, dan fasa T sebesar 217V. Nilai ini juga masih pada standar menurut PUIL. Hasil pengukuran Arus motor didapatkan rata-rata pada fasa R sebesar 2,6A, fasa S sebesar 2A, dan fasa T 4,2A. Terdapat ketidakseimbangan antar fasa pada pengukuran arus ini. Hasil pengukuran daya aktif didapatkan rata-rata pada fasa R sebesar 144,6W, fasa T sebesar 780,4W. Terjadi ketidakseimbangan pembagian beban pada tiap fasa. Hasil pengukuran suhu motor didapatkan suhu pada menit 5 hingga menit 25 yaitu 38-50 celcius. Peningkatan suhu tiap menit mengalami kenaikan yang signifikan yang diakibatkan oleh gulungan dan ketidakseimbangan arus. Hasil pengukuran RPM motor didapatkan *range* dari 1027 hingga 2375. Putaran yang tidak stabil diakibatkan oleh teknik pengumpulan data menggunakan encoder yang kurang akurat dan kesalahan kalibrasi pada alat ukur.

Dari hasil perhitungan nilai error dengan membandingkan pengukuran sensor dan pengukuran menggunakan alat ukur didapatkan hasil nilai error untuk pengukuran tegangan tanpa beban sebesar 1,04% hingga 1,95%. Dengan nilai error tertinggi sebesar 1,95%, PZEM004T memiliki akurasi yang baik dalam mengukur tegangan tanpa beban. Nilai error untuk pengukuran tegangan fasa tunggal sebesar 1,14% hingga 2,5%. Dengan nilai error tertinggi sebesar 2,5%, PZEM004T memiliki akurasi yang baik dalam mengukur tegangan. Nilai error untuk pengukuran arus sebesar 0% hingga 13,16%. Akurasi PZEM004T dalam mengukur arus memiliki nilai error paling besar 16,6% dan dapat dikatakan cukup baik. Namun pada saat *starter*

motor akan mengalami lonjakan sehingga persentase error meningkat. Nilai error dari pengukuran suhu sebesar 1,06% hingga 2,5%. Dengan nilai error tertinggi sebesar 2,5%, sensor LM35 memiliki akurasi yang baik. Namun dikarenakan pengukuran menggunakan termometer tidak bisa mengukur suhu lebih dari 40 °C mengakibatkan kurangnya perbandingan nilai error. Nilai error dari pengukuran RPM sebesar 0,26% hingga 58,71%. Sensor optocoupler kurang cocok untuk mengukur RPM pada motor tiga fasa. Alasannya karena harus menggunakan encoder sebagai media pembacaan sensor, sehingga memungkinkan adanya kesalahan pembacaan. Karena ketidakstabilan dan nilai error yang besar, sensor optocoupler memiliki akurasi yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Emilia, Ta'ali dan Hastuti, "Sistem Monitoring dan Kontrol Motor AC 3 Fasa Melalui Inverter dengan Protokol Modbus Menggunakan Visual Basic Berbasis Atmega 2560," *JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL)*, vol. 6, no.2, hlm. 204-211, 2020, doi: <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i2.108911>.
- [2] I. Rifaldo dan M. Yuhendri, "Sistem Monitoring Kecepatan Motor Induksi Dengan HMI Berbasis PLC," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 3, no. 2, hlm. 319-325, 2022, doi: <https://doi.org/10.24036/jtein.v3i2.264>.
- [3] D. Meidiasha, M. Rifan dan M. Subekti, "Alat Pengukur Getaran, Suara, dan Suhu Pada Motor Tiga Fasa Sebagai Indikasi Kerusakan Motor Induksi Berbasis Arduino," *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, vol. 5, no. 1, hlm. 27-31, 2020, doi: <https://doi.org/10.21009/JEVET.0051.05>.
- [4] H. R. Iskandar, E. Juniarto dan N. Heryana, "Sistem Monitoring Cerdas pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel dan Aplikasi Blynk Server," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, vol. 17, no. 2, hlm. 94-102, 2018, doi: <https://doi.org/10.26874/jt.vol17no2.82>.
- [5] D. Darmawansyah, M. K. A. Rosa dan I. N. Anggraini, "Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Berbagai Gangguan Menggunakan Mikrokontroler," *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, vol. 10, no. 1, hlm. 9-17, 2020, doi: <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v10i1.15168>.
- [6] A. Syahri dan A. Bintoro, "Monitoring Dan Controlling Daya Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor PZEM-004T," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 12, no.1, hlm. 43-51, 2023, doi: <https://doi.org/10.29103/jee.v12i1.9836>.
- [7] P. R. Adam, P. Gendroyono dan N. H. Yuninda, "Monitoring Suplai Tegangan Pada Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroler Arduino Dan Sensor Tegangan ZMPT101B," *Journal Of Electrical Vocational Education and Technology*, vol. 5, no. 2, hlm. 37-44, 2020, doi: <https://doi.org/10.21009/JEVET.0052.06>.
- [8] L. D. S. Pradana, "Perancangan Monitoring RPM Motor Induksi Tiga Fasa pada Penggerak Generator," *JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro)*, vol. 6, no. 2, hlm. 44-52, 2021, doi: <http://doi.org/10.25273/jupiter.v6i2.10521>.
- [9] H. Susanto dan A. Nurcahyo, "Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Tegangan dan Arus Motor Induksi Tiga Phase Menggunakan Konsep Internet of Things (IoT)," *JURNAL TEKNOLOGI TEHNOSCIENTIA*, vol. 11, no. 1, hlm. 54-63, 2018, doi: <https://doi.org/10.34151/technoscintia.v11i1.115>.
- [10] R. M. M. Wilutomo dan T. Yuwono, "Rancang Bangun Memonitor Arus Dan Tegangan Serta Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Web Berbasis Arduino Due," *Gema Teknologi*, vol. 19, no. 3, hlm. 19-34, 2017, doi: <https://doi.org/10.14710/gt.v19i3.21881>.
- [11] R. F. Aryo, B. Winarmo dan S. A. Pambudi, "Monitoring System Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Internet of Things," *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, vol. 6, no. 2, hlm. 47-50, 2021, doi: <https://journal.pnm.ac.id/index.php/jeecae/article/view/329>.
- [12] A. A. Makarim, T. Sukmadi dan B. Winardi, "Analisis Ketidakseimbangan Tegangan Dan Kenaikan Suhu Pada Motor Induksi 3 Fasa AKIBAT GANGGUAN SINGLE-PHASING," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 18, no. 4, hlm. 145-151, 2017, doi: <https://doi.org/10.12777/transmisi.18.4.145-151>.
- [13] Y. Liklikwatil dan Prajaka, "Analisis Pengaruh Ketidak Seimbangan Tegangan Terhadap Kinerja Motor 3 Fasa," *ISU TEKNOLOGI STT MANDALA*, vol. 18, no. 1, hlm. 71-81, 2023, doi: <http://www.ejournal.sttmandalabdg.ac.id/index.php/JIT/article/view/306>.
- [14] S. Buwarda, L. Lutfi dan M. Yaqin, "Monitoring Suhu, Vibrasi dan Arus Motor Induksi 3 Fasa," *mustek*, vol. 12, no. 02, hlm. 137-141, 2023, doi: <https://doi.org/10.35724/mustek.v12i02.5455>.
- [15] T. Muchtar, S. N. Djabir dan A. Dimas, "Power Monitoring System Designon 3 Phase Electric Motor," *JEAT: Journal of Electrical and AutomationTechnology*, vol.1, no. 1, hlm. 30-39, 2022, doi: <https://journal.atim.ac.id/index.php/jeat/article/view/123>.