

Sistem Monitoring dan Deteksi Kegagalan Fasa pada Sistem Listrik Tiga Fasa Berbasis Internet of Things (IoT)

Muhammad Khoiruz Zamzami¹, Abdul Azis^{2*}, Yudi Irwansi³

1,2,3 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika,
Universitas PGRI Palembang, Indonesia.

*e-mail: azis@univpgri-palembang.ac.id

ABSTRAK

Sistem listrik tiga fasa banyak digunakan di sektor industri karena efisiensi penyaluran daya yang tinggi, namun rentan terhadap gangguan seperti kegagalan fasa yang dapat merusak peralatan listrik. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem menggunakan sensor tegangan AC ZMPT101B untuk membaca tegangan tiap fasa, kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi sistem. Data ditampilkan melalui LCD dan dikirim secara real-time ke aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi. Sistem juga dilengkapi relay dan buzzer sebagai indikator proteksi dan peringatan dini. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi kegagalan fasa dengan baik serta mengirimkan data secara real-time dengan interval sekitar 1,1-1,4 detik. Sistem ini dapat meningkatkan keandalan monitoring dan memberikan peringatan dini terhadap gangguan pada sistem listrik tiga fasa.

Kata Kunci: *sistem tiga fasa, kegagalan fasa, IoT, ESP32, monitoring tegangan*

Monitoring System and Phase Failure Detection in Three-Phase Electrical Systems Based on the Internet of Things (IoT)

ABSTRACT

Three-phase electrical systems are widely used in industrial sectors due to their high efficiency in power distribution; however, they are vulnerable to disturbances such as phase failure, which can damage electrical equipment. This study aims to design a monitoring and phase failure detection system based on the Internet of Things (IoT) using an ESP32 microcontroller. The system utilizes a ZMPT101B AC voltage sensor to measure the voltage of each phase, which is then processed by the ESP32 to determine system conditions. The data are displayed locally via an LCD and transmitted in real-time to the Blynk application through a WiFi network. The system is also equipped with a relay and a buzzer as protection and early warning indicators. The test results show that the system is capable of detecting phase failures effectively and transmitting data in real-time with an interval of approximately 1.1–1.4 seconds. This system can improve monitoring reliability and provide early warning for disturbances in three-phase electrical systems.

Keywords: *three phase system, phase failure, IoT, ESP32, voltage monitoring*

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik tiga fasa merupakan tulang punggung dalam penyaluran energi listrik, terutama pada sektor industri dan komersial karena memiliki efisiensi yang tinggi serta kemampuan dalam mendistribusikan daya besar secara stabil. Namun, dalam operasionalnya, sistem ini rentan terhadap gangguan seperti ketidakseimbangan tegangan dan kegagalan fasa yang dapat menyebabkan penurunan kinerja hingga kerusakan peralatan listrik [1-2].

Kegagalan fasa merupakan kondisi hilangnya salah satu fasa pada sistem tiga fasa yang dapat mengakibatkan arus berlebih pada fasa lainnya, sehingga berpotensi menimbulkan overheating dan kerusakan pada motor listrik maupun peralatan lainnya [3-4]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem monitoring yang mampu mendeteksi kondisi tersebut secara cepat dan akurat guna meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik [4].

Seiring dengan perkembangan teknologi, konsep Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi antara perangkat fisik dan jaringan internet sehingga data dapat dipantau secara real-time dari jarak jauh [5-6]. Penerapan IoT dalam sistem kelistrikan memberikan kemudahan dalam pengawasan, meningkatkan kecepatan respon terhadap gangguan, serta mendukung pengambilan keputusan secara cepat dan tepat [7-8].

Pengembangan sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa berbasis IoT telah menunjukkan kemampuan dalam memberikan peringatan dini terhadap gangguan listrik sehingga dapat meminimalkan risiko kerusakan peralatan [9-10]. Namun, masih diperlukan sistem yang lebih terintegrasi, akurat, dan mudah diakses untuk meningkatkan keandalan monitoring pada sistem tiga fasa.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa pada sistem listrik tiga fasa berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran tegangan secara real-time, mendeteksi kegagalan fasa secara otomatis, serta menyajikan informasi kondisi sistem secara daring. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat meningkatkan keamanan, keandalan, serta efisiensi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik tiga fasa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Listrik Tiga Fasa

Sistem listrik tiga fasa merupakan metode distribusi tenaga listrik yang umum digunakan pada sektor industri dan komersial karena memiliki efisiensi tinggi dan kestabilan daya. Sistem ini terdiri dari tiga gelombang sinusoidal dengan perbedaan sudut fasa 120° , sehingga menghasilkan aliran daya yang lebih stabil dibandingkan sistem satu fasa [2,11].

Sistem tiga fasa memiliki tiga penghantar utama, yaitu fasa R, S, dan T, serta dapat dilengkapi dengan netral dan grounding untuk menjaga keseimbangan dan keamanan sistem. Konfigurasinya terdiri dari sambungan star (Y) dan delta (Δ), yang digunakan sesuai kebutuhan sistem [1]. Keunggulan utama sistem ini adalah kemampuan dalam menyalurkan daya besar secara efisien dan stabil, sehingga banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik [12-13].

2.2. Kegagalan Fasa

Kegagalan fasa merupakan kondisi hilangnya tegangan atau terputusnya salah satu fasa pada sistem listrik tiga fasa yang dapat disebabkan oleh gangguan jaringan, kerusakan peralatan, atau kegagalan proteksi [4]. Kondisi ini menyebabkan ketidakseimbangan tegangan yang berdampak pada peningkatan arus, kenaikan suhu, penurunan efisiensi, serta potensi kerusakan pada peralatan, khususnya motor listrik [13].

Selain itu, kegagalan fasa dapat mengganggu operasional sistem industri dan menurunkan keandalan sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, deteksi dini sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan yang lebih besar dan menjaga kontinuitas suplai listrik [9].

2.3. Internet of Things

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga dapat berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis [5]. Dalam

sistem monitoring listrik, IoT memungkinkan pengiriman data parameter seperti tegangan secara real-time ke platform berbasis cloud untuk dipantau oleh pengguna [7]. Secara umum, arsitektur IoT terdiri dari tiga lapisan, yaitu perception layer (sensor), network layer (komunikasi), dan application layer (antarmuka pengguna) [6].

2.4. Platform Blynk



Gambar 1. Platform Blynk

Blynk merupakan platform Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler seperti ESP32 dengan aplikasi seluler atau web untuk monitoring dan kontrol secara real-time [7]. Platform ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu Blynk App sebagai antarmuka pengguna, Blynk Server sebagai pusat komunikasi, dan Blynk Library sebagai penghubung perangkat keras [14]. Blynk dilengkapi dengan sistem autentikasi berbasis token dan fitur notifikasi, serta menyediakan dashboard yang fleksibel sehingga mudah digunakan dalam berbagai aplikasi IoT [14].

2.5. ESP32



Gambar 2. Modul Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dilengkapi konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Perangkat ini memiliki prosesor dual-core hingga 240 MHz, memori SRAM 520 KB, serta mendukung multitasking untuk pemrosesan data yang efisien [15–17]. Selain itu, ESP32 dilengkapi fitur ADC 12-bit, GPIO multifungsi, dan mode hemat daya (deep sleep), sehingga cocok digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT [6,14].

2.6. Sensor ZMPT101B



Gambar 3. Sensor ZMPT101B

Sensor ZMPT101B merupakan sensor tegangan AC berbasis transformator yang mengubah

tegangan tinggi menjadi sinyal analog yang aman untuk dibaca mikrokontroler. Sensor ini memiliki isolasi yang baik dan akurasi yang cukup tinggi, sehingga banyak digunakan dalam sistem monitoring kelistrikan [18-19]. Prinsip kerjanya menggunakan transformator isolasi dan rangkaian pengkondisi sinyal, dengan rentang pengukuran hingga sekitar 250 VAC serta fitur kalibrasi untuk meningkatkan akurasi [4,18].

2.7. Miniature Circuit Breaker (MCB)



Gambar 4. MCB

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan perangkat proteksi listrik yang berfungsi memutus arus secara otomatis saat terjadi beban lebih atau hubung singkat, guna melindungi peralatan dan sistem listrik [20]. MCB bekerja dengan mekanisme termal dan elektromagnetik, sehingga mampu merespon gangguan secara cepat dan menjaga keamanan rangkaian pada sistem monitoring [20].

2.8. Relay



Gambar 5. Relay

Relay merupakan sakelar elektromekanik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menghubungkan atau memutus rangkaian listrik secara otomatis. Perangkat ini digunakan sebagai proteksi terhadap kondisi abnormal seperti beban lebih atau kegagalan fasa [21-22]. Relay bekerja menggunakan kumparan yang menghasilkan medan magnet untuk menggerakkan kontak NO atau NC, dan umumnya dikendalikan oleh mikrokontroler dalam sistem otomatis [21-22].

2.9. Liquid Crystal Display



Gambar 6. Liquid Crystal Display

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan perangkat output yang digunakan untuk

menampilkan informasi dalam bentuk teks atau karakter pada sistem elektronika [23]. LCD bekerja dengan mengatur transmisi cahaya melalui kristal cair yang dikendalikan oleh tegangan listrik. Umumnya digunakan tipe karakter seperti 16×2, yang memiliki konsumsi daya rendah dan mampu menampilkan data secara stabil [22-23].

2.10. Buzzer



Gambar 7. Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi suara sebagai indikator peringatan. Komponen ini bekerja berdasarkan efek piezoelektrik, yaitu menghasilkan getaran saat diberi tegangan sehingga menimbulkan suara. Buzzer banyak digunakan sebagai sistem peringatan dini karena memiliki respons cepat, konsumsi daya rendah, dan efektif sebagai indikator audio [4].

2.11. Push Button



Gambar 8. Push Button

Push button adalah sakelar momentary yang digunakan sebagai input manual pada sistem mikrokontroler untuk menghubungkan atau memutus arus saat ditekan. Komponen ini memiliki dua kondisi utama, yaitu Normally Open (NO) dan Normally Close (NC). Push button banyak digunakan karena sederhana, mudah diimplementasikan, dan efektif sebagai antarmuka kendali pada sistem elektronika [9].

2.12. Sistem Catu Daya



Gambar 9. Sistem Catu Daya

Sistem catu daya berfungsi mengubah tegangan AC menjadi DC yang stabil untuk menyuplai mikrokontroler dan komponen lainnya. Kestabilan tegangan sangat penting agar sistem bekerja normal tanpa gangguan pembacaan sensor. Secara umum, catu daya terdiri dari

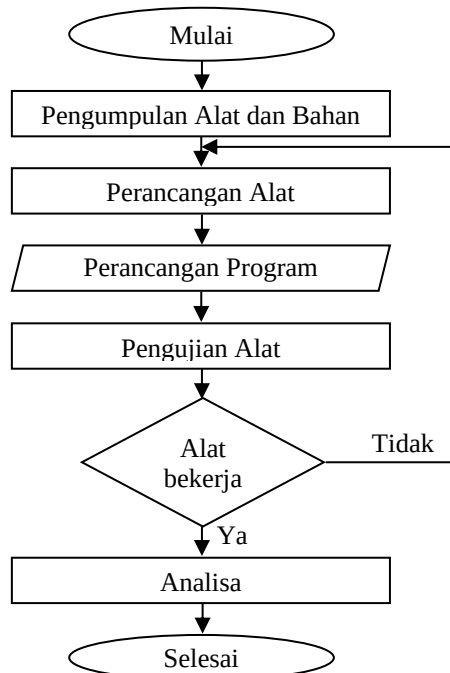
tahap penurun tegangan, penyearah, penyaring, dan regulator. Penggunaan catu daya yang andal memastikan sistem dapat beroperasi secara stabil, kontinu, dan optimal [20,24-25].

2.13. Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak open-source untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler dengan bahasa berbasis C/C++. Struktur program terdiri dari fungsi `setup()` untuk inisialisasi dan `loop()` untuk eksekusi berulang. Dukungan berbagai library serta fitur seperti Serial Monitor memudahkan integrasi perangkat, pengujian, dan kalibrasi sistem secara real-time [20,26].

III. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengumpulan Alat dan Bahan

Tahap ini bertujuan menyiapkan seluruh komponen untuk pembangunan sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa berbasis IoT. Peralatan meliputi perangkat perakitan dan pemrograman seperti laptop, sedangkan komponen utama terdiri dari ESP32, sensor ZMPT101B, relay, LCD 16×2, buzzer, push button, catu daya, MCB, kabel jumper, serta platform Blynk sebagai media monitoring real-time.

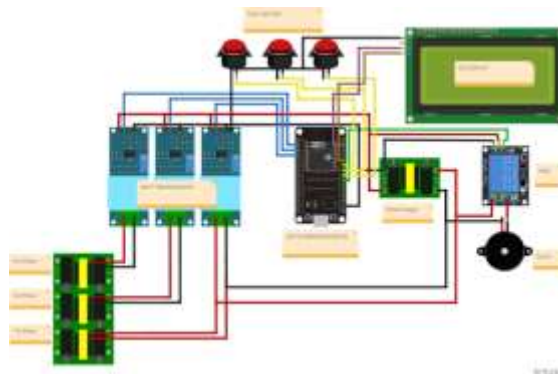
**Gambar 11. Alat dan Bahan**

4.2. Perancangan Alat

Perancangan alat dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu perancangan wiring, pemasangan komponen, dan perakitan akhir sistem. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan prototipe sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa yang terintegrasi dan dapat bekerja sesuai dengan perancangan.

1. Perancangan Wiring

Perancangan wiring dilakukan untuk menghubungkan seluruh komponen utama dalam sistem. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang memproses data sensor dan mengirimkan hasil monitoring ke platform IoT melalui jaringan WiFi. Sensor tegangan AC ZMPT101B dihubungkan ke pin analog ESP32 untuk mendeteksi tegangan pada masing-masing fasa dan mengubahnya menjadi sinyal analog yang dapat diolah.

**Gambar 12. Wiring Perancangan**

Selain itu, modul relay dihubungkan ke pin digital ESP32 dan berfungsi sebagai aktuator untuk mengendalikan beban atau indikator saat terjadi kondisi tidak normal. Perancangan wiring ini memastikan seluruh komponen terhubung dengan benar sehingga sistem dapat bekerja sesuai dengan logika monitoring dan proteksi yang dirancang.

2. Pemasangan Sensor dan Komponen

Pada tahap ini dilakukan pemasangan seluruh komponen sesuai dengan wiring yang telah dirancang. Sensor ZMPT101B dihubungkan melalui rangkaian antarmuka ke pin analog ESP32 untuk membaca tegangan AC. Sistem catu daya dihubungkan ke pin tegangan dan ground untuk mensuplai kebutuhan energi seluruh rangkaian.

Relay dipasang sebagai aktuator yang dikendalikan oleh ESP32, dengan buzzer sebagai indikator suara ketika terdeteksi kegagalan fasa atau tegangan tidak normal. Selain itu, Miniature Circuit Breaker (MCB) digunakan sebagai pengaman rangkaian dari arus lebih

dan hubung singkat, serta diintegrasikan dengan indikator lampu untuk menunjukkan kondisi masing-masing fasa (R, S, dan T).



Gambar 13. Pemasangan Sensor dan Komponen

3. Perakitan dan Finishing Alat

Tahap akhir adalah perakitan seluruh komponen pada papan rangkaian (PCB) dan penempatan ke dalam box panel atau enclosure. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan sistem yang rapi, aman, dan siap digunakan. Hasil dari tahap ini adalah prototipe alat monitoring tegangan antar fasa yang telah terintegrasi, sehingga dapat digunakan untuk proses pengujian dan analisa kinerja sistem secara keseluruhan.

4.3. Perancangan Program

Perancangan program dilakukan untuk mengendalikan sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Program dirancang untuk membaca data tegangan dari sensor ZMPT101B, mengolah data tersebut, serta mengirimkan hasil pengukuran ke aplikasi Blynk melalui koneksi WiFi secara real-time.

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data dari tiga sensor tegangan pada masing-masing fasa (R, S, dan T). Data yang diperoleh kemudian diolah untuk mengetahui kondisi tegangan sistem serta mendeteksi adanya kegagalan fasa berdasarkan batas tegangan yang telah ditentukan.

Program dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan memanfaatkan library ZMPT101B dan Blynk. Pada tahap inisialisasi dilakukan konfigurasi koneksi WiFi, autentikasi Blynk, pengaturan pin input/output, serta kalibrasi sensitivitas sensor. Selanjutnya, pada proses utama (loop), sistem membaca nilai tegangan RMS, melakukan penyaringan nilai tegangan rendah, mendeteksi kondisi abnormal, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk.

Berikut merupakan cuplikan program utama yang digunakan:

```
#include <ZMPT101B.h>
#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "Crawlerssharp";
char pass[] = "palembangpadek";

#define SENS1 703.0f
#define SENS2 615.75f
#define SENS3 673.75f

ZMPT101B v1(36, 50.0);
ZMPT101B v2(39, 50.0);
ZMPT101B v3(34, 50.0);
```

```
const int relay = 17;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  pinMode(relay, OUTPUT);

  v1.setSensitivity(SENS1);
  v2.setSensitivity(SENS2);
  v3.setSensitivity(SENS3);

  digitalWrite(relay, HIGH);
}

void loop() {
  Blynk.run();

  float vr = v1.getRmsVoltage();
  float vs = v2.getRmsVoltage();
  float vt = v3.getRmsVoltage();

  if (vr < 50) vr = 0;
  if (vs < 50) vs = 0;
  if (vt < 50) vt = 0;

  float rs = vr * sqrt(3);
  float st = vs * sqrt(3);
  float rt = vt * sqrt(3);

  if (vr < 200 || vs < 200 || vt < 200)
    digitalWrite(relay, LOW);
  else
    digitalWrite(relay, HIGH);

  Blynk.virtualWrite(V0, vr);
  Blynk.virtualWrite(V1, vs);
  Blynk.virtualWrite(V2, vt);
  Blynk.virtualWrite(V3, rs);
  Blynk.virtualWrite(V4, rt);
  Blynk.virtualWrite(V5, st);
}
```

Secara umum, program bekerja dengan membaca tegangan dari masing-masing fasa, melakukan penyaringan untuk menghindari kesalahan pembacaan, serta mendeteksi kondisi tegangan tidak normal. Apabila salah satu tegangan berada di bawah batas yang ditentukan, maka sistem akan menonaktifkan relay sebagai indikasi gangguan. Seluruh data hasil pengukuran dikirimkan ke aplikasi Blynk sehingga dapat dipantau secara jarak jauh.

4.4. Pengujian Alat

Setelah proses perancangan dan pemrograman selesai, dilakukan pengujian untuk memastikan sistem bekerja sesuai rancangan serta mampu mendeteksi kegagalan fasa secara akurat. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan alat pada sistem listrik tiga fasa dan mengamati hasil pembacaan pada LCD serta aplikasi Blynk.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mendeteksi kondisi normal dan kegagalan fasa serta menampilkan data secara real-time. Jika sistem belum bekerja sesuai spesifikasi, dilakukan evaluasi dan perbaikan hingga diperoleh hasil optimal.

Prosedur pengujian dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Penyediaan sumber tegangan tiga fasa yang terhubung ke sistem.
2. Pengukuran tegangan menggunakan voltmeter sebagai referensi.
3. Simulasi kegagalan fasa dengan memutus salah satu fasa.
4. Pencatatan tegangan antar fasa, waktu respon, serta status relay dan buzzer.
5. Monitoring pengiriman data secara real-time pada aplikasi Blynk.



Gambar 14. Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi:

1. Input dan output tegangan sensor ZMPT101B

Tegangan AC dari sistem tiga fasa diberikan sebagai input ke sensor ZMPT101B, kemudian output tegangan DC (analog) yang dihasilkan dicatat. Data ini digunakan untuk menilai linearitas dan ketelitian respons sensor, serta menjadi dasar kalibrasi tegangan yang dibaca ESP32.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Input dan Output Tegangan Sensor ZMPT101B

Percobaan	Input Tegangan (VAC)	Output Tegangan (VDC)
1	221	2,73
2	224	2,69
3	228	2,80

Tegangan sensor pada awalnya diasumsikan 220 VAC, sedangkan hasil pengukuran dengan voltmeter menunjukkan variasi 221-228 VAC pada tiga pengujian. Data ini menunjukkan ketergantungan linier antara input tegangan sensor dan output tegangan DC yang dihasilkan ZMPT101B.

2. Input dan output tegangan mikrokontroler ESP32

Tegangan sumber daya DC yang masuk ke pin ESP32 dicatat sebagai input tegangan mikrokontroler, sedangkan tegangan keluaran rangkaian regulator diukur sebagai output tegangan mikrokontroler. Data ini menunjukkan kestabilan catu daya yang diterima ESP32, sehingga dapat dipastikan sistem bekerja pada rentang tegangan yang aman.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Input dan Output Tegangan Mikrokontroler

Percobaan	Input Tegangan (VDC)	Output Tegangan (VDC)
1	12,3	5,2
2	12,6	5,4
3	12,5	5,3

Tabel 2 menunjukkan bahwa tegangan input mikrokontroler menghasilkan tegangan output yang relatif stabil di sekitar 5,2-5,4 VDC, sesuai dengan spesifikasi catu daya ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian regulator dapat menjaga tegangan kerja sistem dalam rentang yang aman.

3. Perbandingan hasil pembacaan sensor dengan voltmeter
Tegangan yang terbaca pada voltmeter sebagai nilai referensi dibandingkan dengan pembacaan sensor dan tampilan pada LCD maupun Blynk. Perbedaan antara pembacaan sensor dan voltmeter dianalisis untuk menilai akurasi alat dan menentukan offset serta toleransi pengukuran.

Tabel 3. Perbandingan Pembacaan Sensor Terhadap Voltmeter

Fasa	Pembacaan Voltmeter (VAC)	Pembacaan Sensor (VAC)	Selisih (VAC)
R-N	236 V	237,85	1,85
S-N	233 V	235,43	2,43
T-N	236 V	237,15	1,15
R-S	410 V	411,97	1,97
S-T	406 V	407,78	1,78
R-T	410 V	410,75	0,75

Tabel 3 memperlihatkan selisih relatif kecil antara pembacaan voltmeter dan sensor ZMPT101B, yang berada pada kisaran 0,75-2,43 V. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu membaca tegangan dengan akurasi memadai untuk deteksi kegagalan fasa.

4. Respon alat terhadap kegagalan fasa
Saat salah satu fasa diputus (simulasi kegagalan fasa), dicatat: Tegangan pada masing-masing fasa, Perubahan status sistem (Normal/Trip), Waktu aktif/nonaktif relay dan buzzer. Data ini menunjukkan kepekaan dan keandalan alat dalam mendeteksi hilangnya tegangan fasa, serta kesesuaian logika proteksi dan respons fisik relay/buzzer.



Gambar 15. Tampilan Aplikasi Blynk

Tabel 4. Respon Alat Terhadap Kegagalan Fasa

Fasa	Tegangan (VAC)	Status	Buzzer
R-S	410	Normal	Off
S-T	406		
T-R	410		
R-S	0	Trip	On
S-T	406		
T-R	410		
R-S	410	Trip	On
S-T	0		
T-R	410		
R-S	410	Trip	On
S-T	406		
T-R	0		

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran tegangan antar fasa (R-S, S-T, dan T-R) pada kondisi normal dan saat terjadi kegagalan fasa. Pada kondisi normal, tegangan antar fasa berada pada kisaran 406-410 VAC dengan status Normal dan buzzer dalam kondisi Off. Ketika terjadi kegagalan fasa yang ditandai dengan tegangan mendekati 0 V pada salah satu jalur, sistem mengubah status menjadi Trip dan buzzer aktif (On) sebagai indikator peringatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mendeteksi kegagalan fasa dengan baik, termasuk pada kondisi gangguan yang terjadi secara berulang pada jalur R-S, S-T, dan T-R, sementara jalur lainnya tetap dalam kondisi normal. Hal ini menunjukkan bahwa sistem proteksi dan indikator bekerja sesuai dengan perancangan.

5. Respon dan stabilitas pengiriman data ke Blynk

Selama pengujian, dicatat: Waktu dan interval pengiriman data dari ESP32 ke Blynk, Ketepatan dan kelengkapan data tegangan fasa, tegangan antar fasa, dan status sistem yang diterima aplikasi, Keberlanjutan koneksi dalam kondisi normal dan saat terjadi kegagalan fasa. Tujuannya adalah menilai kestabilan komunikasi IoT dan memastikan data dapat dipantau secara real-time.

Tabel 5. Respon Pengiriman Data ke Blynk

No	Waktu Pengiriman Data (detik)	Fasa yang Dikirim
1	1,2	Fasa R-N
2	1,4	Fasa S-N
3	1,1	Fasa T-N
4	1,2	Fasa R-S
5	1,1	Fasa S-T
6	1,2	Fasa R-T

Tabel 5 memperlihatkan waktu pengiriman data antara 1,1-1,4 detik untuk setiap fasa (R-N, S-N, T-N, R-S, S-T, R-T). Data dikirim dengan interval konsisten Sekitar 1 detik, yang menunjukkan bahwa komunikasi IoT berjalan stabil dan mendukung pemantauan real-time tanpa gangguan signifikan.

4.5. Analisa

Hasil pengujian alat menunjukkan bahwa sistem pemantau tegangan antar fasa berbasis IoT berfungsi sesuai spesifikasi rancangan dan mampu mendeteksi kegagalan fasa secara akurat.

Analisis berikut membahas aspek keakuratan pengukuran, respon deteksi kegagalan fasa, dan keandalan komunikasi IoT.

1. Keakuratan Pengukuran Tegangan

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa output tegangan sensor (VDC) berubah secara proporsional terhadap input tegangan (VAC), sehingga respons sensor bisa dikatakan linear dan cukup stabil dalam kondisi pengujian.

Berdasarkan Tabel 3, perbandingan pembacaan sensor ZMPT101B dengan voltmeter menunjukkan selisih kecil pada rentang 0,75-2,43 V untuk tegangan fasa-fasa dan fasa-netral. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur tegangan dengan akurasi memadai untuk keperluan deteksi kegagalan fasa, meskipun masih terdapat offset akibat nonlinearitas sensor dan kalibrasi ADC pada ESP32. Perbedaan ini relatif dapat diterima karena masih berada dalam toleransi yang wajar untuk sistem pemantauan operasional (bukan untuk pengukuran standar laboratorium presisi tinggi).

2. Kestabilan Catu Daya dan Mikrokontroler

Dari Tabel 2, tegangan input ke mikrokontroler bervariasi antara 12,3-12,6 VDC, sementara tegangan output regulator konsisten di sekitar 5,2-5,4 VDC. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian catu daya (trafo dan regulator) mampu menjaga tegangan kerja ESP32 pada rentang yang aman, sehingga sistem tidak mudah mengalami gangguan akibat fluktuasi tegangan. Kestabilan catu daya ini mendukung keandalan operasi jangka panjang dan mengurangi risiko kerusakan perangkat elektronik.

3. Respon Terhadap Kegagalan Fasa

Pada Tabel 4, sistem menunjukkan respon yang konsisten terhadap simulasi kegagalan fasa. Saat salah satu fasa turun hampir 0 V (misalnya R-S atau R-T), status berubah menjadi TRIP dan buzzer menyala, sedangkan relay dimatikan. Sebaliknya, pada kondisi normal (tegangan antar fasa sekitar 400-410 V), status menunjukkan Normal dan buzzer Off.

Perilaku ini menunjukkan bahwa logika proteksi yang diimplementasikan pada ESP32 (batas tegangan untuk mengaktifkan relay dan buzzer) berhasil mendeteksi kegagalan fasa dengan tepat. Selain itu, gangguan yang terjadi secara berulang pada fasa R-S dan R-T tidak mengganggu pencatatan data pada fasa lain, sehingga sistem dapat membedakan gangguan lokal pada satu fasa tanpa memberikan alarm keliru pada fasa yang sehat.

4. Keandalan Komunikasi IoT (Pengiriman Data ke Blynk)

Berdasarkan Tabel 5, data tegangan fasa dan antar fasa dikirim ke Blynk dengan interval sekitar 1 detik dan waktu pengiriman yang bervariasi 1,1-1,4 detik. Interval ini cukup singkat untuk pemantauan real-time tanpa membebani jaringan WiFi secara berlebihan. Data yang diterima di aplikasi Blynk mencakup tegangan tiap fasa, tegangan antar fasa, serta status sistem, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara komprehensif.

Stabilitas interval pengiriman menunjukkan bahwa koneksi IoT berjalan baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi kegagalan fasa, sehingga alat dapat digunakan sebagai sistem pemantauan jarak jauh yang dapat diandalkan.

5. Kinerja Keseluruhan Sistem

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Keakuratan pengukuran tegangan fasa dan antar fasa cukup baik untuk keperluan operasional,
- Deteksi kegagalan fasa dilakukan cepat dan konsisten dengan alarm (buzzer) dan proteksi (relay) yang sesuai rancangan,
- Catu daya stabil dan komunikasi IoT handal dengan pengiriman data real-time setiap sekitar 1 detik.

Dengan demikian, sistem pemantau tegangan antar fasa berbasis IoT terbukti mampu meningkatkan keandalan pemantauan dan proteksi pada sistem kelistrikan tiga fasa, sehingga dapat membantu mencegah kerusakan peralatan dan meminimalkan downtime.

V. KESIMPULAN

1. Sistem monitoring dan deteksi kegagalan fasa berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 telah berhasil direalisasikan dengan baik. Sistem mampu membaca tegangan tiap fasa menggunakan sensor ZMPT101B dan menampilkan data secara lokal melalui LCD serta secara real-time melalui aplikasi Blynk.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dengan selisih kecil dibandingkan alat ukur referensi. Selain itu, sistem mampu mendeteksi kegagalan fasa secara cepat dan mengaktifkan indikator berupa relay dan buzzer sebagai peringatan dini.
3. Pengiriman data ke platform IoT juga berjalan stabil dengan interval sekitar 1,1-1,4 detik, sehingga memungkinkan pemantauan sistem secara real-time. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat meningkatkan keandalan monitoring serta memberikan proteksi awal terhadap gangguan pada sistem listrik tiga fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fujiawan, H. (2024). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Voltase pada Chiller York dengan Starter Star Delta. *Jurnal Cahaya Mandalika ISSN 2721-4796 (online)*, 4(1), 952-960.
- [2] Santosa, P., & Rahman, F. (2021). Analisis Sensor Tiga Fasa pada Pemantauan Ketidakseimbangan Tegangan dalam Sistem Listrik Industri. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 27(3), 133-140.
- [3] Azis, A., & Febrianti, I. K. (2019). Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang. *Jurnal Ampere*, 4(2), 332-344.
- [4] Taufik, A., & Hidayat, R. (2020). Perancangan Sensor Tegangan Tiga Fasa untuk Deteksi Kegagalan Fase pada Sistem Listrik Industri. *Jurnal Teknik Elektro*, 19(2), 56-62.
- [5] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, 10(7), 1497-1516.
- [6] Paramartha, I. G. N. D., Kurniawan, I. N. H., Subiksa, G. B., & Kartika, A. S. (2021). Arsitektur Internet of Things (IoT) Berskala Industri dengan fitur Over The Air Update. *TIERS Information Technology Journal*, 2(2), 31-36.
- [7] Suryanto, D., & Prasetyo, M. (2018). Sistem Monitoring Tegangan Tiga Fasa Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 10(1), 14-22.
- [8] Suprihartini, Y., & Sucita, L. I. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Fasa dan Daya berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Smartphone. *Airman: Jurnal Teknik dan Keselamatan Transportasi*, 4(2), 145-154.
- [9] Wiguna, R. D., & Utomo, W. (2022). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KONTROL GAGAL FASA LISTRIK 3 PHASE BERBASIS IoT. In *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)* (Vol. 6, No. 1).
- [10] Alkadri, S. I., & Akhdiyatul, A. (2023). PERANCANGAN SISTEM MONITORING LISTRIK 3 PHASA BERBASIS INTERNET OF THINNGS (IOT). *Electrical Network Systems and Sources*, 2(1), 24-28.
- [11] Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2015). *Electric Circuits* (10th ed.). New Jersey: Pearson Education.

- [12] Çelik, D. (2022). Lyapunov based harmonic compensation and charging with three phase shunt active power filter in electrical vehicle applications. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 136, 107564.
- [13] Khanjani, M., & Ezoji, M. (2021). Electrical fault detection in three-phase induction motor using deep network-based features of thermograms. *Measurement*, 173, 108622.
- [14] Canady, R., Danendra, D. R., Indrawan, V. M., & Rochadiani, T. H. (2023). Rancang Bangun Alat Pemberi Makan Hewan Peliharaan Pintar Menggunakan Mikrokontroler ESP32 Berbasis Internet Of Things (IoT) dengan Platform Blynk. *Jurnal Teknik Informatika Unis*, 11(2), 188-199.
- [15] Maulana, M. P., & Astutik, R. P. (2024). Pengembangan sistem peringatan dini kebocoran gas LPG untuk peningkatan keamanan rumah tangga berbasis ESP32. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).
- [16] Pawana, I. G. N. A., Gunawan, H., & Paramartha, A. (2021). Integrated Development Environment Untuk Pengembangan Smart System/IoT Berbasis Chip ESP32. *TIERS Information Technology Journal*, 2(2), 16-23.
- [17] Nurdiana, N., Azis, A., & Perawati, P. (2022). Perancangan Pengendali Temperatur pada Alat Pengering Makanan Berbasis IoT. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 16(3), 247-252.
- [18] Lin, T. R., Khan, N. H. O., & Daud, M. Z. (2021). Arduino based appliance monitoring system using SCT-013 current and ZMPT101B voltage sensors. *Przegląd Elektrotechniczny*, 97.
- [19] Fauzan, F. N., Utami, S., & Pratama, M. R. B. (2024). Monitoring Sistem Kelistrikan Tiga Fasa Berbasis IoT dengan Sensor ACS712 dan ZMPT101B. *Jurnal Teknik Energi*, 13(1), 24-29.
- [20] Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2011). *Electronic devices and circuit theory*. Pearson.
- [21] Azis, A., & Kartika, I. (2021). Rancang Bangun Alat Cuci Tangan Pintar Menggunakan Sensor Infrared Berbasis Arduino. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 15(3), 224-238.
- [22] Pebrianti, I. K., & Azis, A. (2025). Perancangan Alat Pencuci Tangan Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Surya Energy*, 9(2), 97-108.
- [23] Azis, A., Tahfiz, M. R., & Nurdiana, N. (2023). Perancangan sistem penggerak panel surya pada pembangkit listrik tenaga surya mobile berbasis Arduino. *Electrician: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 17(2), 161-168.
- [24] Azis, A., Nurdiana, N., & Saputra, J. (2024). Perancangan prototipe pengendali pintu pagar otomatis menggunakan sensor sidik jari dan sensor proximity infrared berbasis arduino uno. *Elektrika*, 16(1), 35-44.
- [25] Azis, A., Emidiana, E., & Azukruf, F. (2023). Perancangan Prototipe Robot Pembawa Barang Otomatis Berbasis Arduino Uno DIP dengan Sensor Ultrasonic. *Elektrika*, 15(1), 29-38.
- [26] Leo, A., & Aziz, A. (2021). Perancangan Sistem Kunci Pintu Otomatis Menggunakan Rfid Arduino Uno. *Jurnal Ampere*, 6(1), 43-48.