

Prototype Sistem Monitoring Real-Time Transformator Distribusi Berbasis IoT untuk Predictive Maintenance dan Notifikasi Gangguan

Bartolomeus Rynaldi Djuma¹, Resi Dwi Jayanti Kartika Sari², Andrijani Sumarahinsih³

¹²³Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang,
djumaray6@gmail.com¹ resi.sari@unmer.ac.id²
andrijani.sumarahinsih@unmer.ac.id³

ABSTRACT

Distribution transformers are important components in electrical systems that are susceptible to disturbances such as overload and overheating. To overcome the limitations of manual monitoring, this study developed a prototype of an Internet of Things (IoT)-based transformer monitoring system that is able to read voltage, current, temperature, and humidity in real-time, and provide automatic notification if there is a parameter deviation. The system is built using an ESP32 microcontroller connected to the ZMPT101B sensor for voltage, ACS712 for current, and DHT22 for temperature and humidity. Tests were carried out on a 220V/24V AC single-phase transformer with gradual load variations and different environmental scenarios. The test results showed that the ZMPT101B sensor had an average error of 0.06% against a multimeter, while the ACS712 showed an average error of 1.18% against a clamp meter. The DHT22 sensor recorded a total error of 4.81% for temperature and 5% for humidity compared to the HTC-1 measuring instrument. The system successfully sends notifications via the Blynk platform when the temperature exceeds 60°C or the current exceeds 4 A. With a fairly high level of accuracy and real-time monitoring capabilities, this system is considered suitable for use as a monitoring and predictive maintenance solution for small to medium-scale distribution transformers.

Keywords: *distribution transformer, IoT, ESP32, real-time monitoring, predictive maintenance, fault notification.*

ABSTRAK

Transformator distribusi merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan yang rentan terhadap gangguan seperti kelebihan beban dan pemanasan berlebih. Untuk mengatasi keterbatasan pemantauan manual, penelitian ini mengembangkan prototipe sistem monitoring transformator berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu membaca tegangan, arus, suhu, dan kelembaban secara real-time, serta memberikan notifikasi otomatis jika terjadi penyimpangan parameter. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor ZMPT101B untuk tegangan, ACS712 untuk arus, dan DHT22 untuk suhu dan kelembaban. Pengujian dilakukan pada transformator 1 fasa 220V/24V AC dengan variasi beban bertahap dan skenario lingkungan berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ZMPT101B memiliki rata-rata error 0,06% terhadap multimeter, sedangkan ACS712 menunjukkan error rata-rata 1,18% terhadap clamp meter. Sensor DHT22 mencatat error total 4,81% untuk suhu dan 5% untuk kelembaban dibandingkan alat ukur HTC-1. Sistem berhasil mengirimkan notifikasi melalui platform Blynk saat suhu melebihi 60°C atau arus melebihi 4 A. Dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi dan kemampuan pemantauan real-time, sistem ini dinilai layak digunakan sebagai solusi monitoring dan predictive maintenance untuk transformator distribusi skala kecil hingga menengah.

Kata Kunci: transformator distribusi, IoT, ESP32, monitoring real-time, predictive maintenance, notifikasi gangguan

PENDAHULUAN

Transformator distribusi merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik karena berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jaringan transmisi menjadi tegangan yang dapat digunakan oleh pelanggan. Peran vital ini membuat transformator rentan terhadap gangguan operasional seperti kelebihan beban (overload), lonjakan arus, dan peningkatan suhu akibat beban berlebih atau kondisi lingkungan yang ekstrem. Jika tidak dideteksi secara dini, gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan permanen pada transformator, pemadaman listrik, hingga potensi kebakaran [1].

Sistem pemantauan kondisi transformator yang masih dilakukan secara manual dan berkala menjadi kendala utama dalam menjamin keandalan operasional transformator distribusi. Pemantauan manual tidak dapat memberikan informasi secara real-time, sehingga respon terhadap anomali menjadi terlambat dan tidak efektif. Dalam konteks industri modern yang menuntut efisiensi dan kecepatan respons tinggi, pendekatan manual tersebut tidak lagi memadai [2].

Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi Internet of Things (IoT) hadir sebagai solusi yang menawarkan kemampuan pemantauan otomatis, real-time, dan terintegrasi. IoT memungkinkan pengumpulan data dari sensor fisik seperti tegangan, arus, suhu, dan kelembaban, yang kemudian dikirim secara langsung ke antarmuka pengguna berbasis cloud atau aplikasi mobile. Dengan sistem seperti ini, pengguna dapat mengetahui kondisi transformator secara langsung dan mendapatkan peringatan jika terjadi penyimpangan dari parameter normal [3].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah prototipe sistem monitoring transformator distribusi berbasis IoT yang dapat melakukan pemantauan terhadap parameter listrik dan lingkungan secara real-time. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan, ACS712 untuk pengukuran arus, serta DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban. Data yang dikumpulkan dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke platform Blynk sebagai antarmuka visual monitoring dan notifikasi. Diharapkan sistem ini dapat membantu dalam penerapan predictive maintenance dan memperpanjang umur operasional transformator distribusi [4].

TINJAUAN LITERATUR

a. Internet of Things dalam Sistem Monitoring

Internet of Things (IoT) adalah konsep integrasi perangkat elektronik yang saling terhubung melalui jaringan internet untuk saling bertukar data secara otomatis. Dalam konteks sistem monitoring transformator, IoT memungkinkan pemantauan parameter listrik secara real-time dari jarak jauh. Hal ini meningkatkan efisiensi pengawasan dan memungkinkan tindakan cepat saat terjadi gangguan [1].

b. Sensor ZMPT101B dan ACS712

Sensor ZMPT101B digunakan untuk mengukur tegangan AC karena memiliki isolasi optik dan output analog yang stabil. Sensor ini mampu mengukur tegangan rendah secara akurat setelah proses kalibrasi. Sedangkan ACS712 adalah sensor arus berbasis efek Hall yang mampu membaca arus AC maupun DC. Dengan sensitivitas sekitar 185 mV/A (untuk versi 5A), sensor ini sering digunakan dalam aplikasi monitoring beban.

c. Sensor DHT22

DHT22 adalah sensor digital yang dapat membaca suhu dan kelembaban dengan akurasi lebih tinggi dibandingkan DHT11. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi suhu lingkungan di sekitar transformator, yang berpengaruh terhadap performa dan keawetan isolasi dalam trafo. Data dari sensor ini menjadi indikator penting dalam predictive maintenance.

d. Blynk IoT

Blynk merupakan platform IoT berbasis cloud yang memudahkan integrasi data dari mikrokontroler ke aplikasi smartphone. Dengan fitur dashboard real-time dan push notification, Blynk cocok digunakan untuk aplikasi pemantauan transformator agar pengguna bisa mengetahui kondisi sistem kapan saja dan dari mana saja.

e. Penelitian Terkait

Prasetyo dan Widhy (2020) mengembangkan sistem monitoring transformator distribusi berbasis IoT menggunakan NodeMCU, yang mampu menampilkan parameter tegangan dan arus pada aplikasi Blynk. Hasilnya menunjukkan efektivitas sistem dalam mendeteksi gangguan beban lebih awal [1]. Penelitian ini memperkuat pendekatan prototipe yang dikembangkan dalam studi ini, dengan penambahan pemantauan suhu dan kelembaban sebagai pendukung strategi predictive maintenance.

[1] B. E. Prasetyo dan H. N. Widhy, "Sistem Monitoring Trafo Distribusi PT PLN berbasis IoT," *JTIK*, vol. 7, no. 1, 2020.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membangun prototipe sistem monitoring berbasis IoT untuk transformator distribusi 1 fasa. Sistem terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali, serta sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan, ACS712 untuk arus, dan DHT22 untuk suhu serta kelembaban.

Data dari sensor dikirim secara real-time ke platform Blynk menggunakan koneksi WiFi untuk ditampilkan dan dimonitor. Sistem dirancang untuk memberikan notifikasi otomatis apabila parameter tegangan, arus, atau suhu melebihi ambang batas yang ditentukan.

Pengujian dilakukan melalui tiga tahap: kalibrasi sensor menggunakan alat ukur manual (multimeter, clamp meter, HTC-1), pengujian beban bertahap pada sisi

sekunder trafo, dan pengujian suhu serta kelembaban dalam kondisi lingkungan yang bervariasi. Sistem juga diuji kemampuan notifikasinya terhadap parameter yang melebihi batas selama lebih dari 2 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN.

a. Hasil Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan terhadap seluruh sensor yang digunakan dalam sistem untuk memastikan akurasi pembacaan terhadap nilai sebenarnya. Sensor ACS712 (untuk arus) dan ZMPT101B (untuk tegangan) dikalibrasi menggunakan clamp meter digital KT87N dan multimeter Handskit sebagai alat ukur referensi. Proses kalibrasi dilakukan pada kondisi beban bertahap dengan membandingkan nilai dari sensor dan alat ukur, lalu menyesuaikan faktor kalibrasi dalam program.

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa:

- Error rata-rata tegangan (ZMPT101B): 0,06%
- Error rata-rata arus (ACS712): 1,18%

Sensor-sensor ini dinyatakan layak digunakan sebagai alat monitoring karena menunjukkan hasil yang akurat dan stabil selama pengujian.

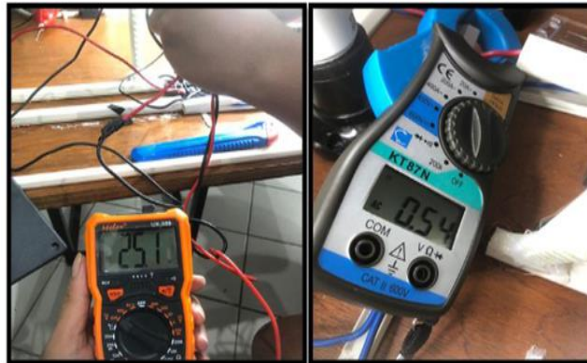
Tabel 1. Tabel kalibrasi sensor Zmpt101b

NO	Multimeter	Tegangan		
		Serial Monitor	Error Absolut (V)	Error Relatif (%)
1	25,1	25,0	0,1	0,39
2	25,0	24,9	0,1	0,39
3	25,1	25,0	0,1	0,39
4	25,0	25,0	0	0
		Total	0,3	1,17

Tabel 2. Tabel Kalibrasi ACS712

NO	Multimeter	Arus ACS712		
		Serial Monitor	Error Absolut (A)	Error Relatif (%)
1	0,53	0,53	0	0
2	0,54	0,53	0,01	1,8
3	0,54	0,54	0	0
4	0,54	0,55	0,01	1,8
5	0,54	0,54	0	0

		Total	0,11	3,6
--	--	-------	------	-----



Gambar 1. Kalibrasi Arus dan Tegangan(Alat Ukur)

B. Pengujian Beban Transformator

Pengujian dilakukan dengan menambahkan beban LED 12W secara bertahap. Tegangan dan arus terpantau menurun dan meningkat sesuai jumlah beban.

Rata-rata error tegangan: 0,06%

Rata-rata error arus: 1,18%

Tabel 3. Tabel Pengujian Tegangan

NO	Jenis Percobaan	Tegangan		Error
		Multimeter	Serial Monitor	
1	Tanpa Beban	26,02	26,00	0,08
2	1 Beban LED 12W	25,79	25,78	0,04
3	2 Beban LED 12W	25,50	25,51	0,04
4	3 Beban LED 12W	25,20	25,22	0,08
				0,24

Tabel 4. Tabel Pengujian Arus

NO	Jenis Percobaan	ARUS (A)		Error (%)
		Clamp Meter	Serial Monitor	
1	Tanpa Beban	0,49	0,48	
2	1 Beban LED 12W	0,56	0,55	1,79

3	2 Beban LED 12W	1,11	1,10	0,90
4	3 Beban LED 12W	1,16	1,15	0,86
				3,55

```

Output Serial Monitor x
Message (Ctrl + Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM3')

13:09:17.717 -> =====
13:09:25.687 -> >> Kondisi: Tanpa Beban
13:09:25.687 -> Tegangan (ZMPT101B): 26.00 V Arus (ACS712): 0.48 A
13:09:25.687 -> =====
13:09:29.687 -> >> Kondisi: Beban 1
13:09:29.687 -> Tegangan (ZMPT101B): 25.78 V Arus (ACS712): 0.55 A
13:09:29.687 -> =====
13:09:33.687 -> >> Kondisi: Beban 2
13:09:33.687 -> Tegangan (ZMPT101B): 25.51 V Arus (ACS712): 1.10 A
13:09:33.687 -> =====
13:09:37.693 -> >> Kondisi: Beban 3
13:09:37.693 -> Tegangan (ZMPT101B): 25.22 V Arus (ACS712): 1.15 A
13:09:37.693 -> =====
    
```

Gambar 2. Tampilan Serial monitor Pengujian

C. Pengujian Suhu dan Kelembaban

Pengujian dilakukan pada empat jenis percobaan berbeda.

- Total error suhu: 4,81%
- Total error kelembaban: 5%

Tabel 5 Tabel Pengujian Suhu

NO	Jenis Percobaan	SUHU(C°)		Error (%)
		HTC-1	Serial Monitor	
1	AC-On	25,5	25,2	1,17
2	AC-Off	27,3	27,5	0,7
3	Korek Api	34,9	34,20	2,,0
4	Sinar Matahari	31,8	31,50	0,94
				4,81

Tabel 6. Tabel Pengujian Kelembaban

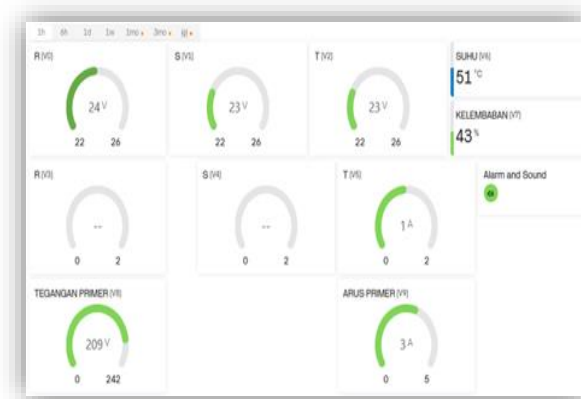
NO	Jenis Percobaan	KELEMBABAN(%)		Error (%)
		HTC-1	Serial Monitor	
1	AC-On	69%	68%	1%
2	AC-Off	64%	66%	2%
3	Korek Api	60%	61%	1%
4	Sinar Matahari	57%	58%	1%
				5%

```
Output Serial Monitor x
Message (Ctrl + Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM3')
12:43:32.893 -> Suhu: 31.40 °C, Kelembaban: 58.00 %
12:43:34.893 -> Suhu: 31.50 °C, Kelembaban: 58.00 %
12:43:36.909 -> Suhu: 31.50 °C, Kelembaban: 58.00 %
12:43:38.908 -> Suhu: 31.40 °C, Kelembaban: 57.90 %
12:43:40.906 -> Suhu: 31.40 °C, Kelembaban: 57.80 %
12:43:42.914 -> Suhu: 31.40 °C, Kelembaban: 57.90 %
12:43:44.913 -> Suhu: 31.40 °C, Kelembaban: 57.80 %
12:43:46.922 -> Suhu: 31.40 °C, Kelembaban: 57.80 %
```

Gambar 3. Tampilan Serial Monitor Pengujian(Suhu dan Kelembaban)

D. Monitoring Sistem

Sistem berhasil memonitoring melalui aplikasi Blynk saat sistem dijalankan.



Gambar 4. Tampilan Pada Blynk

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian prototipe sistem real-time monitoring transformator distribusi berbasis IoT, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring yang dirancang menggunakan sensor PZEM-004T, ZMPT101B, ACS712, dan DHT22 berhasil membaca parameter kelistrikan dan lingkungan secara real-time, mencakup tegangan, arus, daya, energi, suhu, dan kelembaban.
2. Proses kalibrasi terhadap sensor menunjukkan bahwa nilai pembacaan memiliki akurasi yang cukup baik, dengan deviasi kecil terhadap alat ukur referensi seperti multimeter dan clamp meter.
3. Sistem berhasil mengirimkan data ke platform Blynk IoT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi transformator secara jarak jauh melalui aplikasi, serta mendapatkan notifikasi ketika nilai parameter melebihi ambang batas yang ditentukan.
4. Sistem ini dapat menjadi solusi awal dalam penerapan predictive maintenance, karena mampu memberikan peringatan dini sebelum terjadi gangguan pada transformator.

Saran

1. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat dilengkapi dengan fitur data logging ke database seperti Google Sheets atau Firebase untuk analisis historis.
2. Penggunaan sistem notifikasi yang lebih responsif, seperti SMS atau WhatsApp API, bisa menjadi nilai tambah dalam penerapan sistem di lapangan.
3. Sistem ini juga dapat dikembangkan menjadi multi-transformator monitoring agar dapat diterapkan pada gardu distribusi skala besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, B. B., dan H. Hendro. (n.d.). Sistem Real-time Monitoring Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Elektro UNTAN*. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/j3eituntan/article/view/38083>. [10]
- Alamsyah, S. F., dan R. S. Putra. (2023). Sistem Pemantauan Trafo Distribusi Berbasis IoT dengan Notifikasi Telegram. *Jurnal Elektro Indonesia (ELIN)*, 3(1), 9–15. [6]
- Dewantoro, A. S., dan R. Ramadhani. (2020). Monitoring Tegangan dan Arus Listrik Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT). *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, 8(1), 44–51. [5]
- Karnik, A. (1999, Jan). Performance of TCP Congestion Control with Rate Feedback: TCP/ABR and Rate Adaptive TCP/IP,” M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India. [12]
- Nugroho, S., dan D. Anshori. (2023). Pengembangan Sistem Monitoring Transformator Berbasis IoT dengan Notifikasi Real-Time. *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(1), 21–28. [8]
- Prasetyo, B. E., dan H. N. Widhy. (2020). Sistem Monitoring Trafo Distribusi PT PLN (Persero) Berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 7(1), 12–18. doi: 10.25126/jtiik.202071951. [2]
- Salam, R. A., dan Y. R. Pratama. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Suhu dan Arus Listrik pada Transformator Distribusi Berbasis IoT. *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*, 112–118. [7]
- SPLN 50-1:1982, “Transformator Distribusi,” Standar PLN, Jakarta: Perusahaan Listrik Negara, 1982. [11]
- SPLN 50:1997, “Pedoman Umum Pengoperasian Transformator Tenaga,” Standar PLN, Jakarta: Perusahaan Listrik Negara, 1997. [1]
- Susilo, D. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kesehatan Transformator Menggunakan Sensor Tegangan, Arus, dan Suhu Berbasis IoT. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 14(3), 87–94. [4]
- Syahrial, M. R., R. F. Ramadhan., dan I. P. Sari. (2019). Pengukuran Tegangan dan Arus Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU dan Blynk. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), A155–A160. [3]
- Tuanany, S. F., E. T. Mbitu., dan M. Jamlaay. (n.d.). Rancang Bangun Prototipe Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, dan Suhu pada Transformator Distribusi

VISA: Journal of Visions and Ideas

Vol 5 No 2 (2025) 1415-1423 E-ISSN 2809-2058 P-ISSN 2809-2643

DOI: 47467/visa.v5i2.9592

Berbasis IoT. *Jurnal Politeknik Negeri Ambon*. <https://ejournal-polnam.ac.id/index.php/>. [9]