

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Tujuan dari pengukuran dan pengujian alat ini adalah untuk mengevaluasi kinerja alat yang telah dirancang, serta menganalisis data yang diperoleh dari proses tersebut. Melalui hasil pengukuran dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan sejauh mana alat berfungsi sesuai harapan. Selain itu, proses ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa alat yang digunakan telah bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya.

5.1 Peralatan Yang Digunakan

Dalam pelaksanaan pengukuran dan pengujian, terdapat beberapa peralatan yang dimanfaatkan, yaitu sebagai berikut:

1. Multimeter
2. Tang Ampere

5.2 Pengukuran

Setelah menyiapkan peralatan yang akan digunakan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran kalibrasi sensor arus. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan hasil pembacaan yang akurat dan sesuai dengan nilai arus aktual di lapangan. Oleh karena itu, pada subbab berikut akan dibahas proses pengukuran kalibrasi sensor arus yang diterapkan dalam sistem monitoring ini.

5.2.1 Pengukuran Kalibrasi Sensor Arus

Dalam pengukuran ini, sensor arus SCT013 dikalibrasi untuk meningkatkan akurasi pembacaan arus oleh sistem notifikasi berbasis ESP32. Kalibrasi awal dilakukan dengan metode satu titik, di mana nilai `currentCalibration` pada pustaka `EmonLib` disesuaikan secara manual hingga pembacaan arus pada beban tertentu (sekitar 1 A) sesuai dengan nilai referensi dari tang ampere digital. Berdasarkan hasil penyesuaian tersebut, diperoleh nilai `currentCalibration` = 21.40, yang memberikan pembacaan mendekati akurat pada arus sedang.

Namun, pengamatan lebih lanjut menunjukkan bahwa pada arus rendah (di bawah 0.5 A), sistem menunjukkan ketidaksesuaian pembacaan, seperti adanya overestimate. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan kalibrasi lanjutan menggunakan metode koreksi dua titik linear.

Metode ini memodelkan hubungan antara arus aktual yang diukur oleh alat referensi (I_{aktual}) dan nilai internal sensor sebagai persamaan linear:

$$Sample_{internal} = C \cdot I_{aktual} + O$$

Dengan C sebagai sensitivitas sistem (FUNDAMENTAL_C) dan O sebagai offset tetap dari sistem (FUNDAMENTAL_OFFSET_INTERNAL). Data yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah sebagai berikut:

- Titik 1: $I_{aktual} = 1,27 \text{ A}$, $I_{alat} = 1,27 \text{ A}$, $K = 20,0$
- Titik 2: $I_{aktual} = 0,20 \text{ A}$, $I_{alat} = 0,30 \text{ A}$, $K = 20,0$

Melalui proses eliminasi dan substitusi, diperoleh nilai:

- FUNDAMENTAL_C = 0.0453271
- FUNDAMENTAL_OFFSET_INTERNAL = 0.00593458

Dengan kedua konstanta ini, nilai arus aktual dapat dihitung dari pembacaan `emon1.calcIrms()` menggunakan rumus:

$$I_{aktual} = \frac{I_{bacaan}/K - O}{C}$$

Rumus koreksi ini berhasil meningkatkan akurasi pembacaan arus sensor pada berbagai level beban, termasuk arus rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan metode koreksi dua titik memberikan perbaikan signifikan dibandingkan metode satu titik sederhana, khususnya dalam mengurangi kesalahan pembacaan akibat offset sistem yang tidak dapat dikompensasi hanya dengan perubahan gain (`currentCalibration`). Berikut hasil dari kalibrasi sensor:

a. Pengukuran Nilai Arus Bocor



Gambar 5. 1 Sensor Fasa R



Gambar 5. 2 Sensor Fasa S



Gambar 5. 3 Sensor Fasa T

5.2.2 Analisis Kalibrasi Pembacaan Sensor Arus

Berdasarkan hasil pengukuran setelah dilakukan proses kalibrasi menggunakan metode koreksi dua titik, terlihat bahwa nilai pembacaan arus oleh alat untuk ketiga fasa (R, S, dan T) identik dengan nilai arus aktual yang diukur menggunakan alat referensi (tang ampere digital).

Hal ini menunjukkan bahwa konstanta kalibrasi yang diterapkan ($\text{currentCalibration} = 21.40$, $\text{FUNDAMENTAL_C} = 0.0453271$, dan $\text{FUNDAMENTAL_OFFSET_INTERNAL} = 0.00593458$) berhasil mengoreksi kesalahan pembacaan akibat deviasi gain dan offset sistem, sehingga sistem mampu memberikan hasil yang akurat.

Jika dibandingkan dengan spesifikasi sensor SCT013 berdasarkan datasheet, tingkat akurasi nominal sensor ini berada pada $\pm 1\%$ yang menandakan bahwa sistem telah bekerja di dalam batas toleransi spesifikasi sensor, bahkan dapat dikatakan sangat optimal pada rentang arus rendah ($\leq 0.5 \text{ A}$) yang sebelumnya rentan terhadap kesalahan pembacaan.

Dengan demikian, penerapan metode koreksi dua titik terbukti dapat mengoptimalkan performa sensor SCT013, menjadikannya mampu melakukan pembacaan arus bocor kecil secara akurat.

5.3 Pengujian Kerja Alat

Pada tahap pengujian alat ini, pengujian dilakukan secara menyeluruh mulai dari tahap awal hingga akhir untuk memastikan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan tujuan serta perencanaan yang telah ditetapkan.

Pengujian ini dilakukan pada kabel power trafo *incoming* 20 kV sebagai objek utama untuk mengetahui kemampuan alat dalam memantau dan mendeteksi arus bocor yang mungkin terjadi. Kabel ini dijadikan sebagai media uji untuk memperoleh data aktual di lapangan yang selanjutnya akan dianalisis guna mengevaluasi kinerja dan keakuratan sistem monitoring arus bocor yang telah dirancang

5.3.1 Langkah dan Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem notifikasi arus bocor yang telah dirancang dan dibangun dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi sensor, keandalan notifikasi, serta kemampuan sistem dalam menyimpan data saat terjadi gangguan arus bocor. Langkah-langkah pengujian dilakukan sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Tabel Prosedur Pengujian Sistem Monitoring Arus Bocor

Langkah Kerja	Indikator
Menyiapkan seluruh komponen alat dan instrumen uji	Semua peralatan seperti ESP32, sensor SCT013, SD card, LCD, adaptor, kabel jumper, tang ampere, dan laptop telah lengkap dan siap digunakan.
Menghubungkan alat ke sumber daya listrik	LCD menampilkan status awal sistem.
Menghubungkan sensor arus ke jalur fasa	Sensor terpasang pada kabel dengan posisi penjepit tertutup sempurna dan tidak longgar.
Mengatur ambang batas arus bocor melalui keypad	Tampilan LCD berubah dan menunjukkan nilai batas arus baru yang berhasil diatur.

Melakukan pengujian arus bocor dengan memperkecil ambang batas arus agar dapat terdeteksi	Nilai arus bocor terbaca meningkat dan ditampilkan di LCD secara real time
Mengecek notifikasi Telegram ketika arus melewati ambang batas	Muncul pesan peringatan otomatis dari bot Telegram ke akun pengguna yang ditentukan
Mengecek penyimpanan data pada microSD card	File log tersimpan dengan format data waktu, nilai arus, dan ambang batas; dapat dibuka di komputer

Berdasarkan hasil pelaksanaan langkah dan prosedur pengujian yang tercantum pada Tabel 5-2, seluruh indikator menunjukkan respons yang sesuai dan sensor mampu mendeteksi parameter yang dibutuhkan dengan baik. Oleh karena itu, sistem dinyatakan siap untuk digunakan dalam proses pengambilan data sesuai dengan kondisi yang telah dirancang.

5.3.2 Pengambilan Data Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian berdasarkan perencanaan dan pemrograman yang telah dirancang sebelumnya. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh hasil berupa nilai arus bocor yang terdeteksi pada kabel power. Selain itu, dilakukan pula pencatatan terhadap status sistem pada saat terjadi kebocoran arus, guna menganalisis sejauh mana sistem mampu memberikan peringatan dan menyimpan data secara otomatis. Berikut ini adalah data hasil pengukuran nilai arus bocor yang dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 2 Tabel Data Pengujian Arus Bocor

Monitoring Arus Tiap Phase (A)			Alat Ukur (A)			Ambang Batas (A)	Keterangan
R	S	T	R	S	T		
0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	Bocor
0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	Normal
0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	Normal
0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	Normal

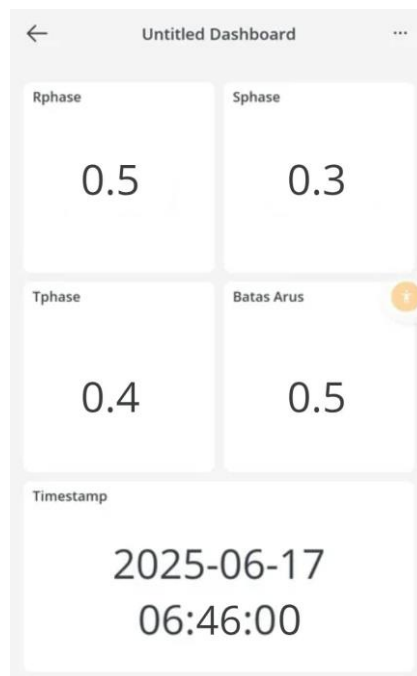
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	Normal
0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	Normal
0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	Normal
0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	Normal
0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	Normal
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	Normal
0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	Bocor
0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,5	Normal
0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	Normal
0,1	0,4	0,5	0,1	0,4	0,5	0,5	Bocor
0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,4	0,5	Normal
0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,5	Normal
0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5	Bocor
0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,5	Normal
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	Normal
0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,5	Normal
0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,5	Bocor
0,4	0,1	0,5	0,4	0,1	0,5	0,5	Bocor
0,5	0,1	0,4	0,5	0,1	0,4	0,5	Bocor
0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5	Bocor
0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	Normal
0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	Normal
0,3	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,5	Normal
0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5	Normal
0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,5	Bocor
0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,5	Normal
0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	Normal
0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	Normal
0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,4	0,5	Normal
0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,5	Normal

0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	Normal
0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	Normal
0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,4	0,5	Normal
0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,5	Bocor
0,1	0,4	0,4	0,1	0,4	0,4	0,5	Normal
0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5	Bocor
0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	Normal
0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	Normal
0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	Bocor
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	Normal
0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	Normal
0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	Normal
0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,5	Bocor
0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	Bocor
0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	Normal
0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,5	Normal
0,5	0,2	0,1	0,5	0,2	0,1	0,5	Bocor
0,5	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,5	Bocor
0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,5	Normal
0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,5	Normal
0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,5	Normal
0,5	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,5	Bocor
0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,5	Normal
0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,5	Normal
0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	Normal
0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,5	Normal
0,1	0,5	0,4	0,1	0,5	0,4	0,5	Bocor
0,2	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	Bocor
0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	Normal
0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	Normal

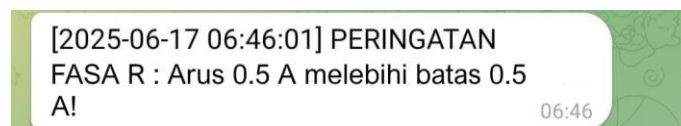
0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,5	Normal
0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	Normal
0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,5	Normal
0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,5	Normal
0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5	Bocor
0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,5	Normal
0,1	0,5	0,4	0,1	0,5	0,4	0,5	Bocor
0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	Normal
0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	Normal
0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	Bocor
0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	Bocor
0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	Bocor
0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	Bocor
0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	Bocor
0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5	Bocor
0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	Normal
0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,5	Normal
0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,5	Normal
0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,5	Normal
0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	Normal
0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	Normal
0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5	Normal
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	Normal
0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5	Normal
0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	Bocor
0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	Normal
0,4	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	0,5	Bocor
0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	Bocor
0,4	0,4	0,1	0,4	0,4	0,1	0,5	Normal
0,3	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,5	Bocor

0,2	0,5	0,2	0,2	0,5	0,2	0,5	Bocor
0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,5	Normal
0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,5	Normal
0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	Normal
0,5	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5	Bocor
0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	Normal

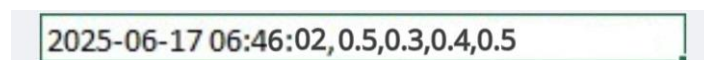
Adapun data pengujian arus bocor diatas dapat dimonitoring melalui IoT Remote pada *smartphone* memberikan notifikasi apabila arus melebihi ambang batas serta tersimpan dalam sd card, bisa dilihat pada gambar



Gambar 5. 4 Tampilan IoT Remote



Gambar 5. 5 Notifikasi Arus Bocor Bot Telegram



Gambar 5. 6 Data Tersimpan dalam SD Card

5.4 Analisis Data Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem notifikasi arus bocor mampu mendeteksi arus yang melebihi ambang batas secara otomatis dan memberikan respon sesuai perancangan. Dalam sistem ini, ambang batas arus bocor ditetapkan sebesar 0,5 Ampere. Ketika nilai arus pada salah satu fasa (R, S, atau T) sama dengan atau melebihi ambang batas, maka sistem akan melakukan dua tindakan utama secara otomatis, yaitu:

- Mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna melalui Bot Telegram
- Menyimpan data arus bocor ke dalam modul microSD Card, termasuk informasi waktu pembacaan dari RTC.

Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur IoT remote, yang memungkinkan pengguna untuk memantau nilai arus dari ketiga fasa secara jarak jauh melalui koneksi WiFi. Perlu dicatat bahwa fungsi IoT remote bersifat pemantauan saja, dan tidak bergantung pada kondisi arus apakah dalam keadaan normal maupun bocor. Artinya, pengguna tetap dapat melihat nilai arus secara real-time dari jarak jauh, tanpa harus menunggu adanya peringatan atau kejadian khusus.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.3, hanya terdapat satu kondisi di mana nilai arus mencapai ambang batas, yaitu pada baris pertama:

- Nilai arus terpantau: fasa R = 0,5 A, fasa S = 0,3 A, fasa T = 0,4 A.

Pada kondisi tersebut, sistem memberikan respon otomatis berupa pengiriman notifikasi ke Telegram dan penyimpanan data ke microSD Card. Informasi yang dikirim mencakup nilai arus pada ketiga fasa, ambang batas serta waktu kejadian.

Sementara itu, pada baris-baris lainnya, nilai arus dari ketiga fasa berada di bawah ambang batas. Dalam kondisi ini, sistem tidak menyimpan data dan tidak mengirim notifikasi karena tidak ada indikasi kebocoran. Namun, nilai arus tersebut tetap dapat dipantau secara langsung melalui IoT remote, tanpa adanya batasan kondisi tertentu.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem bekerja sesuai dengan rancangan, di mana:

- Mendeteksi arus bocor secara otomatis dan akurat

- Memberikan peringatan dan mencatat data hanya saat terjadi kebocoran, sehingga lebih efisien dalam penggunaan memori penyimpanan,
- Menyediakan pemantauan jarak jauh melalui IoT kapan pun.

Dengan fitur-fitur tersebut, sistem monitoring ini sangat efektif untuk digunakan dalam pengawasan arus bocor pada instalasi listrik tegangan menengah, seperti kabel power trafo incoming 20 kV, baik secara lokal maupun jarak jauh.