

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS ALAT

Pengujian dan analisis alat dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem yang telah dirancang dan dibangun dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keandalan prototipe sistem deteksi dini pencurian kabel output transformator menuju Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) pada gardu distribusi tipe portal berbasis IoT, seperti pencurian kabel fasa, pencurian kabel netral, serta pemadaman listrik.

Pengujian dilaksanakan di laboratorium praktikum program studi Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro yang tersedia sumber listrik 3 fasa, agar mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Dalam pengujian ini, berbagai kondisi seperti kehilangan fasa, tegangan tidak seimbang antar fasa, dan pemadaman listrik disimulasikan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi dan mengirimkan notifikasi ke Bot Telegram secara otomatis melalui jaringan Internet of Things (IoT). Analisis dilakukan terhadap hasil pengujian guna menilai apakah sistem mampu merespons secara tepat dan memberikan notifikasi secara otomatis sesuai dengan kondisi yang terjadi.

5.1 Metode Pengujian

Metode pengujian yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu dengan melakukan simulasi langsung terhadap berbagai kondisi pada prototipe sistem yang telah dirancang. Pengujian dilakukan secara bertahap dan sistematis di lingkungan laboratorium praktikum yang menyediakan sumber listrik 3 fasa. Pengujian dirancang untuk mengevaluasi beberapa aspek penting dari sistem, yang sesuai dengan tujuan tugas akhir ini, antara lain:

- a. Pemantauan tegangan fasa otomatis guna memastikan sensor PZEM-004T V3.0 dapat membaca tegangan fasa R, S, dan T secara tepat oleh mikrokontroler ESP32.

- b. Deteksi kehilangan tegangan fasa, untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi pencurian kabel fasa berdasarkan hilangnya salah satu fasa dan gerakan yang terdeteksi.
 - c. Deteksi tegangan tidak seimbang, untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi pencurian kabel netral dari ketidakseimbangan tegangan antar fasa yang berada diluar batas toleransi yang ditetapkan dan gerakan yang terdeteksi.
 - d. Deteksi pemadaman listrik, untuk menguji kemampuan sistem dalam membedakan pemadaman dan pencurian kabel, berdasarkan hilangnya ketiga fasa secara serentak.
 - e. Pengiriman notifikasi otomatis, untuk menguji apakah sistem dapat mengirim pesan peringatan sesuai kondisi yang terjadi ke Aplikasi Telegram dengan tepat.
- Simulasi pengujian dilakukan dengan cara memotong atau memutus koneksi salah satu atau lebih kabel input (fasa R, S, T, dan Netral) ke dalam panel untuk merepresentasikan kondisi seperti pencurian kabel.

5.2 Pengujian Pemantauan Tegangan Otomatis 3 Fasa

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu secara otomatis memantau tegangan listrik pada masing-masing fasa (R, S, dan T) menggunakan sensor PZEM-004T-V3.0 (100A) yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Sensor ini membaca tegangan dari setiap fasa, lalu mengirimkan data ke ESP32 untuk dianalisis lebih lanjut oleh sistem.

Pengujian dilakukan dengan memberikan sumber tegangan ke masing-masing sensor PZEM-004T-V3.0 (100A) yang telah dikonfigurasi secara terpisah untuk membaca tegangan fasa R, S, dan T. Data hasil pembacaan ditampilkan pada serial monitor dan dikirimkan ke aplikasi telegram sebagai tegangan aktual dari masing-masing fasa.

Untuk memastikan akurasi pembacaan, hasil pembacaan sensor PZEM-004T-V3.0 (100A) dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur multimeter digital. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa presisi sensor dalam membaca tegangan.

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Menyalakan sistem dan memastikan semua sensor PZEM terhubung dengan benar ke sumber tegangan tiga fasa.
2. Membaca tegangan pada fasa R, S, dan T melalui Aplikasi Telegram.
3. Melakukan pengukuran tegangan pada titik yang sama menggunakan multimeter digital.
4. Membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil multimeter.
5. Mencatat hasil pengujian ke dalam Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Pengujian Pembacaan Tegangan

Uji ke-	PENGUJIAN PEMBACAAN TEGANGAN								
	Fasa R			Fasa S			Fasa T		
	Tegangan Terbaca sensor (V)	Tegangan Terukur Multimeter (V)	Presentase Selisih Tegangan	Tegangan Terbaca sensor (V)	Tegangan Terukur Multimeter (V)	Presentase Selisih Tegangan	Tegangan Terbaca sensor (V)	Tegangan Terukur Multimeter (V)	Presentase Selisih Tegangan
1	231,50	232	-0.22%	232,70	233	-0.13%	231,50	232	-0.22%
2	232,80	232	+0.34%	232,60	233	-0.17%	231,30	232	-0.30%
3	233,60	233	+0.26%	234,10	234	+0.04%	232,70	232	+0.30%
4	233,80	234	-0.09%	233,50	234	-0.21%	232,80	233	-0.09%
5	231,30	232	-0.30%	233,60	233	+0.26%	231,50	232	-0.22%
6	231,80	232	-0.09%	233,50	234	-0.21%	232,10	232	+0.04%
7	232,00	232	0.00%	233,10	233	+0.04%	231,40	232	-0.26%
8	232,50	233	-0.21%	233,80	234	-0.09%	231,50	232	-0.22%
9	232,20	233	-0.34%	234,00	234	0.00%	232,70	233	-0.13%
10	232,50	232	+0.22%	234,30	235	-0.30%	232,10	232	+0.04%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membaca tegangan secara real-time untuk masing-masing fasa. Nilai tegangan yang ditampilkan oleh sensor PZEM-004T-V3.0 (100A) relatif mendekati hasil pengukuran multimeter, dengan kesalahan pembacaan masih dalam batas toleransi.

Menurut spesifikasi dari datasheet sensor PZEM-004T-V3.0, akurasi pembacaan tegangan oleh sensor PZEM-004T-V3.0 berada pada kisaran $\pm 0.5\%$ dari nilai tegangan sebenarnya. Dengan demikian, sistem telah berhasil menjalankan fungsi pemantauan tegangan secara otomatis, yang menjadi dasar bagi logika deteksi kondisi kehilangan fasa, pencurian kabel, maupun pemadaman listrik.

5.3 Pengujian Pencurian Kabel

Pengujian ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi pencurian kabel yang keluar dari transformator menuju Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) pada gardu distribusi tipe portal. Pencurian kabel disimulasikan dengan memutus keempat kabel secara bertahap, yaitu kabel fasa R, S, T, dan netral (N) dalam satu rangkaian aksi pencurian. Sistem dirancang untuk mendeteksi kehilangan tegangan pada kabel fasa, mengaktifkan sensor PIR, dan mengirimkan notifikasi ke aplikasi Telegram jika terdeteksi gerakan mencurigakan setelah kehilangan fasa.

Meskipun pemutusan kabel netral tidak memicu respons sistem saat dilakukan sebagai urutan terakhir (karena sebelumnya tegangan fasa telah hilang semua), tindakan tersebut tetap dicatat sebagai bagian dari pengujian untuk mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pengujian ini mengukur ketepatan deteksi tegangan hilang, ketidakseimbangan tegangan yang terjadi, respon sensor PIR, serta akurasi sistem dalam mengirimkan notifikasi sesuai logika yang telah dirancang.

Perlu diketahui bahwa pengujian ini tidak dilakukan langsung di gardu distribusi tipe portal, melainkan dilakukan pada skala prototipe di laboratorium praktikum program studi Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro yang telah dilengkapi dengan sumber listrik tiga fasa. Pengujian di lingkungan laboratorium dipilih untuk menjaga keselamatan, meminimalkan risiko

kerusakan alat, serta memudahkan pengawasan dan pengulangan skenario pengujian secara lebih aman dan terkendali.

➤ **Langkah-langkah Pengujian:**

Sebelum melakukan simulasi pemutusan kabel fasa, terdapat beberapa tahapan awal untuk memastikan sistem alat telah aktif dan siap digunakan:

- Aktivasi alat
Sistem diaktifkan melalui saklar utama pada kotak alat. Indikator LED akan menyala sebagai tanda bahwa sistem telah menyala dan siap memulai proses koneksi.
- Koneksi sistem
Jika sistem berhasil terhubung ke jaringan WiFi dan bot Telegram, maka pengguna akan menerima notifikasi “SISTEM TERHUBUNG KE WIFI & TELEGRAM BOT. ALAT SIAP DIGUNAKAN”
- Deteksi awal tegangan 3 fasa:
 - Jika tegangan belum terdeteksi, maka Telegram akan menampilkan pesan “MENUNGGU TEGANGAN 3 FASA TERDETEKSI”
 - Jika tegangan telah terdeteksi pada ketiga fasa, maka Telegram mengirimkan “TEGANGAN 3 FASA TERDETEKSI. SISTEM MULAI MONITORING” dengan disertai nilai tegangan pada ketiga fasa.

Setelah proses ini selesai, sistem mulai memantau tegangan secara otomatis dan siap merespon jika terjadi gangguan.

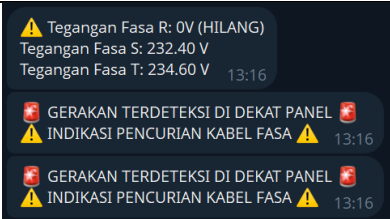
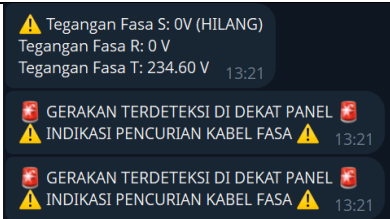
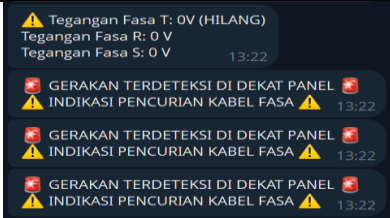
➤ **Langkah-langkah simulasi untuk Pengujian Pencurian Kabel**

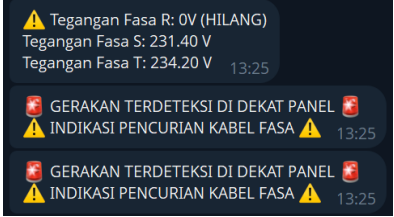
1. Pastikan sistem telah aktif, terhubung dengan Wifi dan Telegram, serta tegangan tiga fasa telah terdeteksi.
2. Lakukan simulasi pemutusan kabel fasa R, S, T, dan Netral secara bergantian menggunakan alat potong (tang potong).
3. Pemutusan kabel dilakukan pada kabel input sebelum masuk ke panel distribusi untuk mensimulasikan kondisi pencurian kabel.
4. Amati respons sistem melalui Telegram. Jika sistem berhasil mendeteksi kehilangan fasa, maka akan mengirimkan notifikasi kehilangan tegangan pada fasa tersebut, misalnya: TEGANGAN FASA R = 0V (HILANG). Jika sistem

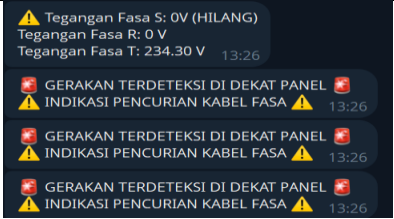
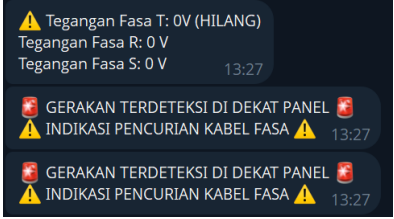
berhasil mendeteksi ketidakseimbangan tegangan, maka akan mengirimkan notifikasi misalnya: “TEGANGAN FASA R DILUAR BATAS TOLERANSI (180V)”

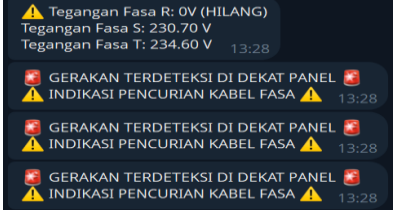
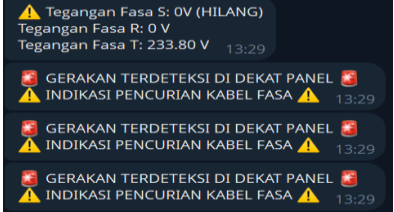
5. Setelah mendeteksi kehilangan fasa atau ketidakseimbangan tegangan antar fasa, sistem akan secara otomatis mengaktifkan sensor PIR selama 10 detik.
6. Dalam durasi tersebut, lakukan simulasi gerakan di depan sensor PIR tepatnya di area kabel input sebelum masuk ke panel yaitu tempat pencuri melakukan aksinya dalam memotong kabel.
7. Amati notifikasi dari sistem. Jika gerakan terdeteksi saat kehilangan tegangan salah satu fasa terjadi, maka Telegram akan menerima pesan “INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA”. Jika gerakan terdeteksi saat ketidakseimbangan tegangan terjadi, maka Telegram akan menerima pesan “INDIKASI PENCURIAN KABEL NETRAL”. Jika tidak ada gerakan, sistem tidak mengirimkan notifikasi pencurian, dan kembali ke kondisi monitoring normal.
8. Mencatat hasil pengujian ke dalam Tabel 5.2 dan Tabel 5.3

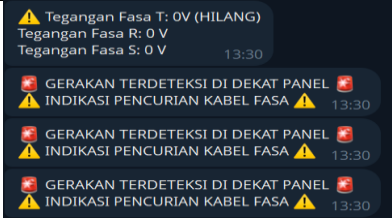
Tabel 5. 2 Pengujian Pencurian Kabel dengan Urutan R-S-T-N

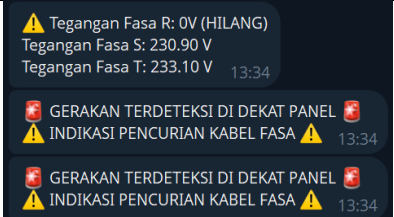
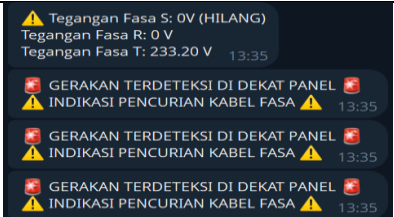
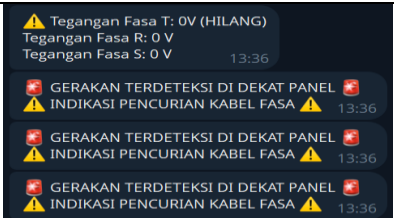
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
1	R	0	232,40	234,60	0	233	235	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	234,60	0	0	235	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil

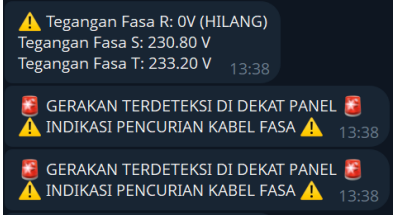
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian
2	R	0	231,40	234,20	0	232	235	Ya	 ⚠ Tegangan Fasa R: 0V (HILANG) Tegangan Fasa S: 231.40 V Tegangan Fasa T: 234.20 V 13:25 🚨 GERAKAN TERDETEKSI DI DEKAT PANEL 🚨 ⚠ INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA ⚠ 13:25 🚨 GERAKAN TERDETEKSI DI DEKAT PANEL 🚨 ⚠ INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA ⚠ 13:25	Sesuai	Berhasil

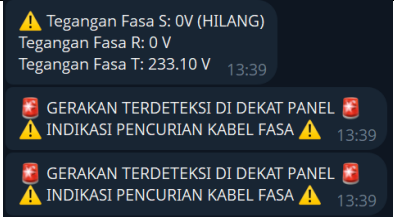
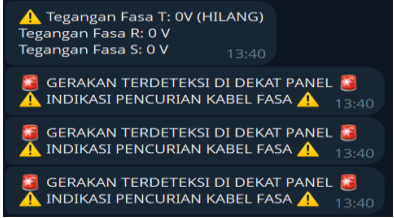
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	S	0	0	234,30	0	0	235	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan

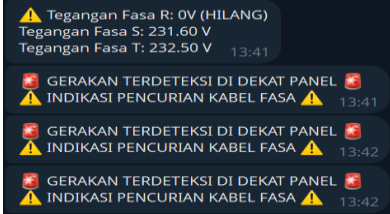
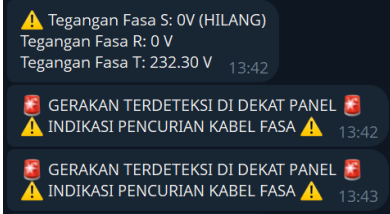
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											untuk mendeteksi pencurian
3	R	0	230,70	234,60	0	231	235	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	233,80	0	0	234	Ya		Sesuai	Berhasil

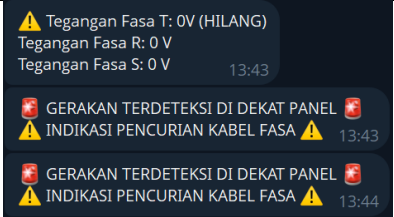
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian

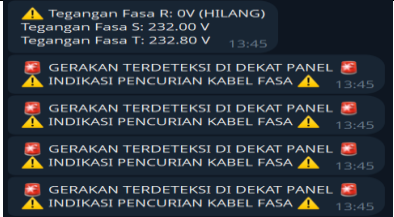
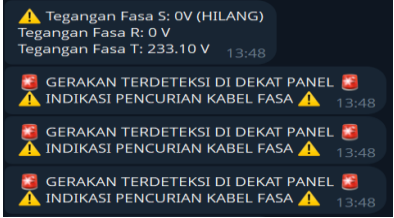
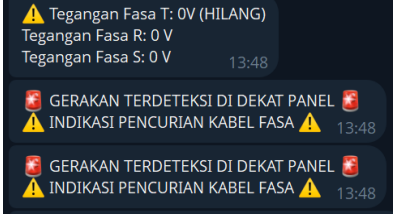
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
4	R	0	230,90	233,10	0	231	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	233,20	0	0	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil

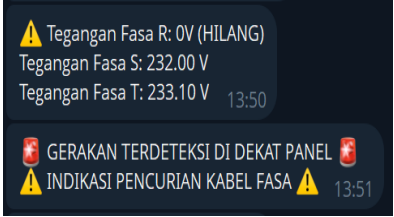
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian
5	R	0	230,80	233,20	0	231	234	Ya	 ⚠ Tegangan Fasa R: 0V (HILANG) Tegangan Fasa S: 230.80 V Tegangan Fasa T: 233.20 V 13:38 🔴 GERAKAN TERDETEKSI DI DEKAT PANEL 🔴 ⚠ INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA ⚠ 13:38 🔴 GERAKAN TERDETEKSI DI DEKAT PANEL 🔴 ⚠ INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA ⚠ 13:38	Sesuai	Berhasil

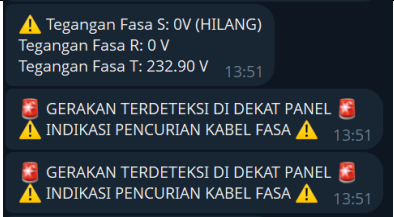
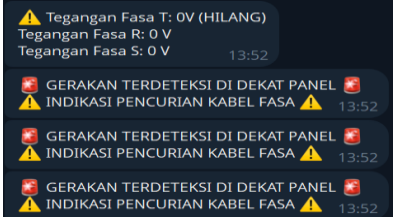
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	S	0	0	233,10	0	0	233	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan

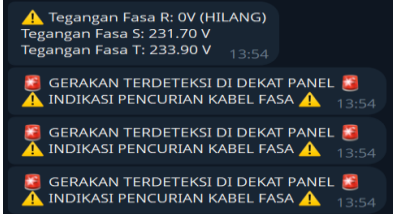
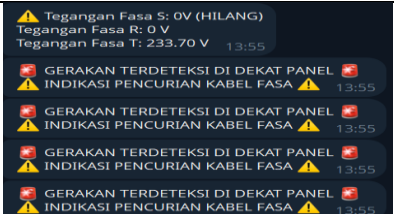
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											untuk mendeteksi pencurian
6	R	0	231,60	232,50	0	232	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	232,30	0	0	232	Ya		Sesuai	Berhasil

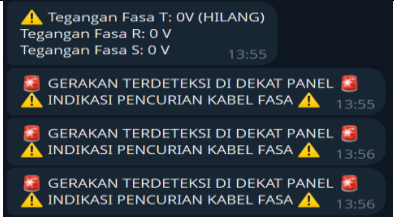
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian

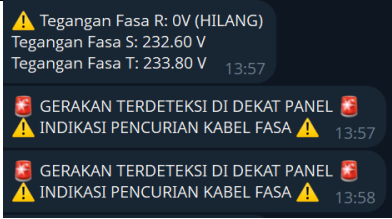
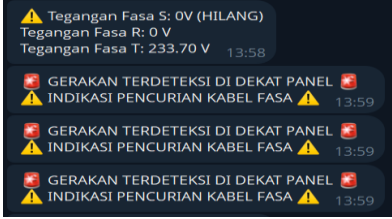
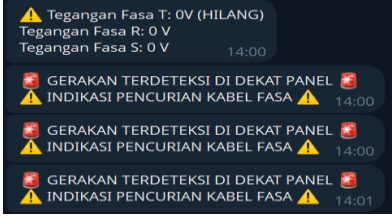
Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
7	R	0	232,00	232,80	0	232	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	233,10	0	0	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil

Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian
8	R	0	232,00	233,10	0	232	234	Ya		Sesuai	Berhasil

Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	S	0	0	232,90	0	0	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan

Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											untuk mendeteksi pencurian
9	R	0	231,70	233,90	0	233	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	233,70	0	0	234	Ya		Sesuai	Berhasil

Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian

Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
10	R	0	232,60	233,80	0	233	235	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	233,70	0	0	234	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	0	0	0	0	0	0	Ya		Sesuai	Berhasil

Uji Coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	N	0	0	0	0	0	0	Tidak	Tidak Ada Notifikasi	Tidak Sesuai	Tidak ada parameter tegangan yang dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian

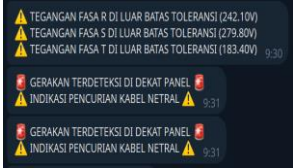
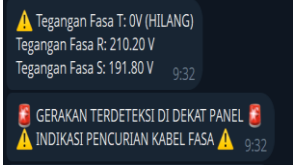
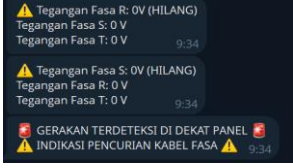
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat mendeteksi kehilangan tegangan akibat pemotongan kabel fasa (R, S, T) dan kabel netral yang disimulasikan sebagai tindakan pencurian kabel. Sistem dirancang untuk merespons kehilangan tegangan dengan mengaktifkan sensor PIR selama 10 detik, kemudian mengirimkan notifikasi melalui Telegram apabila terdapat gerakan mencurigakan di sekitar lokasi pemutusan kabel. Dalam setiap siklus pengujian, kabel fasa diputus satu per satu untuk mengevaluasi keakuratan sistem dalam memantau kondisi tegangan serta efektivitas respon lanjutannya.

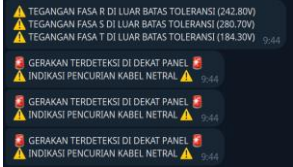
Sebelum pengujian dimulai, sistem diaktifkan melalui saklar dan dipastikan telah terhubung ke jaringan WiFi serta Bot Telegram. Setelah tegangan tiga fasa terdeteksi, sistem masuk ke mode pemantauan. Saat salah satu fasa diputus, sistem berhasil mendeteksi kehilangan tegangan, mengirim notifikasi seperti “TEGANGAN FASA R = 0V (HILANG)”, lalu mengaktifkan PIR. Jika terdapat gerakan dalam waktu 10 detik, sistem mengirim notifikasi lanjutan berupa “INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA” ke aplikasi Telegram.

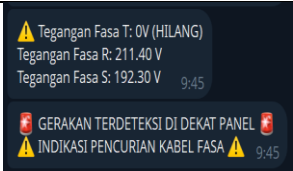
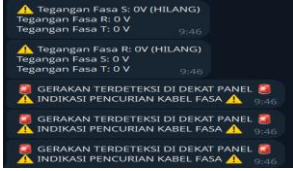
Secara umum, dari 10 kali pengujian, sistem secara konsisten mendeteksi kehilangan fasa dan memicu sensor PIR. Deteksi gerakan dan pengiriman notifikasi juga berjalan dengan baik. Validasi bahwa sistem mampu mendeteksi pencurian kabel fasa secara akurat dapat disimpulkan dari kombinasi kehilangan fasa, aktivasi PIR, dan notifikasi yang dikirim secara otomatis ke Telegram.

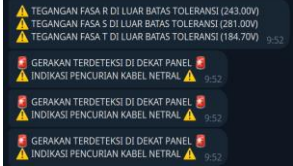
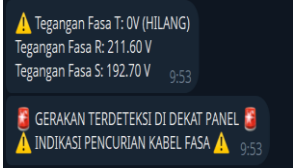
Namun, dalam pengujian dengan urutan pemotongan R–S–T–N, ketika kabel netral (N) dipotong terakhir, sistem tidak dapat mendeteksinya sebagai pencurian karena parameter utama, yaitu tegangan ketiga fasa, sudah tidak tersedia (terbaca 0V). Tidak adanya referensi tegangan menyebabkan pemutusan kabel netral tidak memicu respons atau notifikasi tambahan. Meskipun kabel netral tidak terdeteksi, deteksi pada ketiga kabel fasa sebelumnya telah cukup untuk mengindikasikan adanya tindakan pencurian kabel, sehingga sistem tetap dianggap efektif dalam memberikan peringatan dini terhadap indikasi pencurian kabel output transformator menuju PHB-TR pada gardu distribusi tipe portal.

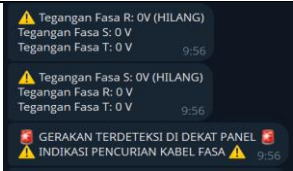
Tabel 5. 3 Pengujian Pencurian Kabel dengan Urutan N-T-S-R

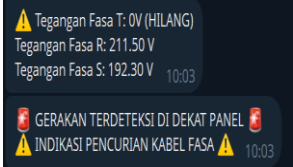
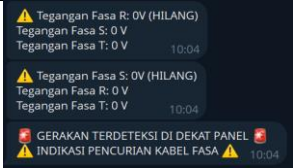
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
1	N	242,10	279,80	183,40	243	280	184	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	210,20	191,80	0	211	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Tidak Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah

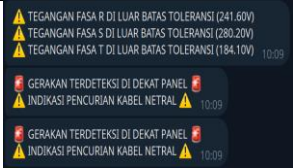
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang
	R	0	0	0	0	0	0	-		-	Tidak Berhasil
2	N	242,80	280,70	184,30	244	281	184	Ya		Sesuai	Berhasil

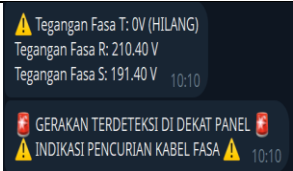
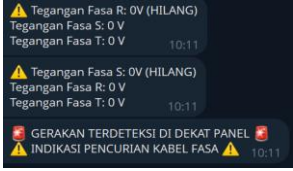
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	T	211,40	192,30	0	212	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya,

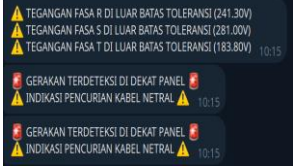
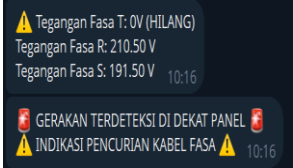
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											maka menganggap fasa R juga hilang
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
	N	243.00	281.00	184.70	244	281	185	Ya		Sesuai	Berhasil
3	T	211.60	192.70	0	212	194	0	Ya		Sesuai	Berhasil

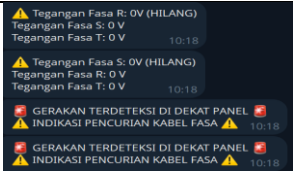
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang

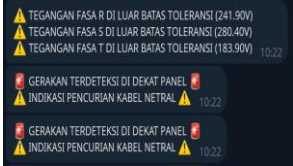
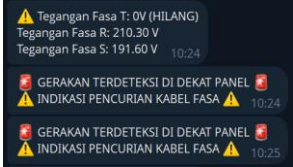
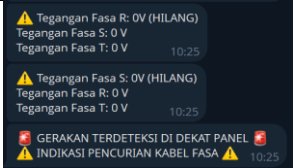
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
4	N	243,50	281,10	184,90	244	281	185	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	211,50	192,30	0	212	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
5	N	241,60	280,20	184,10	242	280	184	Ya		Sesuai	Berhasil

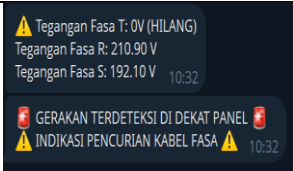
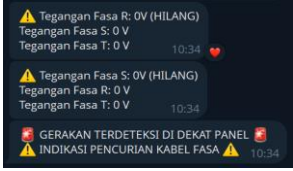
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	T	210,40	191,40	0	211	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya,

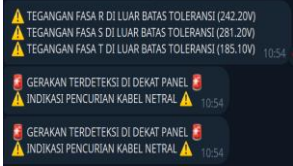
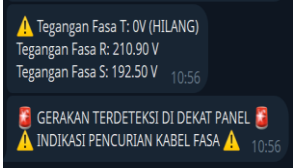
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											maka menganggap fasa R juga hilang
	R							-	-	-	Tidak Berhasil
	N	241,30	281,00	183,80	242	281	185	Ya		Sesuai	Berhasil
6	T	210,50	191,50	0	211	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil

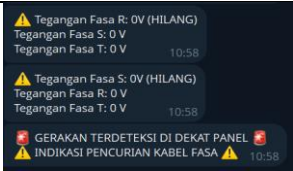
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang

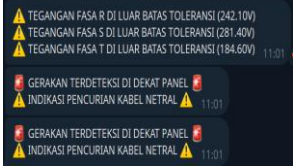
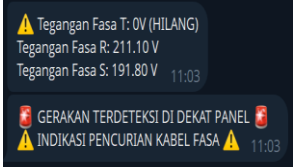
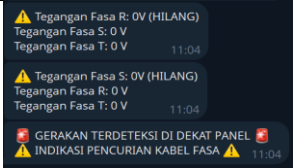
Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
7	N	241,90	280,40	183,90	242	280	185	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	210,30	191,60	0	211	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
8	N	241,50	281,10	184,30	243	281	185	Ya		Sesuai	Berhasil

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	T	210,90	192,10	0	212	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya,

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											maka menganggap fasa R juga hilang
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
	N	242,20	281,20	185,10	243	281	186	Ya		Sesuai	Berhasil
9	T	210,90	192,50	0	212	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil
10	N	242,10	281,40	184,60	243	281	185	Ya		Sesuai	Berhasil
	T	211,10	191,80	0	212	193	0	Ya		Sesuai	Berhasil
	S	0	0	0	0	0	0	Ya		Kurang Sesuai	Harusnya notifikasi yang muncul hanya untuk hilang fasa S, tetapi karena

Uji coba	Urutan Pemotongan Kabel	Tegangan Terbaca oleh Sensor (V)			Tegangan Terukur oleh Multimeter (V)			Sensor PIR mendeteksi gerakan	Notifikasi Telegram	Keseuaian Kondisi	Keterangan
		R	S	T	R	S	T				
											sensor sudah tidak memiliki referensi jalur lainnya, maka menganggap fasa R juga hilang
	R	0	0	0	0	0	0	-	-	-	Tidak Berhasil

Pengujian ini dilakukan dengan urutan pemotongan kabel Netral kemudian kabel fasa T–S–R untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi pencurian kabel, terutama jika pencurian diawali dari kabel netral. Saat kabel netral diputus terlebih dahulu dalam kondisi beban tidak seimbang (lampu pijar 5W, 15W, 25W) sistem mendeteksi ketidakseimbangan tegangan yang cukup signifikan pada fasa R, S, dan T. Misalnya, pada data uji coba ke-1 tegangan $R = 242,10 \text{ V}$, $S = 279,80 \text{ V}$, dan $T = 183,40 \text{ V}$, yang seluruhnya berada di luar batas toleransi tegangan pelayanan berdasarkan SPLN No.1 tahun 1978 (198–231 V). Sistem mengenali kondisi ini sebagai indikasi pencurian kabel netral dan mengaktifkan sensor PIR selama 10 detik. Jika gerakan terdeteksi, notifikasi “INDIKASI PENCURIAN KABEL NETRAL” dikirim ke Telegram.

Kemudian adalah pemotongan kabel fasa T. Sistem berhasil mendeteksi tegangan fasa $T = 0 \text{ V}$ dan kembali mengaktifkan sensor PIR selama 10 detik. Dalam jangka waktu tersebut, jika gerakan terdeteksi, sistem mengirimkan notifikasi “INDIKASI PENCURIAN KABEL FASA”. Tegangan fasa R dan S juga berubah, Misalnya, pada data uji coba ke-1 Tegangan fasa $R = 210,20 \text{ V}$ dan $S = 191,80 \text{ V}$, karena distribusi tegangan terganggu akibat hilangnya titik netral dan salah satu fasa. Kemudian, saat fasa S diputus, sistem membaca bahwa fasa S dan fasa R sama-sama hilang (0V), meskipun secara fisik hanya fasa S yang diputus. Hal ini terjadi karena sensor tegangan yang memantau tegangan pada kabel fasa R kehilangan titik referensi akibat kombinasi dari hilangnya netral dan dua fasa lainnya, sehingga sensor tidak dapat mendeteksi tegangan dengan benar dan menganggap hilang. Sensor PIR kembali aktif, dan jika ada gerakan, notifikasi pencurian kabel fasa kembali dikirimkan.

Saat kabel fasa R diputus, maka seluruh tegangan telah hilang sepenuhnya sehingga sistem tidak lagi memiliki parameter untuk mendeteksi kondisi yang terajadi. Oleh karena itu, tidak ada notifikasi baru yang dikirim saat fasa R diputus terakhir. Namun, tiga peristiwa sebelumnya seperti ketidakseimbangan tegangan, hilangnya fasa T dan S, serta aktivasi sensor PIR dan notifikasi yang sudah dikirimkan, telah cukup memberikan indikasi kuat bahwa telah terjadi pencurian kabel. Maka, meskipun kabel netral yang dipotong di awal tidak dapat terdeteksi

secara eksplisit sebagai "hilang", sistem tetap mampu mengidentifikasi skenario pencurian kabel dengan cukup akurat dan responsif.

5.4 Pengujian Pemadaman Listrik

Pengujian ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi pemadaman listrik, yaitu ketika ketiga fasa (R, S, dan T) hilang secara serentak dalam waktu kurang dari sama dengan 2 detik. Dalam implementasinya, hilangnya tegangan pada semua fasa secara bersamaan biasanya mengindikasikan gangguan dari sisi suplai utama atau pemutusan oleh pihak penyedia listrik (PLN), bukan karena pencurian.

Dalam sistem ini, hilangnya ketiga fasa secara bersamaan dalam waktu singkat (kurang dari sama dengan 2 detik) menjadi indikator terjadinya pemadaman listrik. Untuk mensimulasikan kondisi ini, digunakan MCB 3 fasa sebagai pemutus serentak dari sumber listrik utama. Ketika ketiga fasa padam bersamaan, sistem akan mengirimkan notifikasi “INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK TERDETEKSI” ke aplikasi Telegram.

➤ Langkah-Langkah Pengujian

1. Pastikan sistem telah aktif, terhubung ke jaringan WiFi dan Telegram, serta semua fasa (R, S, T) terdeteksi.
2. Simulasikan pemadaman serentak dengan memutus MCB 3 fasa utama yang menyuplai ketiga fasa secara bersamaan.
3. Periksa aplikasi Telegram untuk memastikan apakah sistem mengirimkan notifikasi "PEMADAMAN LISTRIK TERDETEKSI".
4. Ulangi simulasi ini sebanyak 10 kali untuk menguji konsistensi deteksi dan notifikasi sistem.
5. Mencatat hasil pengujian ke dalam Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Pengujian Pemadaman Listrik

Pengujian Ke-	Kondisi Tegangan Sensor (V)			Kondisi Tegangan Alat Ukur (V)			Notifikasi Telegram	Kesesuaian Kondisi	Keterangan
	R	S	T	R	S	T			
1	0	0	0	0	0	0	TEGANGAN 3 FASA HILANG SERENTAK  INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK  8:39	Sesuai	Berhasil
2	0	0	0	0	0	0	TEGANGAN 3 FASA HILANG SERENTAK  INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK  8:42	Sesuai	Berhasil
3	0	0	0	0	0	0	TEGANGAN 3 FASA HILANG SERENTAK  INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK  8:44	Sesuai	Berhasil
4	0	0	0	0	0	0	TEGANGAN 3 FASA HILANG SERENTAK  INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK  8:46	Sesuai	Berhasil
5	0	0	0	0	0	0	TEGANGAN 3 FASA HILANG SERENTAK  INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK  8:48	Sesuai	Berhasil
6	0	0	0	0	0	0	TEGANGAN 3 FASA HILANG SERENTAK  INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK  8:50	Sesuai	Berhasil

Berdasarkan 10 kali siklus pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang sangat konsisten dalam mengenali kondisi pemadaman listrik. Setiap kali tegangan pada ketiga fasa (R, S, dan T) diputus secara serentak menggunakan MCB tiga fasa, sistem berhasil mendeteksi hilangnya tegangan secara real-time dan segera memberikan respons yang tepat.

Sesuai dengan logika sistem yang telah dirancang, kondisi hilangnya tegangan secara serentak dalam waktu kurang dari sama dengan 2 detik diinterpretasikan sebagai indikasi pemadaman listrik dan sistem langsung mengirimkan notifikasi otomatis ke aplikasi Telegram dengan pesan: "INDIKASI PEMADAMAN LISTRIK". Notifikasi ini dikirimkan dan menunjukkan bahwa sistem mampu mengambil keputusan secara tepat.

Sebagai bagian dari verifikasi dan validasi hasil, dilakukan pengukuran manual menggunakan alat ukur multimeter digital. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan pada ketiga fasa (R, S, dan T) sama dengan 0 Volt pada saat pemadaman disimulasikan. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki akurasi yang dapat diandalkan dalam membaca kondisi tegangan sebenarnya.

5.5 Analisis Konsumsi Daya dan Durasi Kerja Alat

Pada perancangan sistem berbasis baterai, penting untuk mengetahui seberapa besar daya yang dibutuhkan serta berapa lama alat dapat beroperasi sebelum baterai habis. Hal ini diperlukan agar sistem dapat dirancang dengan kapasitas baterai yang sesuai dan mampu bekerja sesuai kebutuhan lapangan. Meskipun alat telah dilengkapi dengan modul charging otomatis yang memungkinkan baterai terisi ulang ketika suplai listrik tersedia, perhitungan pada bagian ini difokuskan pada kondisi ketika sumber charging tidak aktif. Kondisi tersebut dapat terjadi karena adanya pemadaman listrik dari jaringan, sehingga modul charging tidak memperoleh suplai, atau karena adanya permasalahan pada sistem charging itu sendiri, misalnya kerusakan pada modul pengisi daya. Jika hal ini terjadi, maka baterai menjadi satu-satunya sumber energi yang dapat menjaga sistem tetap berfungsi.

Analisis dilakukan dengan menghitung konsumsi daya dari setiap komponen, seperti mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T v3.0, sensor PIR HC-SR501. Total konsumsi daya yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan kapasitas baterai untuk menghitung estimasi lama waktu operasi sistem hingga baterai tidak lagi mampu menyuplai daya. Dengan demikian, hasil analisis ini memberikan informasi mengenai ketahanan alat dalam kondisi darurat, baik ketika terjadi pemadaman listrik maupun ketika sistem charging tidak berfungsi dengan semestinya. Berikut tabel konsumsi daya komponen pada alat ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Konsumsi Daya Beban pada Sistem

No	Komponen	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	ESP WROOM Devkit V1	5	0,24	1,2
2	Sensor PZEM-004T-V3.0	5	0,07	0,35
3	Sensor PIR HC-SR501	5	0,065	0,325
4	LED 5mm merah	5	0,02	0,1
Total Daya				1,975

Sumber daya yang digunakan pada alat ini berasal dari dua buah baterai Li-ion yang dirangkai seri, masing-masing memiliki tegangan nominal 3,7 V dan kapasitas 15.000 mAh. Dengan konfigurasi seri, tegangan total baterai menjadi sekitar 7,4 V, sedangkan kapasitas tetap sebesar 15.000 mAh atau 15Ah. Energi listrik yang tersimpan pada baterai dapat dihitung dengan persamaan:

$$E=V \times Q$$

dengan:

E = energi listrik (Wh)

V = tegangan nominal baterai (Volt)

Q = kapasitas baterai (Ah)

Energi total yang tersimpan dapat dihitung dengan mengalikan tegangan nominal dengan kapasitas, yaitu:

$$E = 7,4V \times 15Ah = 111Wh$$

Depth of Discharge (DoD) merupakan parameter yang menunjukkan seberapa besar kapasitas baterai yang digunakan dibandingkan dengan kapasitas totalnya. Semakin besar nilai DoD, semakin dalam pengosongan baterai yang dilakukan. Pada baterai berbasis lithium-ion, penggunaan hingga DoD 100% memang memungkinkan, namun praktik tersebut akan mempercepat degradasi sel dan mengurangi umur pakai baterai. Oleh karena itu, digunakan DoD sebesar 80% untuk memungkinkan energi baterai tetap dimanfaatkan secara signifikan, namun dengan tetap menjaga umur siklus baterai agar lebih panjang. Dengan dasar pertimbangan tersebut, pada perhitungan durasi operasi alat ini digunakan asumsi DoD sebesar 80% dari kapasitas total baterai. Energi yang dapat digunakan dengan DoD sebesar 80% adalah:

$$\begin{aligned} E_{80} &= E_{total} \times 80\% \\ &= 111 \times 0,8 \\ &= 88,8 Wh \end{aligned}$$

Untuk mengetahui berapa lama alat dapat beroperasi hanya dengan sumber daya baterai, diperlukan perhitungan teoritis mengenai waktu operasi. Perhitungan ini didasarkan pada kapasitas baterai serta total konsumsi arus dari seluruh beban yang digunakan dalam sistem. Secara umum, lama waktu operasi dapat dihitung dengan membagi kapasitas baterai dengan arus total beban. Maka estimasi durasi kerja dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$t = \frac{E_{80}}{P_{total}}$$

dimana:

t = waktu operasi (jam)

E_{80} = energi baterai dengan DoD 80% (Wh)

P_{total} = daya total beban (W)

Estimasi durasi kerja pada sistem alat rancang bangun deteksi dini pencurian kabel output transformator menuju PHB-TR pada gardu distribusi tipe portal berbasis Iot dapat kita hitung sebagai berikut:

$$t = \frac{88,8 \text{ Wh}}{1,975 \text{ W}} \approx 44,96 \text{ jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa baterai dengan kapasitas 15 Ah pada tegangan 7,4 V memiliki energi total sebesar 111 Wh. Dengan memperhitungkan konsumsi daya total beban serta menerapkan Depth of Discharge (DoD) sebesar 80% untuk menjaga umur pakai baterai, maka durasi kerja alat diperoleh sekitar 45 jam. Hasil ini menunjukkan estimasi lama waktu operasi sistem ketika hanya bergantung pada suplai daya dari baterai.