

IDENTIFIKASI DAN PROTEKSI KEBOCORAN ARUS LISTRIK PADA RUMAH TANGGA

Zaki Maulana Rakasiwi¹, Dista Yoel Tadeus², Fakhruddin Mangkusamito², Ari Bawono Putranto²

¹Program Studi D-III Teknik Elektro, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Jurusan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Received: 14 Juni 2022; revised: 13 Juli 2022; accepted: 19 Juli 2022

ABSTRACT

Electric current leakage can occur because the electric current flowing from the phase wire (voltage) to the ground is caused by an insulation leak caused by poor wiring or problematic tools causing sparks that can damage electrical installations, and consequently can cause electric shock to the human body. The research method used is descriptive method with a qualitative approach, and the software development model uses a simulation model. The system is designed using the Arduino Uno controller, with the use of the PZEM-004T sensor as a current leak detector in household electric households. To create a remote monitoring system, MQTT is used which uses a Wi-Fi network to communicate data between a smartphone and a device made by the author. With this tool, the condition of household electricity can be monitored in real time, with an error percentage of 0.09% and 0.14%. Besides being able to be monitored in real time, current and voltage values can be monitored remotely via the Wemos D1 mini data communication media, with a startup speed of 6.31 seconds for each data.

Keywords: Monitoring, Current Leakage, Household Electricity

PENDAHULUAN

Pada akifitas sehari-hari, penggunaan listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok setiap manusia. Energi listrik dimanfaatkan untuk menggerakkan berbagai perangkat elektronik yang berfungsi mempermudah pekerjaan manusia. Kebutuhan energi listrik untuk masyarakat di seluruh Indonesia akan terus meningkat, sehingga diperlukan suplai tenaga listrik yang mencukupi. Tercatat, penjualan tenaga listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) tahun 2017 sebesar 219.544,60 GWh. Dibandingkan dengan tahun 2016 penjualan tenaga listrik tersebut naik sebesar 3.540,28 GWh atau 1,6 % terdiri dari penjualan untuk sektor industri sebesar 71.744,13 GWh, sektor rumah tangga sebesar 93.583,52 GWh, sektor komersial atau usaha sebesar 41.601,08 GWh, sektor publik atau umum sebesar

3.503,47 GWh, dan sektor sosial dan kantor pemerintah sebesar 11.142,47 GWh [1].

PLN merupakan perusahaan Badan Usaha Milik Negara yang mengendalikan semua aspek kelistrikan yang ada di Indonesia. Berbagai masalah bisa saja muncul, tidak terkecuali dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan listrik. Salah satu masalah yang timbul adalah kebocoran listrik pada konsumen. Kebocoran listrik tersebut dapat diketahui ketika bargainser atau yang sering dikenal dengan meteran listrik, terus mendeteksi adanya listrik yang mengalir meskipun tidak ada penggunaan alat elektronik. Hal itu disebabkan oleh kebocoran listrik yang pada dasarnya tanpa kita kehendaki dan tanpa kita ketahui. Kebocoran listrik dapat terjadi karena arus listrik yang mengalir dari kawat fasa (yang bertegangan) ke tanah

diakibatkan karena adanya kebocoran isolasi yang disebabkan perkabelan yang buruk atau alat-alat yang dipakai bermasalah sehingga timbul percikan api yang dapat merusak instalasi listrik [2].

Hartono (2017) menjelaskan bahwa kebocoran arus listrik adalah terjadinya aliran arus listrik dalam suatu jaringan kelistrikan yang tidak semestinya. Kondisi ini merupakan ketidaknormalan yang terjadi pada instalasi listrik maupun perangkat elektronik. Beberapa faktor yang menyebabkan kondisi ketidaknormalan, antara lain karena sambungan kabel yang tidak sempurna, isolasi yang terkelupas, komponen listrik yang rusak atau terkelupasnya isolator kabel. Tidak hanya pada konduktor padat, arus listrik juga dapat mengalir pada media cair, seperti air. Akibat terjadinya kebocoran arus listrik dapat menyebabkan terjadinya sengatan listrik pada tubuh manusia [3].

Sedangkan menurut (Sofwandan & Kusuma, 2018) “Arus bocor merupakan arus yang mengalir menembus atau melalui permukaan isolasi. Arus bocor juga disebabkan oleh rongga-rongga pada bahan isolasi, yang disebabkan kesalahan pada pembuatan bahan isolasi tersebut” [2].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif, dan model pengembangan perangkat lunaknya menggunakan model simulasi. Sistem yang dirancang menggunakan *controller* Arduino Uno, dengan penggunaan sensor PZEM-004T sebagai pendeteksi kebocoran arus dalam rumah listrik rumah tangga. Untuk membuat sistem monitoring jarak jauh, digunakan MQTT yang menggunakan jaringan Wi-Fi dalam melakukan komunikasi data antara smartphone dan alat yang dibuat penulis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebocoran arus listrik adalah terjadinya aliran arus listrik dalam suatu jaringan

kelistrikan yang tidak semestinya. Kondisi ini merupakan kondisi ketidak normalan yang terjadi pada instalasi listrik maupun perangkat elektronik. Kondisi ketidaknormalan ini dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain: terjadinya persambungan yang tidak sempurna, terjadinya kebocoran isolasi, terjadinya kerusakan komponen atau kabel yang terkelupas. Arus listrik tidak hanya mengalir melalui bahan penghantar atau konduktor padat, melainkan juga dapat terjadi melalui medium cair, seperti air. Akibat terjadinya kebocoran arus listrik dapat menyebabkan terjadinya sengatan listrik pada tubuh manusia (Emedicine Health, 2015) [1]. Tabel 1 menunjukkan pengaruh sengatan listrik terhadap organ tubuh manusia dengan asumsi terjadi kontak langsung dengan kulit (Prasad, Sharma, & Sharma, 2010) [3].

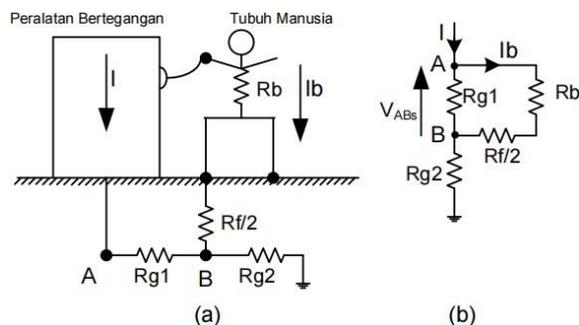
Tabel 1. Pengaruh sengatan listrik terhadap organ tubuh manusia.

Arus (mA)	Efek Biologis	Tegangan (V) Pada Tubuh	
		1000 Ω	100000Ω
1	Batas ambang merasa geli	1	10
5	Sensasi syok, tidak nyeri	5	500
10-20	Nyeri disertai kontraksi otot yang hebat dan kesulitan bernafas	10	1000
100-300	Fibrilasi ventrikel dan kelumpuhan pernafasan	100	10000
6000	Fibrilasi ventrikel, kelumpuhan pernafasan, dan luka bakar	6000	600000

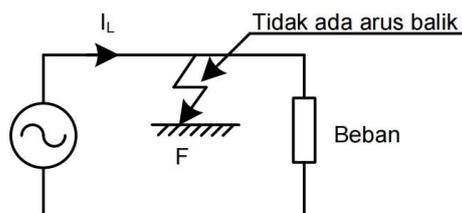
Arus yang dihasilkan dari suatu sumber arus listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu arus searah (direct current/DC) dan arus bolak-balik

(alternating current/AC). Arus DC merupakan arus yang mempunyai polaritas yang tetap setiap waktu. Arus AC merupakan arus listrik yang mempunyai polaritas yang selalu berubah setiap waktu [3].

Arus bocor dapat mengalir ke dalam tubuh manusia karena tubuh manusia sehat memiliki resistansi rata – rata R_b menurut standar IEEE 80:2000 sebesar 1000Ω . Jadi sesuai dengan hukum Ohm dapat dijabarkan bahwa bila sebuah resistansi terhubung ke bagian tegangan aktif V maka akan mengalir arus pada tahanan tersebut sebesar I . Gangguan yang menyebabkan arus bocor pada suatu objek material konduktor dapat disebabkan oleh adanya bagian listrik aktif bertegangan terhubung ke tanah.



Gambar 1. Tegangan sentuh pada tubuh dan Rangkaian ekivalen tegangan sentuh [2].



Gambar 2. Sistem tanpa pentanahan [2].

Gangguan bagian bertegangan yang terhubung ketanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dapat terjadi secara langsung oleh karena suatu objek konduktor menyentuh bagian sumber yang bertegangan misal seperti bagian tubuh menyentuh kawat fasa listrik yang aktif atau menyentuh bagian peralatan listrik aktif yang mengalami kegagalan isolasi sehingga objek mendapat tegangan, proses ini dikenal sebagai gangguan tegangan sentuh yang

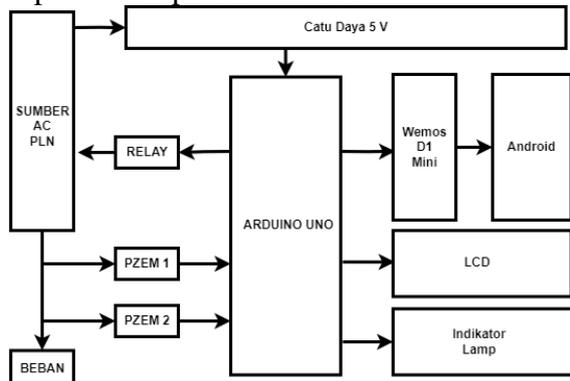
mengakibatkan terjadinya arus bocor ke tanah melalui objek yang menyentuh peralatan yang bertegangan tersebut. Dimana I adalah arus pada peralatan, I_b adalah arus bocor yang mengalir pada tubuh, R_b adalah tahanan tubuh, R_f adalah tahanan kontak ke tanah pada kaki, $R_{g1,2,3}$ adalah tahanan tanah dan V_{ABs} adalah tegangan sentuh, berdasarkan Gambar 1.

Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) adalah suatu alat listrik yang dipergunakan sebagai pengaman bila terjadi arus bocor pada salah satu penghantar yang melalui alat tersebut Sakelar ini memiliki sebuah transformator arus dengan inti berbentuk gelang (Gambar 2). Inti ini melingkari semua hantaran suplai ke mesin atau sistem yang diamankan, termasuk penghantar netral. Dalam keadaan normal, jumlah arus yang dilingkari oleh inti transformator sama dengan nol, dan saat terdapat arus bocor ke tanah, keadaan seimbang akan terganggu. Oleh karena itu, dalam inti transformator akan timbul suatu medan magnetik yang membangkitkan tegangan dalam kumparan sekunder. Apabila arus bocor tersebut mencapai pada suatu harga tertentu maka relay pada ELCB akan bekerja melepaskan kontak-kontaknya [4].

Secara sederhananya, ELCB bekerja dengan mendeteksi arus listrik yang tidak seimbang. Sebagai contoh, ketika seseorang menyentuh kabel listrik yang terbuka dari alat listrik yang sedang menyala, maka arus listrik akan bocor dan mengalir melalui orang tersebut. ELCB akan segera mendeteksi arus bocor ini dengan membandingkan arus listrik yang mengalir pada fasa dan netral, yang ternyata tidak seimbang, sehingga akan mengaktifkan relay untuk trip/switch off. ELCB mempunyai beberapa sensitivitas, yaitu :

1. 10 mA untuk proteksi dengan kebutuhan tingkat sensitivitas tinggi, contohnya untuk rumah sakit.
2. 30 mA untuk proteksi terhadap manusia /kontak langsung.
3. 300 mA untuk proteksi terhadap bahaya kebakaran /kontak tidak langsung [5].

Blok diagram dari perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



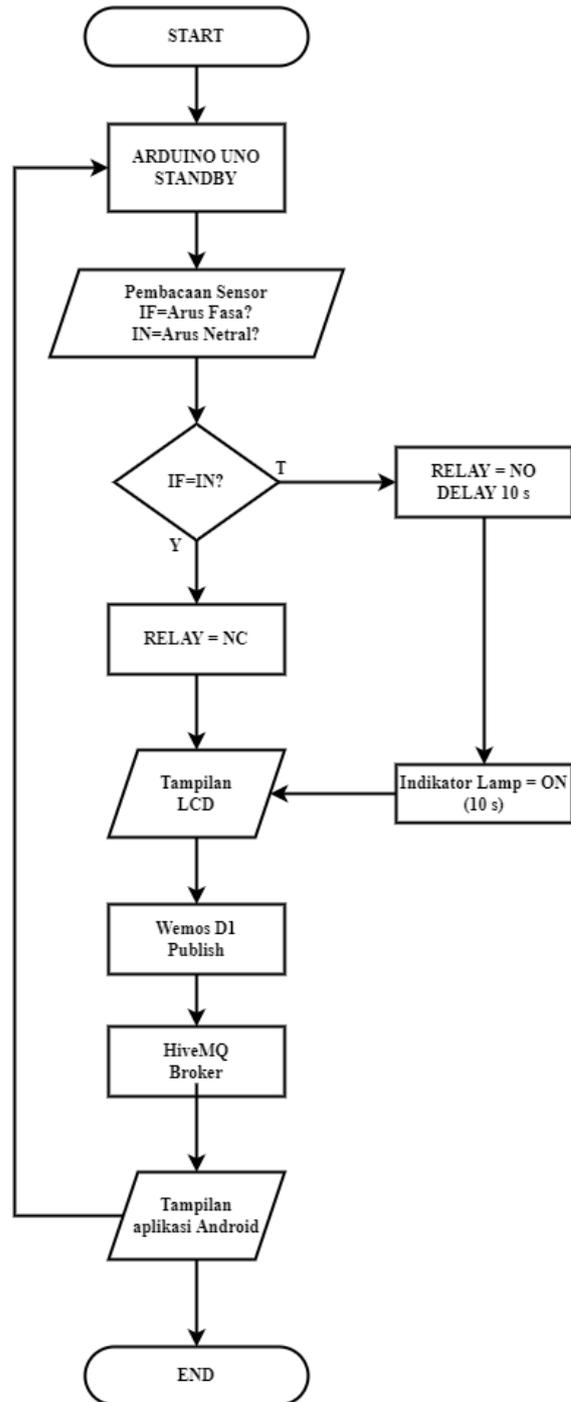
Gambar 3. Diagram blok alat.

Alat pendeteksi kebocoran arus ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada kebocoran arus pada beban suatu rangkaian listrik. Selain itu, alat ini juga memiliki proteksi terhadap arus bocor. Cara kerja alat ini hampir sama dengan sistem ELCB (Earth-Leakage Circuit Breaker) dimana ketika arus pada netral dan fasa tidak sama atau tidak seimbang maka secara otomatis akan memutus aliran listrik sumber dari PLN ke-beban. Pada alat tugas akhir ini menggunakan prinsip sensitifitas dari ELCB yang digunakan pada rumah sakit sebesar 30 mA.

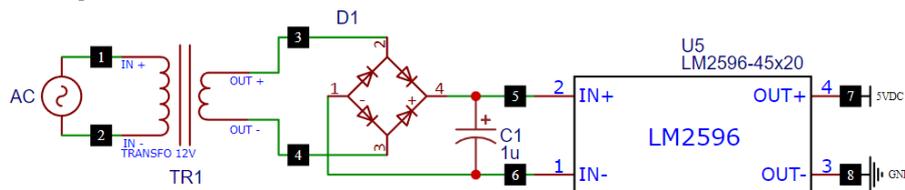
Pengukuran Rangkaian

A. Catu Daya

Rangkaian yang pertama kali diukur adalah catu daya 5 VDC. Sumber tegangan 5 VDC ini digunakan untuk supply tegangan mikrokontroler, adapun komponen lain menggunakan supply tegangan 5 VDC dari mikrokontroler. Pengujian yang dilakukan adalah dengan mengambil data pengukuran tegangan input dan tegangan keluaran dari rangkaian catu daya.



Gambar 4. Flowchart alat.



Gambar 5. Titik Pengukuran Pada Rangkaian PSA 7 VDC.

Table 2. Tabel Pengukuran PSA 5 VDC.

No.	Besaran Terukur	Titik Pengukuran	Hasil Pengukuran
1.	Input Transformator Sisi Primer	1-2	228.3 VAC
2.	Ouput Transformator Sisi Sekunder	3-4	12.48 VAC
3.	Output Dioda dan Kapasitor	5-6	14,49 VDC
4.	Output Modul LM 2596 DC – DC	7-8	5,0 VDC

B. Sensor PZEM-004T

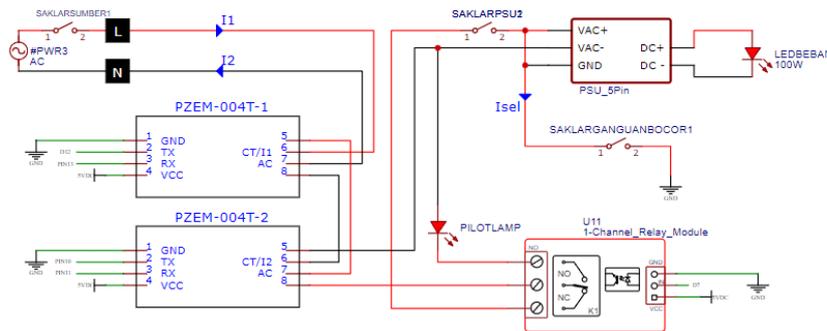
Alat ini menggunakan 2 sensor PZEM-004T untuk mengetahui nilai arus pada line dan netral. Pengukuran menggunakan sensor ini bertujuan untuk mengetahui kesalahan dalam pembacaan/error (%) pada sensor, dengan mengukur arus pada beban yang berbeda-beda kemudian menghitungnya dengan persamaan (1).

$$\%Error = \left| \frac{HS - HTA}{HTA} \times 100\% \right| \quad (1)$$

Dimana :

- HS : Hasil Sensor
- HTA : Hasil Tang Ampere

Adapun hasil pengukuran arus dengan sensor PZEM-004T dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 6. Titik pengukuran sensor PZEM-004T-1 (I1) dan PZEM-004T-2 (I2).

Tabel 3. Hasil perbandingan pengukuran PZEM-004T-1 dengan tang ampere.

No.	Beban	Pembacaan Sensor I1 (L)	Tang Ampere (A)	Selisih	Error (%)
1.	PSU (LED 100W)	0.27 A	0.27	0	0
2.	Kipas (20 W)	0.12 A	0.11	0.01	0.09
3.	Solder (60 W)	0.09 A	0.08	0.01	0.12
4.	Rice Cooker (45 W)	0.19 A	0.16	0.03	0.18
5.	Dispenser (385 W)	1.59 A	1.49	0.1	0.06
Rata-Rata				0.03	0.09

Tabel 4. Hasil perbandingan pengukuran PZEM-004T-2 dengan tang ampere.

No.	Beban	Pembacaan Sensor I2 (N)	Tang Ampere (A)	Selisih	Error (%)
1.	PSU (LED 100W)	0.28 A	0.28	0	0
2.	Kipas (20 W)	0.09 A	0.10	0.01	0.1
3.	Solder (60 W)	0.09 A	0.08	0.01	0.12
4.	Rice Cooker (45 W)	0.21 A	0.15	0.06	0.4
5.	Dispenser (385 W)	1.61 A	1.56	0.05	0.08
Rata-Rata				0.02	0.14

C. Modul Relay

Relay pada alat ini digunakan sebagai pengaman untuk memutus tegangan dari sumber PLN saat terjadi kebocoran arus pada beban. Relay yang digunakan adalah modul relay 5 Volt DC. Pengukuran ini berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan pada coil relay reset, yang dihasilkan dari perbedaan jenis trigger (high dan low) yang diberikan oleh mikrokontroler arduino uno. Hasil pengukuran coil relay dapat dilihat pada Tabel 5.

D. Kecepatan *Startup* Wemos D1 Mini

Wemos D1 mini berfungsi untuk komunikasi data pada alat yang dibuat penulis. Komunikasi dilakukan oleh Wemos D1 mini dengan smartphone untuk kegiatan monitoring arus listrik. Pengukuran ini dilakukan untuk mengambil data kecepatan komunikasi Wemos D1 mini mengirimkan data pada aplikasi MQTT di smartphone. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan stopwatch diukur mulai dari menyalakan alat sampai dengan smartphone mendapatkan data monitoring, hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Modul Relay.

No.	Vin	Logika Input	Hasil Pengukuran	
			NO	NC
1.	0 VDC	Low	1,76 VAC	216.8 VAC
2.	5,27 VDC	High	215.6 VAC	5.53 VAC

Tabel 6. Hasil Pengukuran Kecepatan Startup Wemos D1 mini.

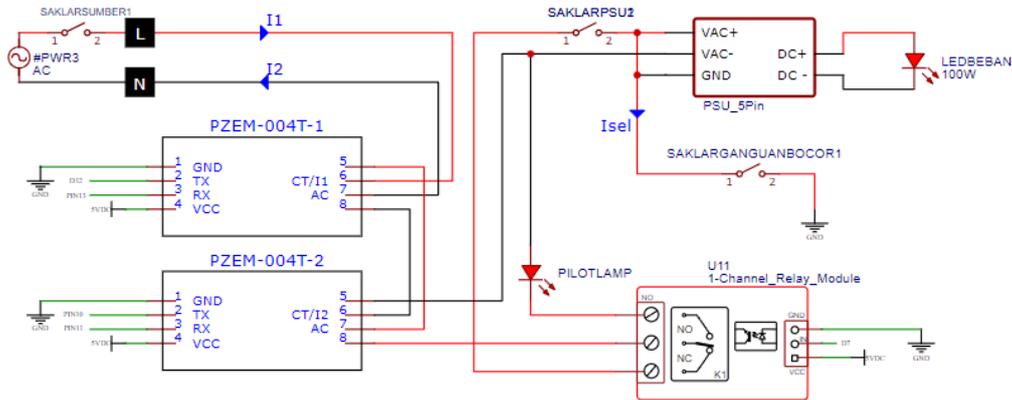
Percobaan	Perintah	Waktu
I	Mengirimkan data hasil monitoring	6.56 detik
II		6.10 detik
III		6.27 detik
Rata – Rata		6.31 detik

Pengujian Alat

A. Pengujian Alat Pada Beban Normal (Arus Tidak Bocor)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem monitoring dan proteksi berfungsi dengan baik. Beban dikatakan baik apabila I1 dan I2 selisih tidak melebihi

30 mA sesuai dengan sensitifitas pada ELCB. Oleh karena itu perlu adanya percobaan dengan menggunakan beban yang berbeda-beda arusnya untuk melakukan uji coba alat. Adapun beban yang digunakan adalah peralatan elektronik rumah, yang mana hasilnya ada pada Tabel 7.



Gambar 7. Rangkaian Pengujian Alat pada Beban Normal.

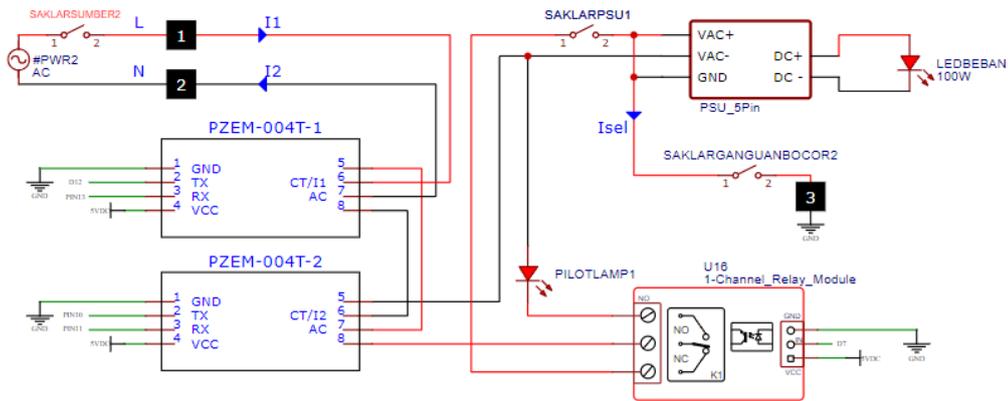
Tabel 7. Hasil Pengujian Alat pada Beban Normal.

No.	Beban	Terbaca		Kondisi		Keterangan	
		Titik Ukur	Alat (A)	MQTT (A)	R		L
1.	PSU (LED 100W)	I1 (L)	0.27	0.27	NC	OFF	Selisih I1 dan I2 adalah 0.01 A, maka beban dalam keadaan baik.
		I2 (N)	0.28	0.28			
2.	Kipas (20 W)	I1 (L)	0.12	0.12	NC	OFF	Selisih I1 dan I2 adalah 0.03 A, maka beban dalam keadaan baik.
		I2 (N)	0.09	0.09			
3.	Solder (60 W)	I1 (L)	0.09	0.09	NC	OFF	Selisih I1 dan I2 adalah 0 A, maka beban dalam keadaan baik.
		I2 (N)	0.09	0.09			
4.	Rice Cooker (45 W)	I1 (L)	0.19	0.19	NC	OFF	Selisih I1 dan I2 adalah 0.02 A, maka beban dalam keadaan baik.
		I2 (N)	0.21	0.21			
5.	Dispenser (385 W)	I1 (L)	1.59	1.59	NC	OFF	Selisih I1 dan I2 adalah 0.02 A, maka beban dalam keadaan baik.
		I2 (N)	1.61	1.61			

Keterangan :

R: Relay

L: Led indikator



Gambar 8. Titik pengukuran tegangan bocor ke-ground dengan multimeter.

B. Identifikasi Kebocoran Arus Listrik

Dalam hal ini dilakukan pengujian kebocoran arus listrik dengan menggunakan beban sebuah PSU yang tersambung dengan LED 100 W. Dapat diketahui seperti pada gambar 8 dibawah beban di-groundkan sebagai simulasi kebocoran arus, dari rangkaian tersebut dapat diketahui nilai tegangan dan arus yang bocor ke tanah.

Tabel 8. Data hasil pengukuran tegangan bocor ke-ground dengan multimeter

No	Pengujian	Titik Ukur	Tegangan (V)
1	Tegangan Sumber	1-2	220,6
2	Tegangan Bocor	3-2	218,4
Selisih			2,2

Pengujian kebocoran tegangan diukur menggunakan multimeter, sebagai perbandingan data pengujian yang diambil adalah tegangan sumber dan tegangan bocor. Data memperlihatkan selisih diantara kedua tegangan tersebut (Tabel 8).



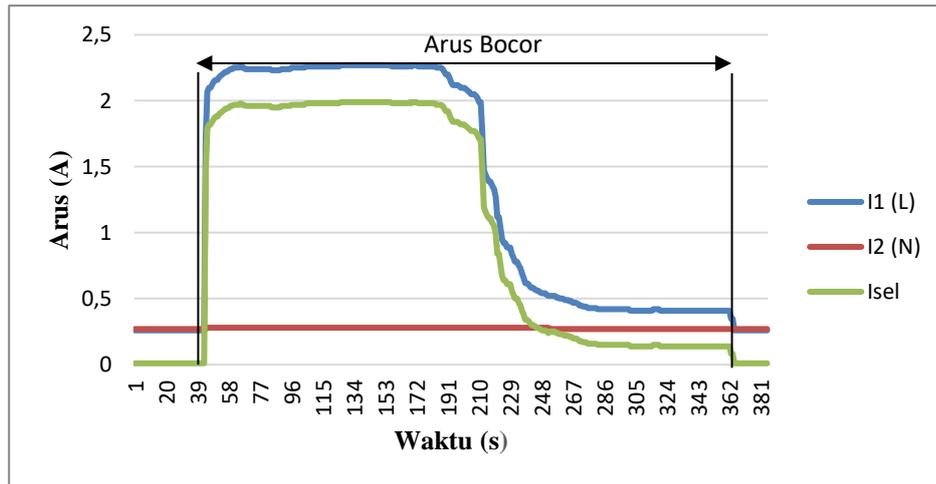
Gambar 9. Tampilan pada kWh meter PLN ketika terjadi kebocoran arus

Data kebocoran arus diambil selama 385 detik atau 6 menit 25 detik menunjukkan nilai kebocoran arus maksimal dan minimal kebocoran arus seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian kebocoran arus

Data	I1	I2	IseI
max	2,27	0,28	1,99
min	0,35	0,27	0,08

Dari pengujian kebocoran arus pada Tabel 9, didapatkan bentuk grafik seperti pada Gambar 10. Dalam hal ini menunjukkan nilai arus (IseI) yang mengalir pada ground terjadi penurunan mulai detik ke-181 hingga detik ke-271 sedangkan nilai sebelum dan sesudahnya relatif tetap. Hal tersebut dapat diartikan bahwa adanya nilai impedansi yang naik nilainya pada detik tersebut.

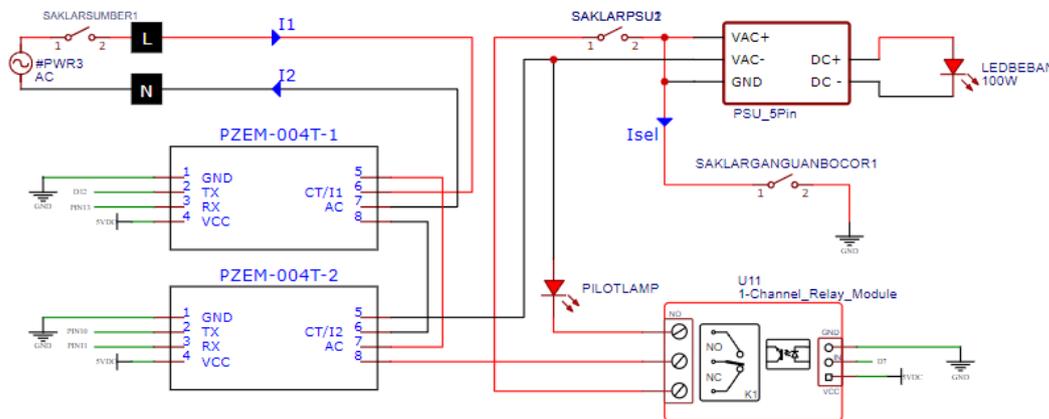


Gambar 10. Grafik kebocoran arus 20 detik pertama.

C. Pengujian Sistem Proteksi Kebocoran Arus

Pengujian dilakukan dengan beban elektronik rumah, yaitu sebuah PSU komputer dengan daya 200 W dan diberikan beban lagi sebuah lampu LED dengan daya 100 W. PSU komputer merupakan sebuah alat elektronik yang sering terjadi kebocoran arus yang mengalir pada casing-nya. Maka pada pengujian ini sebagai simulasi

kebocoran arus menggunakan beban PSU yang sudah di-grounding. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat sudah bekerja dengan baik atau tidak. Dimana alat harus bisa mendeteksi kebocoran arus pada beban dengan sensitivitas 30 mA yang terintegrasi dengan IOT, kemudian memutus tegangan dari sumber apabila terjadi kebocoran dengan delay 10 detik. Adapun hasil pengujian terdapat pada Tabel 10.



Gambar 11. Rangkaian alat saat simulasi kebocoran arus.

Tabel 10. Hasil monitoring arus pada beban tidak normal (arus bocor).

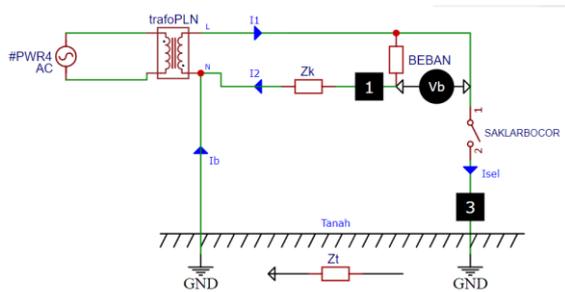
No.	Beban	Titik Ukur	Terbaca		Kondisi		Keterangan
			Alat (A)	MQTT (A)	R	L	
1.	PSU (LED 100W)	I1 (L)	2.27	2.27	NO	ON	Selisih I1 dan I2 adalah 1.99 A, maka beban dalam keadaan bocor.
		I2 (N)	0.28	0.28			

Keterangan :

R : Relay; L : Led indikator

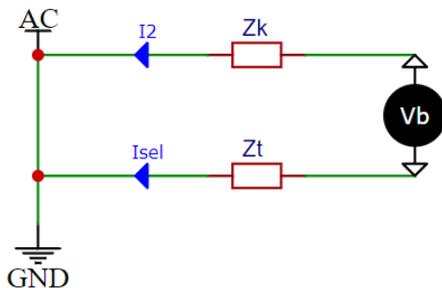
D. Perhitungan Estimasi Nilai Impedansi Tanah

Salah satu pemanfaatan studi karakteristik kebocoran arus ini adalah untuk mengetahui estimasi nilai impedansi tanah. Hal ini sebagai alternatif dari cara mengukur impedansi tanah konvensional (menggunakan alat megger). Arus bocor (I_{sel}) yang mengalir pada ground akan kembali pada ground trafo PLN seperti yang dijelaskan pada Gambar 12.



Gambar 12. Analisis kebocoran arus pada ground

Maka rangkaian pada Gambar 12 dapat di sederhanakan seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Penyederhanaan rangkaian analisis kebocoran arus

1. Dari pengujian tegangan bocor (V_b) yang diukur pada titik 1-3 seperti pada gambar 5.9 menunjukkan hasil sebesar 218.4 V.
2. Jika diketahui bahwa panjang kabel PLN dari trafo PLN hingga ke-rumah adalah 120 m = 0,12 km, dan menggunakan kabel dengan luas penampang 35 mm² seperti pada ketentuan pada Tabel 11.

- Maka dapat diketahui bahwa :

$$V_b = 218.4 \text{ V.}$$

$$R = 0,581 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,379 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$I_2 = 0,28 \text{ A}$$

$$I_{sel} = 1,99 \text{ A}$$

- Jika R dengan jarak 1 km maka bila jarak trafo PLN ke-rumah adalah 0,12 km adalah :

$$1 \text{ km} = 0,581$$

$$0,12 \text{ km} = ?$$

$$\frac{1}{0,12} = \frac{0,581}{R}$$

$$R = 0,581 \times 0,12$$

$$R = 0,06972 \text{ } \Omega$$

- Dan jika X dengan jarak 1 km maka bila jarak trafo PLN ke-rumah adalah 0,12 km adalah :

$$1 \text{ km} = 0,379$$

$$0,12 \text{ km} = X$$

$$\frac{1}{0,12} = \frac{0,379}{X}$$

$$X = 0,379 \times 0,12$$

$$X = 0,04548$$

- Maka dapat diketahui nilai impedansi kabel (Z_k) dari trafo PLN – rumah :

$$R = 0,069 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,045 \text{ } \Omega$$

Maka,

$$Z_k = \sqrt{0,069^2 + 0,045^2}$$

$$Z_k = \sqrt{0,004 + 0,002}$$

$$Z_k = \sqrt{0,006}$$

$$Z_k = 0,077 \text{ } \Omega$$

- Jadi dengan persamaan,

$$V_b = -I_2 \cdot Z_k + I_{sel} \cdot Z_t$$

$$218,4 = (-0,28 \cdot 0,077) + (1,99 \cdot Z_t)$$

$$218,4 = -0,021 + 1,99 \cdot Z_t$$

$$218,421 = 1,99 \cdot Z_t$$

$$Z_t = 109,759 \text{ } \Omega$$

Maka besar impedansi tanah (Z_t) sebesar **109,759 Ω**

Tabel 11. Karakteristik penghantar aluminium JTR [6].

Pengahantar		KHA (A)	Resistansi Penghantar (ohm/km)		Reaktansi (ohm/km)
			Fasa	Netral	
Jenis	Ukuran				
Kabel Twisted	35 mm ²	125	0,867	0,851	0,3790
	50 mm ²	154	0,641	0,581	0,3678
	70 mm ²	196	0,443	0,581	0,3572
	95 mm ²	242	0,380	0,581	0,3449

KESIMPULAN

1. Sensor PZEM-004T-1 yang digunakan untuk mendeteksi I1 memiliki rata-rata eror 0.09%, sedangkan Sensor PZEM-004T-2 yang digunakan untuk mendeteksi I2 memiliki rata-rata eror 0.14 % lebih besar dari PZEM-004T-1.
2. Hasil data monitoring arus oleh alat yang ditampilkan pada LCD dengan protokol MQTT pada smartphone memiliki hasil eror 0 %.
3. Hasil simulasi monitoring arus berhasil dilakukan dengan beberapa beban yaitu PSU, kipas, solder, rice cooker dan dispenser dimana beban memiliki selisih I1 dan I2 kurang dari 30 mA, yang berarti beban bisa dikatakan beban normal atau arus tidak bocor.
4. Hasil simulasi kebocoran arus berhasil dilakukan dengan beban PSU dengan cara grounding, dimana I1 dan I2 terdapat selisih sebesar 1,99 A.
5. Alat tugas akhir berhasil melakukan simulasi pemutusan aliran listrik beban dari PLN, dimana jika terdeteksi kebocoran arus yaitu I1 dan I2 memiliki selisih > 30 mA.
6. Berdasarkan analisis kebocoran arus didapatkan nilai impedansi tanah sebesar 109,759 Ω

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. *Statistika Ketenagalistrikan 2017 Edisi No.31*, Tahun Anggaran 2018.
- [2] Widodo AE, Suleman, Hidayat AS, and Wati FF. Detektor Kebocoran Listrik Rumah Berbasis Arduino. *EVOLUSI: Jurnal Sains dan Manajemen*. 2020;8(2):40-49.
- [3] Hartono, Sugito, Abdullatif RF. Sistem Pengaman Kebocoran Arus Listrik Pada Pemanas Air Elektrik. *PROSIDING SEMNAS LPPM UNSOED*. 2017;7(1):1762.
- [4] Fifana, Nuril, Mohammad Facta, and Abdul Syakur. *Modul Simulasi ELCB Satu Fasa Sebagai Pelindung Tegangan Sentuh Bagi Manusia*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip; 2011.
- [5] Sudiarta IW & Ta IK. Analisis Penggunaan Saklar Arus Bocor (ELCB) Sebagai Proteksi Tegangan Sentuh Terhadap Manusia. *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*. 2017;14(1):33.
- [6] PLN. *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. PT PLN (Persero); 2010.