

Prototipe Deteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler (Microcontroller-Based Leakage Current Detection Prototype for Household Electrical Installations)

Maharani^{1*} dan Hari Anna Lastya²

^{1,2} Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

*Corresponding author, e-mail: 220211004@student.ar-raniry.ac.id¹

Received: August 20th, 2026. Revised: September 3rd, 2026. Accepted: September 6th, 2026
Available online: September 22nd, 2026. Published: September 22nd, 2026.

Abstract— This study aims to design and test a microcontroller-based prototype for detecting electrical leakage current in household electrical networks and evaluate its performance based on current measurement, response time, warning indicators, and relay control. The study employed a Research and Development (R&D) approach using the 4D model (Define, Design, Develop, Disseminate) and was conducted up to the Develop stage. The prototype integrated an Arduino Uno R3 WiFi, ACS712 current sensor, 16×2 I2C LCD, LEDs, buzzer, relay, and ESP8266 NodeMCU. Testing was conducted using 10 W, 15 W, 25 W, and 40 W lamps and an electric fan. Measured current, response time, alarm status, and relay status were recorded. The measured current ranged from 0.133 to 0.460 A, while the response time ranged from 3.16 to 3.99 seconds. All tested loads remained in normal conditions, with no alarm activation and the relay remaining ON. These findings indicate that the prototype can monitor current and provide system responses according to the tested conditions. The testing did not include controlled leakage-current conditions. Therefore, the prototype's detection and disconnection performance under actual leakage conditions has not been comprehensively validated. Further research should incorporate controlled leakage levels, calibrated reference instruments, repeated testing, and cloud-based IoT development.

Keywords: leakage current; microcontroller; ACS712; electrical monitoring; IoT.

Abstrak— Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji prototipe pendeteksi kebocoran arus listrik pada jaringan rumah tangga berbasis mikrokontroler serta mengevaluasi kinerjanya berdasarkan pembacaan arus, waktu respons, indikator peringatan, dan kendali relay. Penelitian menggunakan Research and Development (R&D) dengan model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate) yang dilaksanakan sampai tahap Develop. Prototipe menggunakan Arduino Uno R3 WiFi, sensor ACS712, LCD 16×2 I2C, LED, buzzer, relay, dan ESP8266 NodeMCU. Pengujian dilakukan pada lampu 10 W, 15 W, 25 W, 40 W, dan kipas angin dengan mencatat arus terukur, waktu respons, status alarm, dan relay. Arus yang terukur berada pada rentang 0,133–0,460 A, sedangkan waktu respons berkisar 3,16–3,99 detik. Seluruh beban berada dalam kondisi normal, alarm tidak berbunyi, dan relay tetap ON. Temuan menunjukkan bahwa prototipe mampu melakukan monitoring arus dan memberikan respons sesuai kondisi pengujian. Pengujian belum mencakup kebocoran arus yang dikondisikan secara terukur, sehingga kemampuan deteksi dan pemutusan saat terjadi kebocoran belum dapat divalidasi secara menyeluruh. Pengujian dengan variasi tingkat kebocoran, alat pembeding terkalibrasi, dan pengembangan platform IoT berbasis cloud diperlukan pada penelitian berikutnya.

Kata Kunci: kebocoran arus; mikrokontroler; ACS712; monitoring listrik; IoT.

Copyright (c) 2026. Maharani and Hari Anna Lastya.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik rumah tangga berkembang seiring bertambahnya perangkat elektronik. Pada konteks lokal, keamanan instalasi perlu dilihat dari kemampuan mengenali arus yang tidak normal. Dokumen tinjauan menegaskan bahwa jaringan rumah tangga umumnya telah memiliki perlindungan dasar berupa MCB, tetapi perlindungan terhadap kebocoran arus belum sepenuhnya menjawab kebutuhan pemantauan kondisi peralatan secara kontinu. Masalah tersebut berkaitan dengan isu global karena peralatan listrik yang tidak aman

meningkatkan risiko sengatan dan kebakaran (Alam et al., 2022; Cheng et al., 2023). Karena itu, kebocoran arus perlu dipandang bukan hanya sebagai gangguan sesaat, tetapi juga sebagai indikator kondisi kelistrikan yang perlu dipantau secara berkelanjutan.

Secara global, terdapat perdebatan mengenai kecukupan proteksi konvensional dibandingkan monitoring kontinu. Residual current device (RCD) tetap penting, tetapi karakteristik arus bocor perangkat elektronik modern dapat berubah menurut frekuensi dan karakteristik beban sehingga memengaruhi perilaku trip perangkat proteksi (Sopelsa Neto et al., 2022). Zhang et al. (2024)

menunjukkan bahwa arus sisa bawaan, ketidakseimbangan beban, dan perubahan beban juga dapat mengurangi sensitivitas proteksi pada jaringan tegangan rendah. Di sisi lain, pendekatan berbasis sensor dan Internet of Things (IoT) memungkinkan data diperoleh, diolah, dan dikirim secara real-time sehingga kondisi abnormal dapat dikenali lebih dini (Alam et al., 2022; Cheng et al., 2023). Persoalan teoretisnya ialah sistem proteksi perlu dinilai bukan hanya dari kemampuan memutus arus, tetapi juga dari kemampuan monitoring memberikan informasi dini mengenai perubahan kondisi listrik.

Kerangka teori penelitian ini bertumpu pada condition monitoring dan IoT. Dalam condition monitoring, kebocoran arus dapat menjadi parameter yang merefleksikan perubahan kondisi isolasi atau komponen kelistrikan. Salem et al. (2022a, 2022b) menunjukkan bahwa karakteristik kebocoran arus pada domain waktu dan frekuensi dapat digunakan untuk mengestimasi kondisi isolasi, sedangkan He et al. (2022) menunjukkan bahwa sensor kebocoran dan pengolahan data dapat mendukung pemantauan degradasi peralatan. Šárpataky et al. (2022) juga memperlihatkan bahwa kebocoran arus dapat dimanfaatkan untuk diagnosis kondisi isolasi, meskipun efektivitas indikator dapat berbeda menurut parameter yang digunakan. Salem et al. (2022c) memperkuat bahwa indikator kebocoran arus dapat digunakan untuk memprediksi kondisi isolator. IoT memperluas monitoring dari pembacaan lokal menjadi akuisisi, transmisi, penyimpanan, dan visualisasi data berkelanjutan (Mendez-Monroy et al., 2022; El Himer et al., 2023; Olatomiwa et al., 2023). Namun, kecanggihan sistem tidak otomatis menyelesaikan persoalan biaya, akurasi, dan kemudahan implementasi (Munoz et al., 2022).

Debat tersebut relevan untuk konteks jaringan listrik rumah tangga di Indonesia. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya banyak mengembangkan monitoring konsumsi energi, daya, atau kendali beban, sedangkan fungsi keselamatan berupa deteksi kebocoran arus belum selalu menjadi fokus utama. Penelitian Mendez-Monroy et al. (2022) dan El Himer et al. (2023) membuktikan kelayakan monitoring listrik rumah secara real-time, sementara Munoz et al. (2022) mengembangkan smart meter dengan kendali beban. Di sisi lain, Cheng et al. (2023) mengintegrasikan deteksi kebocoran dengan meter dan komunikasi NB-IoT. Temuan Salem et al. (2022a, 2022b) memperkuat pentingnya kebocoran arus sebagai indikator kondisi isolasi, tetapi konteksnya terutama berada pada sistem isolator, bukan jaringan rumah tangga.

Research gap penelitian ini terletak pada masih terbatasnya prototipe sederhana yang menggabungkan pengukuran arus, indikator

peringatan, kendali relay, dan komunikasi nirkabel untuk pemantauan kebocoran arus pada jaringan rumah tangga. Penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas monitoring energi, diagnosis isolasi, dan proteksi residual current secara terpisah, tetapi belum secara langsung menjawab kebutuhan prototipe terintegrasi yang mudah direplikasi dengan komponen mikrokontroler sederhana. Karena itu, peneliti mengajukan dua pertanyaan: (1) bagaimana merancang prototipe pendeteksi kebocoran arus listrik pada jaringan rumah tangga berbasis mikrokontroler yang mampu melakukan monitoring dan respons proteksi? dan (2) bagaimana kinerja prototipe ditinjau dari pembacaan arus, waktu respons, indikator peringatan, dan kendali relay? Penelitian ini bertujuan menghasilkan dan menguji prototipe tersebut sebagai perangkat monitoring dan proteksi awal pada jaringan rumah tangga.

II. METODE

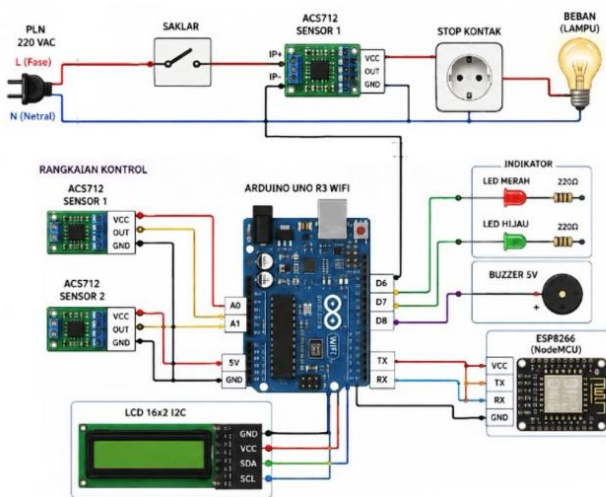
Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate) untuk menghasilkan prototipe pendeteksi kebocoran arus listrik pada jaringan rumah tangga berbasis mikrokontroler. Namun, sesuai dengan pelaksanaan penelitian yang dilaporkan dalam dokumen tinjauan, penelitian dibatasi sampai tahap Develop dan tidak dilanjutkan ke tahap Disseminate. Pada tahap Define, peneliti mengidentifikasi masalah melalui studi literatur, pengamatan kondisi instalasi, dan analisis kebutuhan. Tahap Design digunakan untuk menentukan rancangan perangkat keras, komponen, rangkaian, serta perangkat lunak. Selanjutnya, tahap Develop digunakan untuk merakit, memprogram, dan menguji fungsi prototipe. Alur tersebut digunakan untuk memastikan bahwa rancangan yang dikembangkan dapat diuji secara langsung sebelum dinilai berdasarkan hasil pengukurannya.

Penelitian ditempatkan pada konteks pemantauan keamanan jaringan listrik rumah tangga. Data penelitian berupa hasil pembacaan arus listrik dan respons sistem terhadap beberapa jenis beban listrik, bukan data yang diperoleh dari partisipan manusia. Beban yang digunakan dalam pengujian meliputi lampu 10 W, 15 W, 25 W, 40 W, dan kipas angin. Prototipe terdiri atas Arduino Uno R3 WiFi sebagai pengendali utama, sensor arus ACS712, LCD 16×2 I2C, LED indikator, buzzer, relay, serta ESP8266 NodeMCU untuk komunikasi nirkabel. Dengan demikian, istilah partisipan dalam penelitian ini tidak merujuk pada responden manusia, tetapi pada objek uji berupa rangkaian dan beban listrik

Prototipe Deteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler (Microcontroller-Based Leakage Current Detection Prototype for Household Electrical Installations)

yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja prototipe.

Mendesain dan membuat prototipe alat pendeteksi kebocoran arus listrik yang berbasis Arduino Uno R3 Wifi yang mampu memberikan peringatan dengan akurat. Pada proses perancangan *Hardware* prototipe pendeteksi kebocoran arus listrik pada jaringan rumah tangga dengan sistem monitoring beban listrik terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu Arduino Uno R3 WiFi sebagai pengendali utama, sensor arus ACS712 sebagai pendeteksi arus listrik, LCD 16×2 I2C sebagai media tampilan hasil pengukuran, LED dan buzzer sebagai indikator kondisi sistem, serta ESP8266 NodeMCU sebagai modul komunikasi untuk mengirimkan data melalui jaringan WiFi. Seluruh komponen diintegrasikan sehingga mampu melakukan pengukuran arus listrik pada beban, mengolah data hasil pembacaan sensor, menampilkan informasi secara langsung, memberikan peringatan apabila terjadi kondisi tertentu, serta mengirimkan data hasil monitoring secara real-time. Skema rangkaian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Rangkaian Sistem

Adapun Komponen- komponen yang terlihat pada gambar 2 yaitu:

1. LCD 16x2
2. Breadboard
3. ESP8266
4. Arduino R3 WiFi
5. ACS712
6. Lampu LED sebanyak 2
7. Buzzer 5V
8. Resistor 220 ohm sebanyak 2
9. Kabel jumper
10. Kabel mikro
11. Kabel listrik
12. Steker

13. Stok kontak
14. Lampu pijar
15. Saklar

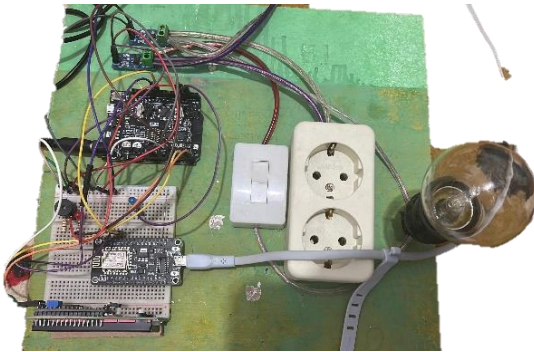
Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi, perancangan, dan pengujian langsung prototipe. Setelah komponen dirangkai sesuai skema, sensor ACS712 dihubungkan ke masukan analog Arduino, sedangkan LCD, LED, buzzer, dan ESP8266 diintegrasikan sebagai bagian dari sistem monitoring. Program kemudian diperiksa untuk memastikan mikrokontroler dapat menerima data sensor, mengolah hasil pembacaan, dan memberikan respons sesuai kondisi yang ditentukan. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan beberapa jenis beban dan mencatat nilai arus, kondisi kebocoran, status alarm, status relay, serta waktu respons sistem.

Data hasil pengujian diolah secara deskriptif dengan membandingkan nilai arus yang terbaca pada sensor terhadap kondisi beban dan respons sistem. Nilai arus dicatat dalam satuan mA dan A, sedangkan waktu respons dicatat dalam detik. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk menilai keterhubungan antara pembacaan sensor, indikator alarm, dan kondisi relay. Pada pengujian yang dilaporkan, arus yang terukur berada pada rentang 0,133–0,460 A, sedangkan waktu respons berkisar 3,16–3,99 detik.

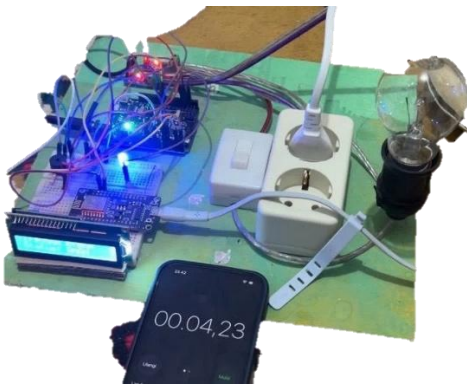
Peneliti mengakui bahwa pengembangan dan pengujian prototipe dilakukan langsung oleh peneliti sehingga terdapat kemungkinan researcher bias, terutama dalam pemilihan kondisi pengujian, interpretasi hasil pembacaan, dan penilaian keberfungsian sistem. Bias tersebut diminimalkan dengan menggunakan parameter pengujian yang dicatat secara sistematis melalui nilai sensor, waktu respons, status alarm, dan status relay. Meskipun demikian, hasil penelitian perlu dipahami secara proporsional karena pengujian yang dilaporkan masih berfokus pada kondisi beban normal dan belum memperlihatkan pengujian eksperimental yang komprehensif pada berbagai tingkat kebocoran arus.

III. HASIL

Semua alat dan bahan yang sudah disiapkan, akan dilakukan perancangan mengikuti skema yang telah dibuat sebelumnya pada Gambar 1. Adapun hasil akhir dari perancangan desain prototipe pendeteksi kebocoran arus listrik pada jaringan rumah tangga berbasis mikrokontroler pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Prototipe Rangkaian dari Atas



Gambar 3. Prototipe Rangkaian dengan Beban Kipas Angin

Hasil penelitian disajikan berdasarkan dua pertanyaan penelitian, yaitu (1) bagaimana rancangan prototipe pendeteksi kebocoran arus pada jaringan rumah tangga berbasis mikrokontroler dan (2) bagaimana kinerja prototipe berdasarkan pembacaan arus, waktu respons, indikator peringatan, dan kendali relay. Hasil pengujian perlu dibaca secara hati-hati karena pengujian pada dokumen tinjauan terutama dilakukan pada kondisi beban normal. Dengan demikian, data yang tersedia lebih kuat untuk menunjukkan kemampuan sistem dalam mengenali kondisi normal daripada membuktikan sensitivitasnya terhadap berbagai tingkat kebocoran arus.

A. Temuan Terkait Rancangan Prototipe

Untuk menjawab pertanyaan penelitian pertama, prototipe dikembangkan dengan Arduino Uno R3 WiFi sebagai pengendali utama, dua sensor ACS712 sebagai pembaca arus, LCD 16×2 I2C sebagai media tampilan, LED dan buzzer sebagai indikator, relay sebagai pengendali beban, serta ESP8266 NodeMCU sebagai media komunikasi nirkabel. Integrasi tersebut memungkinkan data sensor diterima dan diproses oleh mikrokontroler, kemudian ditampilkan dan diteruskan melalui komunikasi serial. Konfigurasi pin pada dokumen tinjauan menunjukkan bahwa sensor ACS712 terhubung ke masukan analog A0 dan A1, LED pada

D6 dan D7, buzzer pada D8, sedangkan ESP8266 berkomunikasi melalui TX-RX.

Tabel 1. Komponen utama dan fungsi prototipe

Komponen	Fungsi dalam sistem
Arduino Uno R3 WiFi	Pengendali dan pengolah data
ACS712	Mengukur arus listrik
LCD 16×2 I2C	Menampilkan hasil pengukuran
LED merah/hijau	Indikator visual kondisi sistem
Buzzer 5 V	Indikator suara
Relay	Mengendalikan pemutusan/penyambungan beban
ESP8266 NodeMCU	Komunikasi data melalui WiFi

Rancangan tersebut sejalan dengan kerangka *condition monitoring* yang menempatkan data arus sebagai informasi untuk mengenali kondisi kelistrikan. Alam et al. (2022), misalnya, menunjukkan bahwa monitoring arus dan kebocoran secara kontinu dapat digunakan untuk mengenali kondisi abnormal peralatan listrik. Namun, hasil penelitian ini juga memperlihatkan batas dari asumsi bahwa pemasangan sensor arus secara otomatis berarti sistem telah mampu membuktikan adanya kebocoran. Sistem yang dirancang baru dapat menunjukkan kondisi berdasarkan parameter dan ambang yang diprogram; pengujian kebocoran aktual perlu dilakukan secara khusus.

B. Temuan Terkait Kinerja Prototipe

Untuk menjawab pertanyaan penelitian kedua, pengujian dilakukan menggunakan lima jenis beban. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan arus sesuai karakteristik beban. Lampu 10 W menghasilkan arus 0,133 A, sedangkan lampu 40 W menghasilkan 0,460 A. Kipas angin menghasilkan 0,455 A. Dengan demikian, kenaikan atau perbedaan nilai arus tidak dapat langsung ditafsirkan sebagai kebocoran karena seluruh kondisi pengujian dikategorikan aman.

Temuan tersebut memberikan kontras terhadap asumsi sederhana bahwa nilai arus yang semakin besar menunjukkan kebocoran. Dalam penelitian ini, arus tertinggi justru berasal dari beban yang tetap dikategorikan normal. Secara teoretis, residual current memang dapat muncul akibat karakteristik beban dan kondisi jaringan, sehingga nilai arus tidak cukup digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menyimpulkan gangguan. Zhang et al. (2024) menunjukkan bahwa arus residual pada jaringan tegangan rendah dapat dipengaruhi oleh ketidakseimbangan beban dan arus bawaan,

Prototipe Deteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler (Microcontroller-Based Leakage Current Detection Prototype for Household Electrical Installations)

sedangkan penelitian tentang karakteristik *leakage current* peralatan rumah tangga menunjukkan bahwa bentuk dan karakteristik arus dapat memengaruhi respons perangkat proteksi (Sopelsa Neto et al., 2022).

Tabel 2. Hasil pengukuran arus pada berbagai beban

No.	Beban	Arus sensor (mA)	Arus sensor (A)	Kondisi kebocoran
1	Lampu 10 W	133	0,133	Tidak ada
2	Lampu 15 W	181	0,181	Tidak ada
3	Lampu 25 W	376	0,376	Tidak ada
4	Lampu 40 W	460	0,460	Tidak ada
5	Kipas angin	455	0,455	Tidak ada

Temuan berikutnya berkaitan dengan waktu respons sistem. Seluruh beban menghasilkan status alarm tidak berbunyi dan relay tetap ON. Waktu respons berada pada rentang 3,16–3,99 detik. Waktu tercepat terjadi pada lampu 25 W dan waktu terlama pada kipas angin.

Tabel 3. Hasil pengujian respons sistem

No.	Beban	Kondisi	Waktu respons (detik)	Alarm	Relay
1	Lampu 10 W	Aman	3,41	Tidak berbunyi	ON
2	Lampu 15 W	Aman	3,63	Tidak berbunyi	ON
3	Lampu 25 W	Aman	3,16	Tidak berbunyi	ON
4	Lampu 40 W	Aman	3,49	Tidak berbunyi	ON
5	Kipas angin	Aman	3,99	Tidak berbunyi	ON

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi normal sistem tidak menghasilkan alarm atau pemutusan beban yang tidak diperlukan. Temuan ini mendukung fungsi monitoring sebagai mekanisme pengenalan kondisi, tetapi belum cukup untuk menyatakan bahwa relay mampu memutus jaringan secara tepat ketika kebocoran benar-benar terjadi. Hal ini berbeda dengan penelitian yang secara khusus menguji sistem proteksi kebocoran dan menunjukkan kemampuan deteksi terhadap kondisi residual current tertentu (Rakasiwi et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe berhasil melakukan pembacaan arus pada lima beban uji dan mempertahankan sistem pada kondisi normal tanpa alarm yang tidak diperlukan. Namun, temuan juga memperlihatkan batas empiris penelitian: belum tersedia data pengujian dengan kebocoran arus yang sengaja dibuat pada beberapa tingkat. Oleh karena itu, kemampuan prototipe sebagai monitor kondisi normal telah ditunjukkan, sedangkan kemampuan sebagai detektor dan pemutus kebocoran masih memerlukan pengujian lanjutan dengan skenario kebocoran yang terukur. Kesimpulan ini konsisten dengan dokumen tinjauan yang menyatakan bahwa sistem dapat membedakan kondisi normal dan belum memberikan sinyal peringatan ketika kebocoran tidak ditemukan.

IV. PEMBAHASAN

A. Keterhubungan antara pembacaan arus dan identifikasi kondisi beban

Temuan penelitian menunjukkan bahwa pembacaan arus oleh sensor ACS712 dapat digunakan untuk membedakan karakteristik penggunaan beberapa beban listrik, tetapi besarnya arus tidak dapat secara langsung diposisikan sebagai bukti adanya kebocoran. Temuan ini penting untuk menempatkan fungsi prototipe secara tepat: sensor berperan sebagai sumber informasi kondisi listrik, sedangkan keputusan mengenai kondisi normal atau tidak normal bergantung pada parameter dan ambang yang ditetapkan dalam sistem.

Data penelitian memperlihatkan bahwa lampu 10 W menghasilkan arus 0,133 A, lampu 15 W sebesar 0,181 A, lampu 25 W sebesar 0,376 A, lampu 40 W sebesar 0,460 A, dan kipas angin sebesar 0,455 A. Meskipun nilai arus berbeda, seluruh beban dikategorikan tidak mengalami kebocoran. Temuan ini menunjukkan bahwa variasi nilai arus lebih dahulu berkaitan dengan karakteristik beban daripada status kebocoran.

Pola tersebut membantah asumsi sederhana bahwa semakin besar arus yang terukur maka semakin besar pula kemungkinan kebocoran. Nugroho et al. (2023), dalam pengembangan sistem monitoring kebocoran arus dan daya rumah tangga berbasis NodeMCU, juga membedakan nilai arus pada kondisi normal dan kondisi yang mengalami kebocoran. Sistem mereka menggabungkan pengukuran arus dengan tampilan LCD dan Blynk, sehingga nilai sensor tidak berdiri sendiri, tetapi dibaca dalam hubungan dengan kondisi operasi perangkat. Dengan demikian, temuan penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai bukti bahwa sensor

dapat membaca variasi arus beban, bukan sebagai validasi penuh terhadap sensitivitas deteksi kebocoran.

Secara teoretis, temuan tersebut sesuai dengan perspektif condition monitoring, yaitu parameter terukur perlu ditafsirkan berdasarkan pola kondisi dan batas operasi, bukan hanya berdasarkan satu nilai pengukuran. Fu et al. (2023) menunjukkan bahwa karakteristik leakage current dapat digunakan untuk memperoleh informasi kondisi peralatan listrik, sedangkan Hu et al. (2023) menekankan bahwa pengukuran arus bocor yang kecil membutuhkan karakteristik sensor dan stabilitas pengukuran yang sesuai dengan lingkungan aplikasi. Dengan demikian, keberadaan ACS712 dalam prototipe merupakan bagian dari rantai monitoring, sedangkan kemampuan diagnosis kebocoran memerlukan pengujian terhadap kondisi abnormal yang terukur.

B. Integrasi mikrokontroler, indikator, dan relay sebagai sistem monitoring

Temuan kedua menunjukkan bahwa hubungan antara sensor, mikrokontroler, indikator, dan relay berjalan sebagai satu rangkaian fungsional pada kondisi beban normal. Prototipe tidak hanya membaca arus, tetapi mengolah hasil pembacaan untuk menghasilkan status visual, suara, dan kondisi relay.

Dokumen penelitian menunjukkan bahwa Arduino Uno R3 WiFi menerima masukan dari ACS712, sedangkan LCD digunakan untuk menampilkan informasi, LED untuk memberikan indikator visual, buzzer sebagai indikator suara, dan relay untuk mengendalikan beban. ESP8266 digunakan untuk komunikasi nirkabel. Seluruh konfigurasi tersebut diuji pada lima jenis beban dan menghasilkan status alarm tidak berbunyi serta relay tetap ON.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki hubungan sebab-akibat yang relatif jelas: sensor membaca kondisi listrik, mikrokontroler memproses masukan, kemudian keluaran diberikan melalui indikator dan aktuator. Pola tersebut sejalan dengan penelitian Hasan et al. (2021), yang menggunakan Arduino UNO, LCD, ACS712, dan relay dalam sistem monitoring serta kendali peralatan rumah tangga berbasis IoT. Sistem berbasis mikrokontroler memungkinkan pengukuran dan pengendalian dilakukan dalam satu arsitektur sehingga informasi sensor dapat langsung diterjemahkan menjadi tindakan sistem.

Kerangka IoT memperluas fungsi tersebut karena data tidak hanya berhenti pada perangkat lokal. Risfendra et al. (2021) menunjukkan bahwa Arduino dan ESP8266 dapat digunakan untuk membaca parameter listrik dan mengirimkannya ke

platform berbasis cloud secara real-time. Salisu et al. (2021) juga menunjukkan penggunaan ESP32 untuk monitoring energi listrik rumah tangga dan kendali perangkat secara jarak jauh. Dalam konteks penelitian ini, keberadaan ESP8266 menunjukkan arah menuju monitoring terhubung, tetapi data penelitian yang tersedia belum menunjukkan evaluasi kuantitatif terhadap kualitas komunikasi, packet loss, atau keterlambatan pengiriman data.

C. Waktu respons dan makna fungsional sistem

Temuan berikutnya menunjukkan bahwa sistem memberikan respons dalam rentang 3,16–3,99 detik pada kondisi pengujian normal. Nilai tersebut menunjukkan adanya waktu pemrosesan antara pembacaan kondisi beban dan keluaran sistem, tetapi belum dapat digunakan untuk menyimpulkan kecepatan proteksi terhadap kebocoran aktual.

Waktu respons tercepat tercatat pada lampu 25 W sebesar 3,16 detik, sedangkan waktu terlama terjadi pada kipas angin sebesar 3,99 detik. Lampu 10 W, 15 W, dan 40 W masing-masing menunjukkan waktu respons 3,41; 3,63; dan 3,49 detik. Pada seluruh pengujian tersebut alarm tidak berbunyi dan relay tetap ON.

Perbedaan waktu respons tersebut memperlihatkan bahwa sistem tidak menghasilkan waktu respons yang identik pada setiap beban. Hal ini dapat berkaitan dengan proses pembacaan sensor, pemrosesan mikrokontroler, dan karakteristik beban yang digunakan. Penelitian Ridwan et al. (2023) menunjukkan bahwa evaluasi sistem monitoring IoT perlu memperhatikan tidak hanya ketepatan pembacaan, tetapi juga aspek komunikasi seperti latency dan packet loss. Pada sistem mereka, pengujian menghasilkan rata-rata keterlambatan 21,5 ms dan packet loss 0,2%, sehingga kinerja monitoring dinilai dari lebih dari satu parameter. Oleh karena itu, waktu respons pada penelitian ini sebaiknya dipandang sebagai indikator kinerja prototipe pada kondisi pengujian yang tersedia, bukan sebagai ukuran universal kecepatan sistem proteksi.

Dari perspektif sistem kontrol, respons sistem merupakan hasil interaksi antara sensor, pengolah, dan aktuator. Laisina (2023) memperlihatkan bahwa sistem deteksi pada jaringan tegangan rendah dapat mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, dan komunikasi IoT untuk menghasilkan monitoring yang lebih terstruktur. Namun, perbedaan utama dengan penelitian ini adalah fokus pengujian: penelitian ini belum menguji respons ketika kebocoran sengaja diberikan pada tingkat tertentu. Dengan demikian, belum tersedia dasar empiris untuk menentukan apakah waktu 3,16–3,99 detik cukup untuk memberikan perlindungan ketika terjadi kondisi berbahaya.

D. Hubungan antara monitoring lokal dan pengembangan sistem IoT

Temuan penelitian menunjukkan bahwa prototipe telah mengarah pada arsitektur monitoring yang menggabungkan pengukuran lokal dan komunikasi nirkabel. Akan tetapi, fungsi IoT dalam penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai fasilitas komunikasi sistem daripada sebagai mekanisme diagnosis berbasis data.

Arduino Uno R3 WiFi digunakan sebagai pusat pengolahan, sedangkan ESP8266 NodeMCU mendukung komunikasi nirkabel. LCD menyediakan informasi lokal dan LED serta buzzer memberikan informasi langsung kepada pengguna. Sistem tersebut memungkinkan pengguna memperoleh informasi dari beberapa keluaran tanpa harus melakukan pengukuran arus secara manual.

Temuan ini memiliki kesesuaian dengan Afandi et al. (2025), yang mengintegrasikan NodeMCU ESP32, sensor PZEM-004T, dan WiFi untuk monitoring parameter listrik rumah tangga secara real-time. Sistem tersebut menunjukkan bahwa arsitektur IoT dapat digunakan untuk mengumpulkan dan menampilkan parameter listrik melalui antarmuka pengguna. Namun, monitoring energi dan monitoring kebocoran mempunyai kebutuhan interpretasi yang berbeda. Monitoring energi terutama berorientasi pada besaran konsumsi, sedangkan deteksi kebocoran berorientasi pada kondisi abnormal dan aspek keselamatan.

Dalam teori IoT, nilai sistem tidak hanya terletak pada kemampuan sensor membaca data, tetapi pada kemampuan menghubungkan proses sensing, processing, communication, dan decision making. Shodiq et al. (2021) menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kontrol daya berbasis IoT dapat menggabungkan pengukuran dengan kendali dalam satu arsitektur. Sementara itu, Ma'ruf et al. (2021) menunjukkan bahwa parameter tegangan, arus, daya, dan faktor daya dapat dipantau secara terintegrasi menggunakan IoT. Temuan penelitian ini berada pada jalur yang sama, tetapi ruang lingkupnya lebih sempit karena pengujian berfokus pada arus dan kondisi kebocoran.

E. Sintesis temuan dan implikasi teoretis

Jika seluruh temuan dihubungkan, prototipe menunjukkan konsistensi fungsi pada kondisi normal, tetapi bukti mengenai kemampuan mendeteksi kebocoran aktual masih terbatas. Temuan tersebut justru memperjelas batas antara monitoring dan protection.

Sensor mampu membaca arus 0,133–0,460 A, sistem memberikan respons 3,16–3,99 detik, alarm

tidak aktif, dan relay tetap ON pada seluruh beban uji. Tidak terdapat satu pun skenario pada data penelitian yang menunjukkan kebocoran aktual kemudian diikuti oleh alarm dan pemutusan relay.

Karena itu, klaim bahwa prototipe telah berfungsi sebagai pendeteksi kebocoran perlu dibedakan dari klaim bahwa prototipe telah berfungsi sebagai monitoring kondisi listrik normal. Perbedaan ini penting secara metodologis. Sistem dapat bekerja sesuai logika program tanpa berarti bahwa ambang kebocoran telah tervalidasi pada seluruh kondisi operasi. Indah et al. (2022), misalnya, mengembangkan monitoring arus bocor pada isolator dengan perhatian khusus terhadap karakteristik arus bocor sebagai objek pengukuran, sedangkan Nugroho et al. (2023) menunjukkan bahwa pengujian kebocoran perlu dibandingkan dengan kondisi normal.

Pada akhirnya, temuan penelitian lebih sesuai dengan teori condition monitoring daripada teori proteksi yang sepenuhnya tervalidasi. Monitoring berfungsi mengubah kondisi fisik menjadi informasi yang dapat diamati, sedangkan proteksi membutuhkan bukti bahwa informasi tersebut dapat memicu keputusan yang benar pada kondisi gangguan. Perspektif tersebut juga sejalan dengan penelitian Stefenon et al. (2023), yang memperlakukan kenaikan karakteristik arus bocor sebagai informasi diagnostik untuk memprediksi gangguan isolasi. Dengan demikian, tafsiran yang paling tepat terhadap hasil penelitian adalah bahwa prototipe telah membentuk rantai sensor–pemrosesan–indikator–kendali untuk monitoring listrik rumah tangga, tetapi validasi sebagai sistem proteksi kebocoran masih memerlukan pengujian dengan tingkat kebocoran yang diketahui, pembandingan alat ukur terkalibrasi, variasi jenis beban, serta pengujian berulang. Dalam kerangka teori populer condition monitoring, nilai utama sistem bukan sekadar menghasilkan angka arus, melainkan menghasilkan informasi yang dapat ditafsirkan secara tepat untuk membedakan kondisi normal dari kondisi yang memerlukan tindakan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini mencapai tujuan utama berupa perancangan dan pengujian prototipe pendeteksi kebocoran arus listrik pada jaringan rumah tangga berbasis mikrokontroler. Prototipe yang mengintegrasikan Arduino Uno R3 WiFi, sensor ACS712, LCD 16×2 I2C, LED, buzzer, relay, dan ESP8266 NodeMCU dapat membaca arus pada berbagai beban serta memberikan keluaran sistem sesuai kondisi yang terukur. Pengujian terhadap lampu 10 W, 15 W, 25 W, 40 W, dan kipas angin

menghasilkan pembacaan arus antara 0,133–0,460 A dengan waktu respons 3,16–3,99 detik. Pada seluruh pengujian tersebut, sistem tidak menghasilkan alarm dan relay tetap dalam kondisi ON karena tidak ditemukan kondisi kebocoran.

Kontribusi penelitian terletak pada integrasi fungsi pengukuran, pemrosesan, pemberian indikator, pengendalian beban, dan komunikasi nirkabel dalam satu prototipe yang ditujukan untuk konteks jaringan listrik rumah tangga. Secara praktis, sistem dapat digunakan sebagai dasar monitoring kondisi arus dan pengembangan perangkat edukasi mengenai keamanan listrik.

Namun, penelitian memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pengujian yang dilaporkan hanya menggunakan kondisi beban normal dan belum memberikan variasi kebocoran arus yang dikondisikan secara terukur. Penelitian juga berhenti pada tahap Develop dan belum mencapai tahap Disseminate. Oleh karena itu, penelitian berikutnya perlu menguji prototipe dengan tingkat kebocoran yang diketahui, menggunakan alat ukur pembanding yang terkalibrasi, melakukan pengujian berulang pada lebih banyak jenis dan karakteristik beban, serta mengevaluasi akurasi sensor, waktu respons saat kondisi gangguan, dan keandalan komunikasi WiFi. Pengembangan berikutnya juga dapat menambahkan sensor tegangan dan platform IoT berbasis cloud agar data dapat disimpan sebagai riwayat dan dianalisis melalui perangkat web atau seluler, sebagaimana arah pengembangan yang telah diidentifikasi dalam hasil penelitian.

REFERENSI

- Afandi, R., Satria, B., & Aryza, S. (2025). Analysis of IoT design for monitoring electrical energy use in homes. *Instal: Jurnal Komputer*, 17(2), 72–85. <https://doi.org/10.54209/jurnalinstall.v17i02.361>
- Alam, M. M., Shahjalal, M., Rahman, M. H., Nurcahyanto, H., Prihatno, A. T., Kim, Y., & Jang, Y. M. (2022). An energy and leakage current monitoring system for abnormality detection in electrical appliances. *Scientific Reports*, 12, 18520. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22508-2>
- Amirah, A., Salman, S., & Abidin, Z. (2023). Desain dan implementasi sistem monitoring pemakaian daya listrik bagi pelanggan rumah tangga berbasis IoT. *CogITO Smart Journal*, 9(2), 368–380. <https://doi.org/10.31154/cogito.v9i2.521.368-380>
- Cheng, T.-H., Chen, C.-H., Lin, C.-H., Sheu, B.-H., Lin, C.-H., & Chen, W.-P. (2023). Leakage current detector and warning system integrated with electric meter. *Electronics*, 12(9), 2123. <https://doi.org/10.3390/electronics12092123>
- El Himer, S., Ouaisa, M., Ouaisa, M., Krichen, M., Alswailim, M., & Almutiq, M. (2023). Energy consumption monitoring system based on IoT for residential rooftops. *Computation*, 11(4), 78. <https://doi.org/10.3390/computation1104078>
- Fu, Y., Li, T., Li, Y., Hu, X., Jiang, X., Dong, Y., Zhao, P., Yu, C., & Wang, J. (2023). Research on field source characteristics of leakage current of arrester based on TMR sensor. *Sensors*, 23(8), 3830. <https://doi.org/10.3390/s23083830>
- Hasan, M. K., Ahmed, M. M., Pandey, B., Gohel, H., Islam, S., & Khalid, I. F. (2021). Internet of Things-based smart electricity monitoring and control system using usage data. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 6544649. <https://doi.org/10.1155/2021/6544649>
- He, T., Li, Y., Zhang, Z., Shen, P., & Zhang, Y. (2022). Leakage current sensor and neural network for MOA monitoring. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 6728900. <https://doi.org/10.1155/2022/6728900>
- Hu, X., Duan, X., Zhang, W., Fu, Y., Li, Y., Zhao, P., Deng, X., Yu, C., & Wang, J. (2023). Design and optimization of multi-stage TMR sensors for power equipment AC/DC leakage current detection. *Sensors*, 23(10), 4749. <https://doi.org/10.3390/s23104749>
- Indah, A., Hulukati, S. A., & Malago, Y. (2022). Rancang bangun sistem monitoring arus bocor isolator. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 16(1),

- 110–115.
<https://doi.org/10.23960/elc.v16n1.2242>
- Laisina, L. H. (2023). Leak current detector in low voltage network (JTR) system using ZMPT101B sensor based on the Internet of Things (IoT). *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Arts*, 2(2), 48–54.
<https://doi.org/10.47709/ijmdsa.v2i1.2301>
- Ma'ruf, A., Purnama, R., & Susilo, K. E. (2021). Rancang bangun alat monitoring tegangan, arus, daya, dan faktor daya berbasis IoT. *Jurnal SISKOM-KB (Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan)*, 5(1), 81–86.
<https://doi.org/10.47970/siskom-kb.v5i1.219>
- Mendez-Monroy, P. E., Cruz May, E., Jiménez Torres, M., Gómez Hernández, J. L., Canto Romero, M., Sanchez Dominguez, I., May Tzuc, O., & Bassam, A. (2022). IoT system for the continuous electrical and environmental monitoring into Mexican social housing evaluated under tropical climate conditions. *Journal of Sensors*, 2022, 5508713.
<https://doi.org/10.1155/2022/5508713>
- Munoz, O., Ruelas, A., Rosales, P., Acuña, A., Suastegui, A., & Lara, F. (2022). Design and development of an IoT smart meter with load control for home energy management systems. *Sensors*, 22(19), 7536. <https://doi.org/10.3390/s22197536>
- Nugroho, A., Murdiantoro, R. A., & Murdiantoro, N. (2023). Design and development of a leakage current and power monitoring system with NodeMCU ESP 8266 for household electricity. *Journal of Electronic and Electrical Power Applications*, 3(1), 159–165.
<https://doi.org/10.58436/jeepa.v3i1.1490>
- Olatomiwa, L., Ambafi, J. G., Dauda, U. S., Longe, O. M., Jack, K. E., Ayoade, I. A., Abubakar, I. N., & Sanusi, A. K. (2023). A review of Internet of Things-based visualisation platforms for tracking household carbon footprints. *Sustainability*, 15(20), 15016.
<https://doi.org/10.3390/su152015016>
- Rakasiwi, Z. M., Tadeus, D. Y., Mangkusasmito, F., & Putranto, A. B. (2022). Identifikasi dan proteksi kebocoran arus listrik pada rumah tangga. *Berkala Fisika*, 25(3), 94–104.
https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/view/50739
- Ridwan, R., Mulia, S. B., & Rosid, A. I. (2023). Sistem pemantauan penggunaan listrik rumah tangga dengan website berbasis IoT. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 4(2), 125–131.
<https://doi.org/10.37058/jee.v4i2.6690>
- Risfendra, R., Ananda, G. F., & Stephanus, A. (2021). Internet of Things on electrical energy monitoring using multi-electrical parameter sensors. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 3(1), 1–8.
<https://doi.org/10.46574/motivection.v3i1.79>
- Salem, A. A., Lau, K. Y., Abdul-Malek, Z., Mohammed, N., Al-Shaalan, A. M., Al-Shamma'a, A. A., & Farh, H. M. H. (2022). Polymeric insulator conditions estimation by using leakage current characteristics based on simulation and experimental investigation. *Polymers*, 14(4), 737.
<https://doi.org/10.3390/polym14040737>
- Salem, A. A., Lau, K. Y., Ishak, M. T., Abdul-Malek, Z., Al-Gailani, S. A., Al-Ameri, S. M., Mohammed, A., Alashbi, A. A. S., & Ghoneim, S. S. M. (2022). Monitoring porcelain insulator condition based on leakage current characteristics. *Materials*, 15(18), 6370.
<https://doi.org/10.3390/ma15186370>
- Salem, A. A., Lau, K. Y., Rahiman, W., Abdul-Malek, Z., Al-Gailani, S. A., Rahman, R. A., & Al-Ameri, S. (2022). Leakage current characteristics in estimating insulator reliability: Experimental investigation and analysis. *Scientific Reports*, 12(1), 14974.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-17792-x>
- Salisu, A., Bugaje, A., & Loko, A. Z. (2021). IoT based household electricity energy

- monitoring and control. FUDMA Journal of Sciences, 4(4), 77–84. <https://doi.org/10.33003/fjs-2020-0404-466>
- Shodiq, A., Baqaruzi, S., & Muhtar, A. (2021). Perancangan sistem monitoring dan kontrol daya berbasis Internet of Things. ELECTRON: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 2(1), 18–26. <https://doi.org/10.33019/electron.v2i1.255>
- Sopelsa Neto, N. F., Stefenon, S. F., Meyer, L. H., García Ovejero, R., & Leithardt, V. R. Q. (2022). Fault prediction based on leakage current in contaminated insulators using enhanced time series forecasting models. Sensors, 22(16), 6121. <https://doi.org/10.3390/s22166121>
- Stefenon, S. F., Seman, L. O., Sopelsa Neto, N. F., Meyer, L. H., Mariani, V. C., & Coelho, L. dos S. (2023). Group method of data handling using Christiano-Fitzgerald random walk filter for insulator fault prediction. Sensors, 23(13), 6118. <https://doi.org/10.3390/s23136118>
- Šárpataky, L., Dolník, B., Zbojovský, J., Schichler, U., Pischler, O., & Schober, B. (2022). Sensing method using dielectric loss factor to evaluate surface conditions on polluted porcelain insulator. Sensors, 22(23), 9442. <https://doi.org/10.3390/s22239442>
- Zhang, X., Liu, Y., Han, Z., & Zhang, H. (2024). Enhancing low-voltage distribution network safety through advanced residual current protection techniques. Applied Sciences, 14(8), 3256. <https://doi.org/10.3390/app14083256>