

Penerapan Sistem Proteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal

Billy Morris Harold Kilis¹ dan Calvin E. J. Mamahit²

^{1,2}Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado

*billykilis@unima.ac.id¹

Received: June 25, 2021. Revised: August 31, 2021. Accepted: September 13, 2021

Available online: October 26, 2021. Published: October 26, 2021

Abstract— This study focuses specifically on household needs because electricity is an inseparable part of daily needs. The problems identified are how the protection system uses the earth-leakage circuit breaker (ELCB) model for residential installations and how to apply it in residential homes quickly and straightforwardly. In the current protection system, the built system must work in the range of < 30 mA according to the general requirements of electrical installations (in Indonesian abbreviated: PUIL) when the muscles cannot release the conductor or are dangerous. The test results of ELCB enhancements can be applied in residential homes and thus can be helpful for the community in avoiding short circuits and fires. The conclusion is that the resistance measurement for the 21 participants went well, and the average resistance value was 3665 k Ω . Thus the tool on the simulator works according to the operation according to PUIL.

Keywords: leakage current protection system, residential installation

Abstrak— Kajian ini lebih memfokuskan secara khusus untuk kepentingan rumah tangga, karena listrik menjadi hal yang tak terpisahkan dalam kebutuhan sehari-hari. Masalah yang dapat diidentifikasi adalah bagaimana sistem proteksi menggunakan model earth-leakage circuit breaker (ELCB), untuk instalasi rumah tinggal, dan bagaimana cara penerapannya di rumah tinggal secara mudah dan sederhana. Pada sistem proteksi arus sistem yang dibangun harus bekerja pada rentang < 30 mA menurut persyaratan umum instalasi listrik (PUIL), merupakan saat dimana otot tidak sanggup melepaskan penghantar atau berbahaya. Hasil pengujian piranti tambahan ELCB dapat diterapkan di rumah tinggal dan dengan demikian dapat berguna bagi masyarakat dalam menghindari hubung singkat dan kebakaran. Kesimpulan pengukuran tahanan untuk para partisipan berjumlah 21 orang berjalan dengan baik dan diperoleh nilai tahanan rata-rata 3665 k Ω . Dengan demikian alat pada simulator bekerja sesuai dengan operasi menurut PUIL.

Kata kunci: sistem proteksi arus bocor, instalasi rumah tinggal

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi selalu diikuti dengan peningkatan pemakaian energi listrik, memberikan dampak pada penggunaan beragam peralatan listrik lebih khusus listrik rumah tangga. Akibatnya tak dapat dihindari akan seringnya terjadi kebakaran sebagai efek dari kecerobohan/ kelalaian atau kegagalan fungsi proteksi yang dimiliki baik dari peralatan maupun instalasi rumah. Penggunaan energi listrik dewasa ini semakin memasyarakat dengan berhasilnya elektrifikasi desa di Indonesia, maka listrik telah terdistribusi ke seluruh pelosok tanah air. Penggunaan peralatan listrik semakin memasyarakat juga diakibatkan tingkat perekonomian masyarakat bertumbuh pesat. Energi listrik semakin penting bagi kehidupan masyarakat

Copyright © 2021. Billy Morris Harold Kilis and Calvin E. J. Mamahit.

sehingga penggunaan telah memenuhi semua strata masyarakat dan semua kelompok umur. Listrik adalah bagian yang sangat penting di zaman ini. Setiap orang memerlukan listrik, baik itu dari masyarakat tingkat bawah sampai masyarakat tingkat menengah ke atas, baik untuk kepentingan rumah tangga, perkantoran maupun untuk keperluan industri. Secara khusus untuk kepentingan rumah tangga, listrik menjadi hal yang tak terpisahkan dalam kebutuhan sehari-hari.

Adanya pandemi mengakibatkan semakin lama dan variatif durasi penggunaan listrik dalam rumah. Belajar dan bekerja dari rumah otomatis mengakibatkan penggunaan energi listrik meningkat pula. Akibat lainnya yaitu semakin rentan terjadi hubung singkat (short circuit), atau bahkan pada kebakaran. Untuk menghindari hal tersebut syarat utama yang harus dimiliki di rumah yaitu

pemasangan sekering pengamanan harus benar, hindari adanya stop kontak yang dipasang dengan banyak sambungan, harus meyakini pentanahan yang baik atau memenuhi syarat dengan instalasi yang dibuat memenuhi peraturan umum instalasi listrik (PUIL). Namun akan lebih bijaksana kalau harus mengetahui dan mewaspada dari bahaya listrik tersebut sehingga kita lebih berhati-hati dalam menggunakan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Efek dari sengatan listrik sangat bermacam-macam, mulai dari cacat fisik dan psikis sampai pada membawa korban jiwa. Ada banyak kasus yang terjadi di lingkungan kita seperti kecelakaan dan meninggal karena tersengat listrik ataupun berita-berita mengenai kebakaran rumah karena terjadi arus hubung singkat atau karena kecerobohan manusia. Oleh karena itu kita membutuhkan sistem proteksi atau pengaman sistem instalasi listrik yang lebih dipercaya. Penerapan earth-leakage circuit breaker (ELCB), akan menambah kenyamanan konsumen dalam penggunaan listrik, sehingga paling tidak dapat menghindari dari efek kejutan listrik maupun kebakaran yang semakin sering terjadi dewasa ini, yang pada akhirnya dapat berakibat bagi kerugian material maupun immaterial (ISO9001, I. O).

Beberapa permasalahan kelistrikan pada sisi konsumen yaitu :

- Instalasi listrik rumah tangga yang sudah usang dan tidak lagi memenuhi syarat menurut PUIL;
- cara penggunaan yang sembarang/ceroboh dan tidak memperhatikan faktor keamanan;
- sistem pentanahan rumah tinggal yang sering tidak memenuhi syarat atau bahkan tidak ada,
- pemasangan instalasi yang tidak profesional oleh yang bukan berhak (instalator),
- adanya perubahan instalasi, penambahan jaringan yang tidak memenuhi persyaratan yang ada.

Oleh karena itu perlu adanya upaya perbaikan maupun pencegahan yang harus dilakukan secara teknis maupun pemahaman yang benar. Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya dapat dijabarkan beberapa masalah yang dapat diidentifikasi, yaitu: penggunaan peralatan listrik yang semakin memasyarakat sehingga sering abai dalam memperhatikan faktor keamanan; peralatan yang semakin beragam tidak seluruhnya memiliki standar keamanan dalam penggunaan, (standar LMK, lembaga masalah kelistrikan, IEEE SA (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Standards Association, maupun SNI (standar nasional Indonesia/ ISO. International standar organization); Melalui identifikasi tersebut dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu: bagaimana sistem proteksi arus bocor yang baik, untuk instalasi rumah tinggal. Bagaimana cara penerapannya melalui

simulator (install), di rumah tinggal secara mudah dan sederhana? Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: untuk mengetahui bagaimana keandalan sistem proteksi arus bocor, yang menggunakan ELCB untuk instalasi rumah tinggal sederhana (1 fasa). Untuk mengetahui bagaimana cara penerapannya melalui simulator di rumah tinggal secara mudah dan sederhana. Manfaat dari penelitian ini adalah: manfaat teoretis mengkaji penerapan sistem arus bocor model ELCB yang dapat digunakan secara mudah dan sederhana. Menjadi cara untuk uji coba keandalan alat sehingga dapat dimengerti secara teoretis dan dapat dikembangkan untuk lebih fungsional. Manfaat praktis hasil percobaan dapat diterapkan di rumah tinggal dan dengan demikian berguna bagi masyarakat dalam menghindari hubung singkat dan kebakaran. Para pembaca dapat memperoleh referensi untuk penggunaan di rumah masing-masing. Memberikan pengamanan (ekstra), lebih bagi pengguna listrik di rumah sehingga dapat menghindari kecelakaan.

Keselamatan manusia merupakan faktor yang sangat penting, paling utama dan juga harus selalu diperhatikan dalam penggunaan energi listrik. Untuk itu diperlukan pemahaman yang benar untuk konsumen energi listrik dari bahaya listrik itu sendiri. Salah satu dari bahaya itu adalah tegangan sentuh yang dapat mengancam jiwa manusia. Olehnya diperlukan tindakan-tindakan yang dapat mengurangi dari resiko bahaya listrik tersebut dalam hal ini adalah tegangan sentuh yang berlebihan. Metode yang umum digunakan untuk mengurangi bahaya tersebut dalam dikelompokkan menjadi 2 bagian.

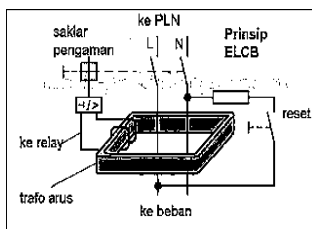
Pertama, langkah-langkah pengaman untuk mencegah terjadinya tegangan sentuh, yaitu: Isolasi Total, Peralatan diberi isolasi tambahan untuk mencegah selungkup bertegangan seandainya isolasi dasar gagal berfungsi; alas isolasi manusia diisolir dari pembumian dan dari seluruh benda penghantar listrik yang terhubung ke benda-benda tersebut; pengaman dengan pemisah, peralatan listrik dihubungkan ke saluran utama melalui trafo sebagai trafo isolasi (rasio transformasi 1:1); tegangan ekstra rendah yang aman, peralatan disulang dengan tegangan yang aman (sampai 50 V) yang misalnya berasal dari sebuah trafo isolasi, baterai, atau yang lainnya (Fifana dkk, 2011).

Kedua, langkah-langkah pengaman yang bertujuan memutuskan bahaya tegangan sentuh, yaitu: pentanahan pengaman, selungkup dihubungkan langsung ke pentanahan. Saat terjadi hubung singkat ke rangka, arus gangguan yang mengalir ke pentanahan sangat besar sehingga pengaman jatuh (tripped). Netralisasi (disebut juga sistem TN), Cara ini merupakan bentuk pengamanan yang merupakan cara yang paling lazim. Selungkup

Penerapan Sistem Proteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal

peralatan dihubungkan ke penghantar netral yang ditanahkan, yang selanjutnya disebut dengan penghantar PEN. Pada waktu terjadi hubung singkat ke rangka arus gangguan yang mengalir ke pentanahan terlalu besar sehingga pemutus arus atau peralatan pengaman jatuh; sistem pemutus sirkuit gangguan tanah jika arus gangguan mengalir ke tanah pada salah satu titik di dalam sirkuit yang hendak diamankan, maka pemutus sirkuit gangguan tanah segera memutuskan sirkuit tersebut (Kelvianto dan Hariyanto, 2020). Pada praktek instalasi listrik rumah tinggal dikenal beberapa sistem proteksi yaitu: relay, sekering, baik otomatis maupun yang menggunakan debu, MCB dan ELCB. Pembahasan peralatan ELCB akan menjadi bagian penting dalam kajian ini.

Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB) adalah salah satu peralatan dalam sistem proteksi berfungsi sebagai pemutus yang peka terhadap arus bocor, yang dapat memutuskan sirkuit termasuk penghantar netralnya secara otomatis dalam waktu tertentu. ELCB juga bekerja untuk memutuskan arus listrik ketika terjadi kontak antara listrik dan tubuh manusia (Major dkk, 1982). Berbeda dengan MCB, ELCB tidak diperlengkapi dengan pengaman thermal dan magnetis, sehingga ELCB harus diamankan terhadap hubung singkat dan kelebihan beban oleh MCB di sisi atasnya. Cara kerja ELCB secara sederhana diuraikan sebagai berikut: pada umumnya, bila peralatan listrik bekerja normal, maka total arus yang mengalir pada kawat penghantar plus dan netral adalah sama sehingga tidak ada perbedaan arus atau sama dengan nol. Sehingga trafo arus (CT) yang ada pada ELCB tidak mengalami induksi dan trigger elektromagnet tidak aktif. Namun sebaliknya jika ada arus bocor, maka jumlah resultan arus tidak sama dengan nol, CT menginduksikan tegangan dan mengaktifkan trigger sehingga alat pemutus ini bekerja memutuskan beban dari sumbernya (Syukriyadin, 2017). Gambar 1 menjelaskan instalasi dimaksud.

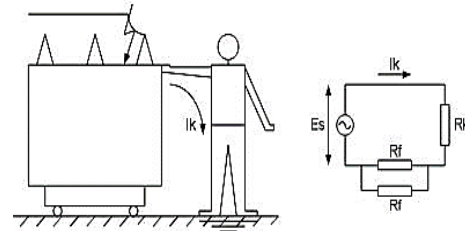


Gambar 1. Instalasi ELCB dalam rumah

Dalam keadaan normal, jumlah arus yang dilingkari oleh inti transformator sama dengan nol. Apabila ada arus bocor ke tanah, keadaan seimbang akan terganggu. Karena itulah dalam inti transformator suatu medan magnetik yang membangkitkan tegangan dalam tegangan sekunder. Apabila arus bocor tersebut mencapai pada suatu harga tertentu maka relay pada ELCB bekerja

melepaskan kontak-kontaknya, dalam hal ini ELCB dapat bekerja ketika arus mencapai 30 mA.

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pentanahan yang berada di bawahnya (Lihat Gambar 2).



Gambar 2. Tegangan sentuh dan rangkaian ekuivalennya

Dari rangkaian ekuivalen didapat persamaan tegangan sentuh, seperti pada Rumus 1.

$$Es = (Rk + Rf/2).Ik \quad (1)$$

Dimana :

ES = Tegangan sentuh

(V) Rk = Tahanan badan manusia (Ω)

Rf = Tahanan kontak ke tanah dari satu kaki pada tanah (Ω)

Ik = Arus yang melalui tubuh (A)

Tegangan sentuh yang terlalu tinggi harus diberikan proteksi agar tidak membahayakan. Prinsip Fundamental dijelaskan dalam Bagian 1 dan Bagian 2 PUIL 2011 (BSN, 2011). Prinsip fundamental 131 (2.1) Proteksi untuk keselamatan 131.2 (2.1.2) Proteksi terhadap kejutan listrik 131.1 (2.1.1) Umum 131.2.1 (2.1.2.1) Proteksi dasar (proteksi terhadap sentuh langsung) (2.1.1.1) Persyaratan yang dinyatakan dalam 131.2 hingga 131.7 dimaksudkan untuk memastikan keselamatan manusia dan ternak serta keamanan harta benda dari bahaya dan kerusakan yang dapat timbul oleh penggunaan instalasi listrik secara wajar.

Persyaratan untuk memastikan keselamatan ternak dapat diterapkan pada lokasi yang dimaksudkan untuk kandang ternak. Proteksi harus disediakan terhadap bahaya yang dapat timbul karena sentuh dengan bagian aktif instalasi oleh manusia atau ternak. Pada instalasi listrik bahaya berikut dapat timbul, yaitu:

1. Arus kejutan listrik;
2. Suhu berlebihan yang mungkin mengakibatkan kebakaran, luka bakar atau efek cedera lain;
3. Penyulutan atmosfer ledak yang potensial;
4. Voltase kurang, voltase lebih dan pengaruh elektromagnetik yang mungkin menyebabkan cedera atau kerusakan;

5. Pemutusan suplai daya dan/atau pemutusan pelayanan keselamatan;
6. Busur api listrik, yang mungkin menyebabkan efek menyilaukan, tekanan yang berlebihan atau gas racun;
7. Gerakan mekanis perlengkapan yang digerakkan listrik.

Untuk instalasi voltase rendah, sistem dan perlengkapan, proteksi dasar umumnya berkaitan dengan proteksi terhadap sentuh langsung. Tegangan sentuh adalah tegangan yang muncul saat seseorang terhubung dengan konduktor yang dialiri arus, dimana konduktor dan seseorang tersebut juga terhubung langsung ke bumi (American National Standard, 1986). Resistor adalah komponen elektronika berjenis pasif yang mempunyai sifat menghambat arus listrik. Satuan nilai dari resistor adalah ohm, biasa disimbolkan Ω , berdasarkan hukum ohm pada Rumus 2.

$$V = I.R \text{ atau } I = V/R \tag{2}$$

Dimana :

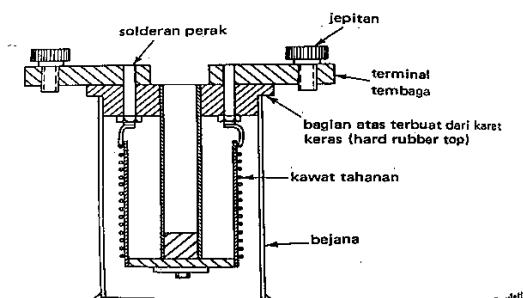
V : Tegangan listrik yang terdapat pada kedua ujung penghantar (Volt)

I : Arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar (Ampere)

R : Nilai hambatan listrik (resistansi) yang terdapat pada suatu penghantar (Ohm)

(Nahvi & Edminister, 2004).

Standar tahanan dalam SI (Sistem Internasional), didefinisikan dalam satuan dasar panjang, massa dan waktu. Pengukuran ohm absolut dilakukan oleh IBWM di Sevres Paris. Tahanan standar adalah sebuah kumparan kawat terbuat dari paduan manganin yang memiliki tahanan jenis (resistivitas listrik yang tinggi dan koefisien tahanan temperature rendah (Cooper, 1999). Kumparan tersebut ditempatkan pada bejana ber dinding rangkap. Pada gambar 3, untuk mencegah perubahan tahanan karena kondisi uap dalam air di dalam udara luar (atmosfer).



Gambar 3. Penampang Standar Tahanan Dinding Rangkap (Cooper, William D.,1999)

Sistem pembumian merupakan salah satu faktor untuk pengamanan sistem tenaga listrik ketika

terjadinya gangguan arus atau tegangan yang berlebihan. Ketika terjadi sebuah gangguan pada sistem tenaga listrik, dengan adanya sebuah sistem pembumian maka arus akan dialirkan ke dalam tanah atau dibumikan dan disebar ke segala arah. Sebuah sistem pembumian merupakan sistem hubungan penghantar yang menghubungkan badan peralatan dan instalasi listrik dengan bumi sehingga dapat mengamankan manusia, peralatan atau instalasi listrik rumah dari bahaya sengatan listrik ataupun arus dan tegangan berlebihan.

Fungsi pembumian yaitu untuk mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah melalui suatu elektroda pembumian yang ditanam dalam tanah, untuk itu nilai resistansi dari sistem pembumian harus sesuai dengan syarat yang diterapkan (Alawiy & UNISMA, 2013). Jika semakin kecil nilai resistansi pembumian semakin bagus, akan tetapi nilai resistansi pembumian dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: jenis tanah, kadar air dalam tanah, temperatur tanah, kelembaban tanah, kandungan elektrolit yang terkandung dalam tanah dan lain-lainnya.

Tujuan pemasangan sistem pembumian yaitu:

1. Membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dengan tanah sampai pada suatu harga tertentu yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi sebuah gangguan.
2. Memperoleh impedansi yang rendah serta jalan balik arus hubung singkat ketanah. Bila arus hubung singkat dipaksa mengalir melalui tanah dengan tahanan yang tinggi akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya.

Pengukuran tahanan pentanahan, misalkan tegangan bolak-balik V_o ditempatkan antara dua elektroda pentanahan P1 dan P2 yang mempunyai jarak lebih dari 10 meter. Pada saat ini potensial setiap titik di bawah tanah antara P1 dan P2 seperti dikukur dengan elektroda pembantu P3 dekat pada elektroda P1 dan P2, potensial akan berubah sangat cepat. (Sapiie dan Nishimo, 2001).

Mengukur tahanan isolasi sangat penting, dengan menggunakan alat ukur kumparan putar, dua kumparan V dan C ditempatkan secara menyilang. Pada kumparan V, arus sebesar E/R_p mengalir dan pada kumparan C, arus dari E/R_x mengalir. Rx adalah tahanan yang diukur. Penunjuk alat rasio akan bergeser dan tergantung pada dari kedua arus, yaitu sebanding dengan R_p/R_x , dengan kata lain berbanding terbalik terhadap besar tahanan yang akan diukur.

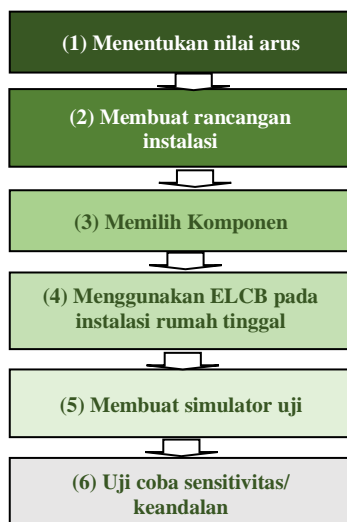
Penelitian ini akan menguji sensitivitas suatu rancangan ELCB yang sederhana dan dapat digunakan/ dipasang di rumah tinggal secara mudah dan sederhana. Alat ini akan bermanfaat bagi

keandalan instalasi di rumah khususnya pada mencegah efek arus lebih atau hubung singkat yang membahayakan konsumen energi listrik. Penerapan sistem dilakukan melalui pengujian langsung melalui partisipan untuk memperoleh gambaran sebenarnya ketika terjadi kontak dan sentuhan, sehingga keandalan alat dapat dipastikan. Untuk maksud tersebut uji coba dengan melibatkan partisipan dengan berbagai kriteria seperti berat badan dan tinggi badan (pengukuran anthropometri beberapa titik).

II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pendidikan Teknik Elektro Unima dan diuji coba menggunakan simulator dan partisipan/ relawan mahasiswa. Waktu penelitian yaitu Juni sampai dengan Agustus 2021. Metode penelitian ini mengikuti langkah-langkah seperti Gambar 4.

Uji coba sensitivitas menggunakan beberapa partisipan yang digolongkan menurut data anthropometri seperti berat dan tinggi badan. Sesudah uji coba dibuat kesimpulan tentang keandalan alat termasuk instalasi yang dibuat. Teknik analisis data hanya untuk menentukan batasan nilai arus dan tingkat sensitivitas/keandalan pada saat uji coba. Hasil uji coba dijadikan patokan untuk membuat desain sesuai kebutuhan dan daya yang terpasang. Uji coba sensitivitas dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor anthropometri seperti: tinggi badan, berat badan dan ukuran jarak beberapa titik ukur. Peralatan utama yaitu ELCB, instalasi uji coba, desain (Simulator), dan beberapa perlengkapan pendukung lainnya. Berbagai alat ukur, Avometer digital/analog, tool set, regulator (pengatur tegangan), pengukur tinggi badan, pengukur meter panjang dan alat timbang berat badan.



Gambar 4. Tahapan Rancangan ELCB

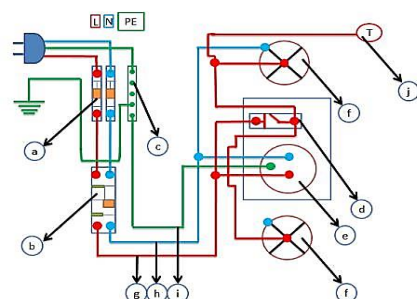
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pengujian (menentukan arus), Untuk merencanakan sistem proteksi harus ditentukan arus minimal yang menurut PUIL yaitu $< 30\text{mA}$. Namun demikian Langkah awal yang akan dilakukan yaitu mengukur resistansi tubuh manusia dengan menggunakan beberapa partisipan. Melalui pengukuran dapat diketahui berapa rata-rata arus yang mengalir pada tubuh manusia. Untuk menentukan perlu dilakukan pengukuran anthropometri tubuh manusia pada titik tertentu, kemudian menghitung rata-ratanya. Langkah berikutnya mengukur tahanan dengan menggunakan multimeter. Nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran dibuat tabel. Melakukan analisis dengan pembandingan sesuai dengan standar.

Pengujian dilakukan setelah simulator telah berfungsi dengan baik, yaitu batasan arus yang sesuai dan bekerja sesuai dengan fungsinya. Instalasi pengujian dibuat sederhana dan memperhatikan faktor keamanan dan mengikuti rangkaian satu fasa. Langkah-langkah sebagai berikut :

- Mengukur tinggi badan, berat, sesuai dengan jenis kelamin.
- Mengukur tahanan dengan patokan pada 4 titik. Sesuai gambar.
- Melakukan uji coba melalui partisipan untuk mengetahui keandalan alat. timer/stop watch digunakan bila alat bekerja.
- Menganalisis dengan mempertimbangkan tahanan rata-rata pada partisipan.
- Menggunakan tahanan pengganti untuk uji coba yang ekuivalen dengan rata-rata tahanan partisipan.

Alat yang digunakan yaitu ELCB 30 mA, yang tersedia di pasaran. Untuk memasangnya dibutuhkan kajian apakah alat tersebut dapat bekerja sesuai dengan arus operasi. Untuk itu dibuat simulator untuk uji coba sebelum di pasang pada instalasi rumah tinggal. Langkah pertama yaitu membuat simulator, kemudian melakukan uji coba, setelahnya hasil desain dipindahkan ke instalasi rumah yang ingin dipasang sistem proteksi. Desain diagram pengawatan simulator ditunjukkan pada Gambar 5.

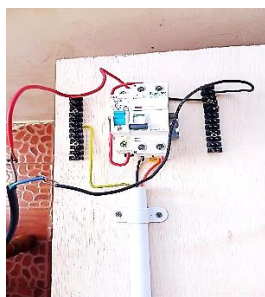


Gambar 5. Pengawatan Simulator

Keterangan simbol:

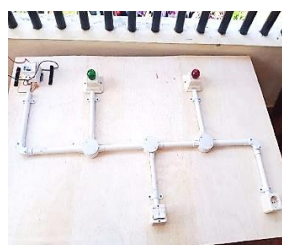
- a. Miniature Circuit Breaker (MCB) yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian instalasi listrik dari gangguan arus yang berlebihan.
- b. Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) berfungsi sebagai pendeteksi arus bocor pada instalasi listrik dan memutuskan arus listrik secara otomatis dengan jangka waktu tertentu.
- c. Terminal PE (Pentanahan) berfungsi sebagai titik pertemuan antara sistem pentanahan dan peralatan atau komponen listrik.
- d. Saklar berfungsi sebagai alat yang dapat memutuskan atau menghubungkan arus listrik pada instalasi listrik.
- e. Stop Kontak berfungsi sebagai muara penghubung antara arus listrik dan peralatan listrik.
- f. Fitting dan Lampu: fitting berfungsi sebagai penghubung antara kawat-kawat instalasi listrik dan lampu agar lebih aman sedangkan lampu adalah komponen penerang dalam instalasi listrik
- g. Kabel Fasa (L) sebagai kawat penghantar yang mengandung tegangan
- h. Kabel Netral (N) sebagai kawat penghantar yang tidak mengandung tegangan
- i. Kabel Ground (PE) sebagai kawat penghubung antara sistem pentanahan dan peralatan listrik
- j. Kabel Pengetesan Arus Bocor berfungsi sebagai media untuk mencoba simulasi.

Simulator dibuat sederhana sehingga mudah dalam pengoperasiannya. Bahan yang digunakan mudah diperoleh bahkan dengan bahan bekas (Gambar 6)



Gambar 6. Pemasangan ELCB pada instalasi

Instalasi pemasangan ELCB pada sumber tegangan PLN. Pemasangan panel instalasi pada papan multipleks, sehingga letak dudukan lebih kokoh (Gambar 7).



Gambar 7. Simulator untuk uji coba

Pada gambar terlihat instalasi dengan 2 mata lampu, dua saklar dan satu stop kontak. Instalasi tersebut merupakan instalasi 1 fasa yang sudah dilengkapi dengan ELCB. Bentuk yang jelas tata letak ada pada gambar sebelumnya. Komponen yang digunakan yaitu: (lampu indikator warna, pipa pvc, saklar, stop kontak, kawat, ELCB dan multipleks).

Pemasangan ELCB pada instalasi 1 fasa dapat dilihat pada gambar simulator. Selanjutnya uji coba sistem proteksi. Pada tahap ini adalah bagian yang penting dimana simulasi sistem tersebut akan di uji cobakan. Yang menjadi sasaran uji coba dari sistem ini adalah percobaan kabel fasa lampu sebagai arus bocor, percobaan kabel netral sebagai arus bocor, percobaan kabel fasa lampu sebagai arus bocor yang terkena oleh beban lain yang terpasang grounding/pentanahan, dan pengujian waktu tripping data sheet dan real tripping. Uji coba dilakukan dengan mengukur data partisipan melalui beberapa tabel. Uji coba dilakukan 2 cara yakni secara langsung melalui partisipan dan menggunakan tahanan pengganti/resistor yang nilai ukurnya sama dengan rata-rata ukur tahanan tubuh. Percobaan ini dilakukan terhadap beberapa mahasiswa sebagai partisipan. Selain itu pada uji coba juga diambil tahanan rata-rata kemudian dipasang resistor dengan tahanan yang ekuivalen untuk uji coba selanjutnya.

Tabel 1. Hasil pengukuran panjang titik tubuh dengan pengukur panjang

No.Part.	1 – 2 (cm)	1 – 3 (cm)	1 – 4 (cm)	2 – 3 (cm)	2 - 4 (cm)	Rata2 (cm)
1	175	210	218	218	210	206,2
2	172	212	217	217	212	206
3	160	197	199	199	197	190,4
4	173	220	225	225	220	212,6
5	179	225	228	228	225	217
6	170	203,5	204,5	204,5	203,5	197,2
7	171	212	213	213	212	204,2
8	180	226	230	230	226	218
9	150	190	191	191	190	182,4
10	156	185	189	189	185	180,5
11	163	195	201	201	195	191
12	162	201	202	202	201	193,6
13	172	214	215	215	214	206
14	169	209	212	212	209	202,2
15	165	204	207	207	204	197,4
16	157	196	197	197	196	188,6
17	163	195	196	196	195	189
18	154	186	187	187	186	180
19	149	189	190	190	189	181,4
20	149	190	191	191	190	182,2
21	160	195	196	196	195	188,4

Pengukuran jarak setiap titik dalam Cm. Pada hasil pengukuran rata-rata panjang ukur laki-laki dan perempuan berbeda. Rata-rata panjang ukur laki-laki lebih panjang dari rata-rata perempuan. Tinggi badan mempengaruhi panjang jarak ukur dari partisipan laki-laki maupun perempuan. Hasil pengukurannya bisa dilihat pada Tabel 1.

Penerapan Sistem Proteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal

Tabel 2. Rata-rata R tubuh dalam percobaan menggunakan multimeter untuk 5 titik

No. Part.	1 – 2 (R)	1 – 3 (R)	1 – 4 (R)	2 – 3 (R)	2 – 4 (R)	Rata2/ KΩ
1	412	600	750	1276	1800	967,6
2	78	550	1120	258	357	269,4
3	790	963	1167	960	2500	1276
4	350	2200	1300	3400	3100	2070
5	325	446	317	1050	1530	733,6
6	832	570	665	580	611	651,6
7	575	5670	4300	2080	3010	3127
8	330	500	320	1025	1510	737
9	1700	1900	6600	13900	12800	7380
10	6200	9700	17700	9600	12700	11180
11	1200	4900	2100	1400	2080	2336
12	14100	6100	8700	11300	10600	10160
13	2200	2100	1600	1500	1600	1800
14	932	1300	5800	2200	3300	2706,4
15	1500	665	731	1300	1800	1199,2
16	271	583	593	2473	3250	1431,2
17	2100	6290	8100	9700	5100	5238
18	1410	3320	3500	8030	2680	3788
19	1490	4210	6560	1800	651	2942,2
20	6570	10440	9140	7050	10430	8726
21	6510	7150	4550	7060	9760	7006

Nilai rata-rata yang diperoleh pada rentang R paling kecil 269,4 KΩ hingga terbesar pada nilai 11180 KΩ (lihat Tabel 2). Bila membandingkan rata-rata ukur pada jenis kelamin laki-laki cenderung lebih kecil dibanding nilai R pada rata-rata perempuan. Pada pengukuran menggunakan multimeter dihitung Panjang kawat ukur sebagai tahanan tambahan, mengingat kabel yang digunakan lebih Panjang. Rata-rata hasil ukur tahanan untuk laki-laki dan perempuan berbeda oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan untuk menguji beda tahanan hasil ukur untuk laki-laki maupun perempuan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor lainnya selain anthropometri.

Tahanan yang diukur dan dilakukan analisis yaitu nilai tahanan setiap titik, untuk nilai maksimum, rata-rata dan nilai minimum yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tahanan yang dianalisis

Tahanan Tubuh Manusia	Nilai Tahanan dalam Kilo Ohm					Total Rata-rata
	1 – 2	1 - 3	1 - 4	2 - 3	2 - 4	
Total (21 Partisipan)	49875	70157	85613	87942	91695	
Maksimum	14100	10440	17700	13900	12800	13788
Rata-rata	2375	3340	4077	4188	4341	3665
Minimum	78	570	317	258	357	316

Pada Tabel 3 terlihat untuk tahanan maksimum pada setiap titik pengukuran berada antara 10.000 sampai 17000 pada titik ukur 1-3 dan 1-4. Minimum antara 78 sampai 570 pada titik ukur 1-2 dan 1-3. Rata-rata ukur setiap titik yaitu: 3.658.K Ohm. Pada perhitungan arus yang mengalir pada titik maksimum Tegangan $V = 0,22 \text{ KV} / 49875 = 0,00000319118 \text{ kilo Ampere} = 3,19 \text{ mA}$, sedangkan pada total rata-rata $0,22 / 18321 = 0.00001200808 \text{ Kilo Ampere} = 12 \text{ mA}$. Pada saat partisipan menyentuh simulator ELCB

bekerja dengan baik dan karena Batasan arus 30 mA masih jauh dari arus yang mengalir pada titik ukur. Semakin kecil tahanan tubuh maka akan semakin besar arus yang mengalir, sehingga sebaliknya bila semakin besar tahanan tubuh maka semakin kecil arus yang mengalir. Olehnya patokan yang paling sederhana yaitu mengambil rata-rata tahanan untuk merancang sistem proteksi yang dalam kajian ini pada arus 12 mA. Alat akan bekerja pada range arus hingga 30mA sesuai dengan ketentuan PUIL. Alat yang direncanakan harus bekerja dari rata-rata R minimum sampai R maksimum. Atau pada range arus 2 – 15 mA. Pada kenyataan seluruh partisipan yang mengambil bagian dalam percobaan menunjukkan alat bekerja secara optimal.

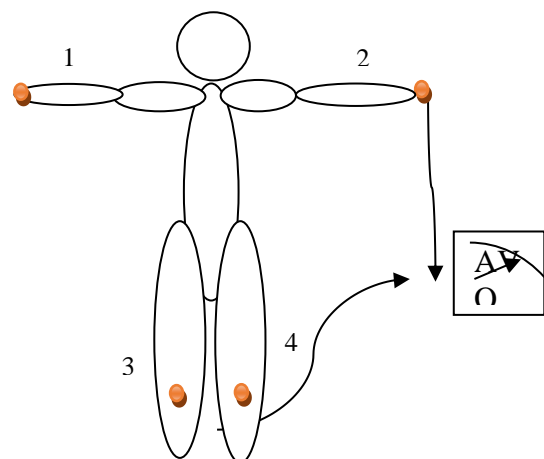
Tahanan tubuh, untuk mengukur tahanan tubuh tergantung pada sejumlah faktor atau indikator yaitu kelembaban kulit, daerah sentuhan dan tegangan yang ada. Tahanan tubuh merupakan gabungan dari tahanan kulit dan tahanan internal tubuh manusia (Sudiarta dkk, 2014). Penelitian telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan hasil pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran R untuk beberapa peneliti dan lembaga

No.	Peneliti	Tahanan (ohm)	Keterangan
1.	Dalziel	500	Tegangan pada 60hz
2	AIEE Comitee	2330	21 volt Tangan ke tangan = 9 mA
3	Report 1958	1130 1680	Tangan ke kaki Tangan ke tangan dengan arus searah
		800	Tangan ke kaki 50hz
4	Laurent	3000	

(Sudiarta dkk, 2014)

Pada Tabel 4 hasil pengukuran ditunjukkan dengan beberapa indikator dan objek ukur yang berbeda. Untuk itu pada penelitian ini mengambil 4 titik (Gambar 8).



Gambar 8. Titik-titik untuk Pengukuran Tahanan Tubuh

Pengukuran untuk titik 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4. Titik-titik tersebut diukur jaraknya dengan menggunakan alat ukur cm. Arus yang melalui tubuh manusia. Bilamana manusia menyentuh sesuatu bagian yang bertegangan, maka berlaku hukum ohm, karena pada tubuh terdapat tahanan yang bersifat resistif sehingga akan mengalir arus dimana besarnya sama dengan perbandingan tegangan dan tahanan pada tubuh atau ditulis sebagai: $I = V/R$, I (arus listrik) sama dengan perbandingan jumlah tegangan dan tahanan. Beberapa batasan arus dan pengaruhnya pada tubuh manusia di Tabel 5.

Tabel 5. Arus dan Pengaruhnya Bagi Tubuh Manusia

No.	Besar arus	Pengaruh bagi tubuh manusia	Kesimpulan
1	0 – 0,9 mA	Belum dirasakan, tidak berpengaruh	Tidak ada pengaruh
2	0,9 – 1,2 mA	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang	Tidak ada pengaruh
3	1,2 – 1,6 mA	Kontraksi atau kehilangan kontrol	Refleks
4	1,60 – 6,0 mA	Mulai terasa ada yang merayap ditangan	Refleks
5	6,0 – 8,0 mA	Tangan sampai siku terasa kesemutan	Berpengaruh
6	13 – 15 mA	Tangan mulai kaku rasa kesemutan mulai bertambah	Berbahaya
7	15 – 20 mA	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat melepaskan dengan gaya yang besar.	Berbahaya
6	20 – 50 mA	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar (kawat)	Mematikan
7	50 – 100 mA	Menyebabkan kerusakan pada tubuh manusia, batas arus yang dapat menyebabkan kematian.	Mati

(Suryadi dan Sofwan, 2016)

Bilamana arus yang mengalir sudah lebih besar dari 10 mA, maka dapat berakibat fatal bagi manusia. Pada sistem proteksi arus, sistem bekerja pada arus maksimum 30mA menurut PUIL, merupakan saat dimana otot tidak sanggup melepaskan penghantar atau berbahaya. Pada tabel 3 hasil pengukuran terendah menunjukkan 269,4 k Ω , dan tertinggi 11180 k Ω . Bila diambil rata-rata bila dihitung arus yang mengalir pada kedua hasil pengukuran tersebut

diperoleh: 0,82 mA dan 0,02 mA. Bila membandingkan efek pada tubuh maka arus tersebut tidak berpengaruh. Oleh karena itu sistem proteksi harus didasari pada arus yang masih dapat ditoleransi pada 0,9 – 1 mA.

IV. SIMPULAN

Pengukuran tahanan untuk para partisipan berjalan dengan baik dan diperoleh nilai tahanan rata-rata 3,658 k Ω . Tahanan paling besar ada pada titik 1-4, bila dilihat pada gambar jarak ukur paling jauh. Percobaan dilakukan oleh 21 partisipan dengan hasil sistem bekerja dengan baik. Hasil pengukuran tahanan tubuh bisa digunakan tahanan ekuivalen untuk pengujian yang lebih teliti dan berulang. Uji coba alat selanjutnya diambil tahanan yang ekuivalen dengan tahanan tubuh. Hasil menunjukkan arus yang mengalir tidak lebih dari 30 mA. Dengan demikian alat pada simulator bekerja sesuai dengan operasi menurut PUIL.

Pada pengukuran ini terdapat variasi tahanan pada kulit basah dan kering, demikian juga pada ukuran tubuh dan berat badan memberi pengaruh pada tahanan yang berakibat juga pada arus yang mengalir. Sistem proteksi arus bocor dapat bekerja dengan baik walaupun dengan simulator. Untuk keamanan sistem harus pula diikuti dengan perbaikan instalasi yang harus memenuhi persyaratan PUIL. Hasil desain dapat diterapkan di rumah tinggal dan dengan demikian berguna bagi masyarakat dalam menghindari hubung singkat dan kebakaran Faktor yang penting diperhatikan yaitu sistem pentanahan harus dipertimbangkan dalam memasang ELCB. Pada penerapan di rumah untuk 1 fasa dapat dipasang sesudah instalasi MCB dan meter atau meter prabayar di rumah.

Selain sebagai bahan praktik, juga dapat dijadikan contoh untuk penggunaan di rumah tinggal. Dengan bentuk sederhana dan mudah pemasangan dapat memudahkan dipasang sendiri. Adanya perhatian untuk instalasi rumah yang memenuhi syarat menurut PUIL melalui penambahan komponen ELCB. Beberapa saran dapat disampaikan: Agar penerapan sistem arus bocor model ELCB yang dapat digunakan secara mudah dan sederhana, maka instalasi rumah tinggal harus diukur tahanan isolasinya sehingga memenuhi PUIL. Perlu pertimbangan untuk sistem pentanahan, sehingga instalasi akan dapat dioperasikan sesuai dengan yang diharapkan. Manfaat praktis karena pemakaian peralatan listrik semakin beragam, maka sebaiknya setiap rumah memasang ELCB untuk menghindari kebakaran, atau adanya hubung singkat yang dapat berakibat kecelakaan. Memberikan pengamanan

(ekstra), lebih bagi pengguna listrik di rumah sehingga dapat menghindari kecelakaan.

Sebagai Proteksi Tegangan Sentuh Terhadap Manusia. *Jurnal Logic*. 14 (1), 33-39.

REFERENSI

Alawiy, M. T., & UNISMA, D. T. E. (2013). Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Jarak Elektroda Tambahan Terhadap Nilai Tahanan Pembumian. *Science Electro*.

Suryadi, A., & Sofwan, A. S. (2016). Rancang Bangun Modul Simulasi ELCB Fasa Satu Sebagai Pelindung Bagi Manusia. *Sinergi*, 20(1), 65-73.

American National Standard. (1986). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York.

Syukriyadin, S. (2017). Sistem Proteksi Arus Bocor Menggunakan Earth Leakage Circuit Breaker Berbasis Arduino. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 12(3), 111-118.

BSN, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik (2011) (PUIL 2011)," SNI 0225:2011/Amd 1:2013

Cooper, William David. (1999). *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Erlangga. Jakarta.

Fifana, N., Facta, M., & Syakur, A. (2011). Modul Simulasi ELCB Satu Fasa Sebagai Pelindung Tegangan Sentuh Bagi Manusia (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip).

ISO9001, I. O. Earth Leakage Circuit Breaker.

Kelvianto, A., & Hariyanto, A. (2020). Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih dan Gangguan Tanah Antara Gardu Hubung Dengan Gardu Induk Menggunakan Pemutus Balik Otomatis Penyulang GJN02 Pada Gardu Gejayan (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi PLN).

Major, R. V., Jasko, T. M., & Cruickshank, K. J. (1982). The performance of sensitive earth leakage circuit breaker cores under asymmetric fault current conditions. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 26(1-3), 220-222.

Nahvi, M., & Edminister, J. A. (2004). *Schaum's Easy Outlines Rangkaian Listrik*. Erlangga: Jakarta.

Sapiie, S dan Nishimo, O. (1986). *Pengukuran dan Alat Ukur Listrik*. Edisi 4 Pradnya Paramita. Jakarta

Sudiartha, Wayan & I Ketut TA. (2014). Analisis Penggunaan Saklar Arus Bocor (ELCB)



