

PROTEKSI TEGANGAN SENTUH LISTRIK PADA MANUSIA MENGGUNAKAN GROUNDING DAN RCBO (*RESIDUAL CURRENT CIRCUIT BREAKER WITH OVERCURRENT PROTECTION*)

Muhammad Iqbal¹, Riyan Anugrah², Abdul Hafid³, Andi Faharuddin⁴

¹²³⁴Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail : muchiqbal034@gmail.com¹, anugrahriyan2@gmail.com², abdulhafid@unismuh.ac.id³, afaharuddin@gmail.com⁴

Abstract: *Electrical safety is an important aspect in electrical installations to prevent dangers caused by leakage currents and contact voltages. This research aims to analyze the effectiveness of using RCBO (Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection) and grounding in protecting humans from electrical hazards, especially in operating water pumps on the 1st and 3rd floors of the Engineering Laboratory, Muhammadiyah University of Makassar. Tests were carried out using a single rod electrode, as well as an RCBO with a nominal current of 6 A and a leakage current sensitivity of 30 mA. The research method involves designing a protection system, leakage current testing, and evaluating grounding resistance against electrode depth. The research results show that RCBO with a sensitivity of 30 mA is able to reliably detect leakage currents and cut off electricity in less than 0.1 seconds, thereby protecting users from the danger of electric shock. Meanwhile, the grounding system shows increasing efficiency with electrode depth, where smaller ground resistance provides better protection against current leakage. The combination of RCBO and grounding has proven to be effective in increasing electrical safety and reducing the risk of touch voltage, so it is recommended for application in various electrical installations.*

Intisari: Keamanan listrik merupakan aspek penting dalam instalasi kelistrikan untuk mencegah bahaya yang disebabkan oleh arus bocor dan tegangan sentuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan RCBO (*Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection*) dan grounding dalam melindungi manusia dari bahaya listrik, terutama dalam pengoperasian pompa air di lantai 1 dan 3 Laboratorium Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar. Pengujian dilakukan menggunakan elektroda batang tunggal, serta RCBO dengan arus nominal 6 A dan sensitivitas arus bocor 30 mA. Metode penelitian melibatkan perancangan sistem proteksi, pengujian arus bocor, dan evaluasi resistansi grounding terhadap kedalaman elektroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa RCBO dengan sensitivitas 30 mA mampu mendeteksi arus bocor secara andal dan memutus aliran listrik dalam waktu kurang dari 0,1 detik, sehingga melindungi pengguna dari bahaya sengatan listrik. Sementara itu, sistem grounding menunjukkan efisiensi yang meningkat seiring dengan

kedalaman elektroda, di mana resistansi tanah yang lebih kecil memberikan perlindungan lebih baik terhadap kebocoran arus. Kombinasi RCBO dan grounding terbukti efektif dalam meningkatkan keselamatan listrik dan mengurangi risiko tegangan sentuh, sehingga direkomendasikan untuk diterapkan pada berbagai instalasi kelistrikan.

Kata kunci : Tegangan Sentuh, Arus Bocor, Grounding, RCBO (*Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection*), Proteksi Listrik.

I. PENDAHULUAN

Keamanan listrik merupakan aspek kritis dalam perancangan dan instalasi sistem kelistrikan di berbagai lingkungan, baik di industri, perkantoran, maupun di rumah tinggal. Salah satu risiko terbesar adalah kebocoran arus. Kebocoran arus dapat menimbulkan dampak berbahaya bagi kesehatan manusia karena dapat menimbulkan sengatan listrik atau tegangan sentuh. Tegangan sentuh terjadi ketika seseorang menyentuh suatu komponen yang terhubung dengan listrik dan arus mengalir melalui orang tersebut. Referensi [1] menyatakan bahwa proteksi dasar pada instalasi, sistem, dan perangkat tegangan rendah umumnya mengacu pada proteksi terhadap sentuhan langsung.

Dua metode utama yang sering digunakan untuk mengurangi risiko ini, pembumian dan penggunaan RCBO (*Residual Current Breaker With Overcurrent Protection*). Kombinasi pembumian dan RCBO pada sistem kelistrikan memberikan perlindungan efektif terhadap risiko tegangan sentuh. Meskipun RCBO memberikan perlindungan dinamis, grounding bertindak sebagai keselamatan preventif dengan memastikan bahwa arus bocor dialihkan ke ground.

dengan secara otomatis memutuskan aliran listrik jika terjadi kegagalan isolasi atau arus bocor yang melebihi ambang batas.

Gabungan RCBO dan sistem grounding memiliki keuntungan yang saling melengkapi di antaranya :

1. Peningkatan Keselamatan : RCBO melindungi terhadap arus bocor dan arus lebih, sementara grounding mencegah resiko tegangan sentuh dengan mengalihkan arus bocor ke tanah.
2. Perlindungan Komprehensif : Dengan keduanya, sistem kelistrikan terlindungi dari berbagai jenis bahaya listrik, termasuk arus bocor, arus lebih, dan tegangan sentuh yang berbahaya.
3. Pengurangan Resiko kecelakaan dan Kerusakan : Kombinasi ini mengurangi resiko kecelakaan yang melibatkan listrik serta kerusakan pada peralatan dan infrastruktur listrik.

Dengan memanfaatkan kedua metode perlindungan ini, kita dapat memastikan sistem kelistrikan yang lebih aman dan andal, serta memberikan perlindungan maksimal terhadap pengguna dan peralatan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Proteksi Tegangan Rendah

Sistem proteksi adalah penempatan lengkap perangkat pelindung yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat lain yang diperlukan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi. Sistem proteksi bekerja untuk mengamankan gangguan atau menghilangkan kondisi abnormal dalam sistem tenaga listrik.

Sistem proteksi sangat penting untuk melindungi peralatan listrik yang dapat mencegah atau membatasi kerusakan pada peralatan listrik karena kegagalan. Sistem proteksi dapat dilakukan dalam bentuk perlindungan komponen peralatan atau perlindungan terhadap orang-orang dalam bentuk perlindungan terhadap tegangan sentuh atau arus bocor. Sistem proteksi ini berupa sistem pentanahan atau pembumian (grounding) pada jaringan. Selain pembumian sistem proteksi tegangan sentuh juga biasanya dilengkapi dengan suatu pengaman tambahan yaitu RCBO/ELCB, kedua alat ini berfungsi untuk menjaga keselamatan instalasi listrik dengan memutuskan arus listrik secara otomatis jika terjadi gangguan pada sistem listrik.

B. Instalasi Tegangan Rendah

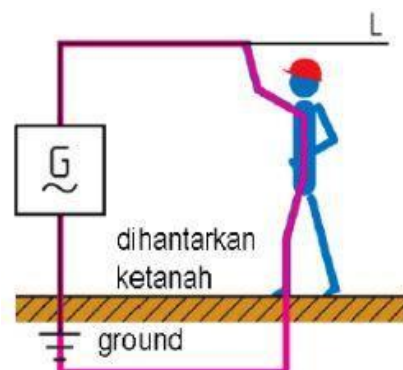
Instalasi tegangan rendah adalah sistem distribusi yang beroperasi pada tegangan antara 50 V hingga 1000 V. Instalasi

ini digunakan di bangunan perumahan, bangunan komersial, gedung perkantoran dan industri kecil. Untuk keandalan sistem catu daya, perangkat proteksi pada tegangan rendah sangat penting di pasang dengan rating yang cocok untuk kondisi dan jenis beban interferensi. Oleh karena itu, peralatan listrik juga membutuhkan keamanan dari korsleting atau arus lebih untuk melindungi sistem peralatan listrik. Proteksi ini memastikan bahwa sistem listrik aman untuk digunakan, peralatan listrik terlindungi, dan manusia aman dari resiko sengatan listrik.

C. Tegangan Sentuh

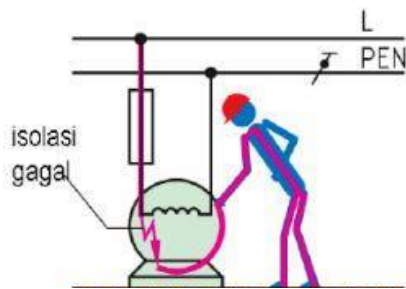
Tegangan sentuh adalah tegangan yang diperoleh akibat tersentuhnya bagian aktif instalasi listrik. Bagian aktif instalasi listrik adalah bagian konduktif (line) yang adalah bagian dari rangkaian listrik. Hal yang menyebabkan arus mengalir pada saat tubuh bersentuhan dengan tegangan adalah pijakan kaki ketanah, dimana tanah berfungsi sebagai hantaran nol yang terus dicari oleh energi listrik untuk membuang muatannya. Sementara disisi lain tubuh manusia memiliki nilai tahanan dan muatan listrik cenderung mencari jalan melalui nilai muatan yang kecil. Tegangan sentuh timbul antara dua bagian yang dapat tersentuh dengan serempak karena terjadi kegagalan isolasi. Tegangan sentuh sendiri terbagi menjadi dua yaitu tegangan sentuh langsung dan tegangan sentuh tidak langsung.

- 1) *Tegangan sentuh langsung*: Tegangan sentuh langsung terjadi pada bagian aktif dari perlengkapan atau instalasi listrik, yaitu ketika seseorang menyentuh bagian tersebut. Bagian aktif ini adalah bagian konduktif yang merupakan bagian dari sirkuit listrik dan memiliki tegangan dalam keadaan normal. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengamankan semua bagian aktif dari instalasi listrik guna mencegah bahaya tegangan sentuh langsung. Contoh pencegahan yang dapat dilakukan adalah menjauhkan perlengkapan atau instalasi agar tidak mudah terjangkau. Selain itu, pada lokasi yang mudah dijangkau oleh manusia, penting untuk memberikan isolasi pada penghantar aktif yang mengalirkan arus listrik.



Gbr. 1 Tegangan sentuh langsung

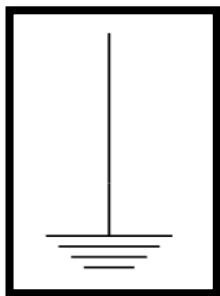
- 2) *Tegangan sentuh tidak langsung* : Tegangan sentuh tak langsung merujuk pada sentuhan pada bagian konduktif terbuka (BKT) dari perlengkapan atau instalasi yang, pada keadaan normal, tidak memiliki tegangan. Namun, dalam kondisi gangguan akibat kegagalan isolasi, bagian konduktif terbuka ini dapat menjadi bertegangan. Situasi ini berpotensi berbahaya, terutama saat terjadi kontak antara manusia dan bagian konduktif yang telah mengalami kegagalan isolasi. Perlu ditekankan bahwa besarnya tegangan sentuh yang dianggap aman bagi manusia dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti durasi tegangan kejut, tahanan jenis tanah, berat badan individu, serta probabilitas terjadinya ventricular fibrillation.



Gbr. 2 tegangan sentuh tidak langsung

D. Grounding

Grounding adalah suatu proses yang menghubungkan sistem listrik dengan tanah (bumi) untuk mengalirkan arus listrik berlebihan ke dalam bumi. Tujuan dari grounding ini adalah untuk mengurangi risiko sengatan listrik yang mungkin terjadi akibat kebocoran arus.



Gbr. 3 Simbol grounding

Sistem pentanahan yang efektif memastikan bahwa arus gangguan akibat kebocoran dan lonjakan arus listrik dapat dialirkan ke tanah dengan cepat dan aman. Hal ini berperan penting dalam mengurangi risiko kerusakan pada peralatan listrik serta meningkatkan keselamatan manusia. Semakin

rendah tahanan pertanahan, semakin efisien sistem tersebut dalam mengalirkan arus ke bumi. Untuk menghitung tahanan pertanahan elektroda batang tunggal di gunakan (1):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right) \quad (1)$$

Keterangan:

R: Tahanan pertanahan (ohm)

ρ : Tahanan Jenis Tanah

L: Panjang Elektroda

α : Diameter Elektroda

Berdasarkan persamaan rumus di atas, nilai dari sebuah tahanan pertanahan berpengaruh terhadap sebuah tahanan jenis tanah (ρ). Dimana setiap wilayah memiliki tahanan jenis tanah yang berbeda-beda. Menurut jenis tanah dapat dikelompokkan menjadi beberapa sesuai dengan tabel berikut

Tabel I
Kelompok tahanan jenis tanah

NO	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)
1	Tanah Rawa	10-30
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir/Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

E. RCBO (Residual Current Circuit Breaker With Overcurrent Protection)

Residual Current Circuit Breaker dengan perlindungan arus lebih, yang sering disingkat RCBO, adalah alat penting dalam sistem perlindungan listrik. RCBO menggabungkan dua fungsi utama: perlindungan terhadap kebocoran arus dan hubung singkat, serta perlindungan dari arus berlebih. Alat ini merupakan hasil kombinasi dari Miniature Circuit Breaker (MCB) dan Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB), yang berfungsi untuk memutuskan aliran listrik saat terjadi kebocoran arus, hubung singkat, atau beban berlebih.

Untuk mencegah arus gangguan yang dapat mengalir melalui tubuh manusia, hewan, atau menimbulkan kebakaran, diperlukan alat tambahan selain MCB, yaitu ELCB [1]. RCBO

hadir sebagai solusi praktis karena merupakan kombinasi dari MCB dan ELCB dalam satu produk dengan lebar yang sama, yaitu 18 mm. RCBO mampu mendeteksi kebocoran arus yang berpotensi membahayakan manusia atau hewan, sekaligus memberikan perlindungan terhadap arus lebih secara bersamaan. Oleh karena itu, penggunaan RCBO menjadi langkah preventif yang sangat dianjurkan untuk mengurangi risiko yang tidak dapat ditangani hanya dengan MCB..

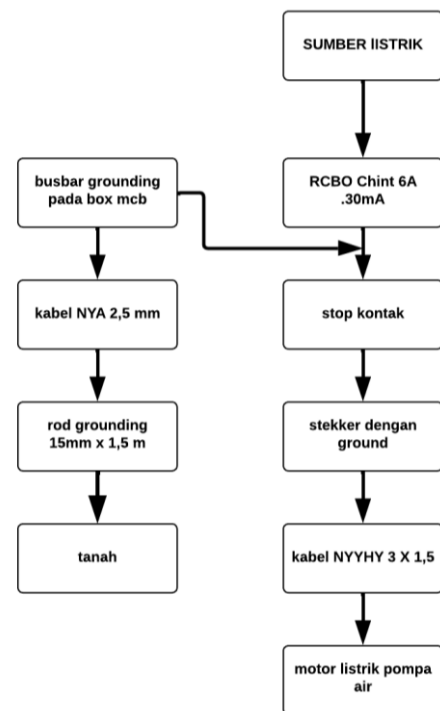
Adapun kerja dari RCBO adalah mendeteksi terjadinya kontak fisik antara makhluk hidup dan listrik atau sengatan arus listrik, dengan cara membandingkan besar arus listrik yang mengalir melalui kabel fasa dan kabel netral. Jika terjadi perbedaan nilai besar arus yang mengalir pada kabel fasa dan kabel netral maka ia akan bekerja langsung memutus aliran listrik. Terjadinya perbedaan besar arus antara kabel fasa dan netral dikarenakan ketika manusia tersengat listrik, arus listrik sebagian mengalir dari fasa ke ground dan sebagian lainnya mengalir dari fasa ke netral.



Gbr. 4 RCBO

III. METODE PENELITIAN

Penelitian Proteksi Tegangan Sentuh Listrik Pada Manusia Menggunakan Grounding Dan RCBO (*Residual Current Circuit Breaker With Protection*) dilakukan di lantai 1 dan 3 Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar. penelitian di laksanakan secara terarah dan sistematis untuk mencapai tujuan-tujuan penelitian. Prosedur penelitian disusun secara teratur guna mempermudah dalam pencarian, dan melihat jalannya penelitian. Dengan melakukan perancangan grounding dan rcbo pada instalasi mesin pompa air dan melakukan pengujian pada alat proteksi terhadap terhadapa hubung singkat dan beban lebih maupun proteksi terhadap arus bocor.

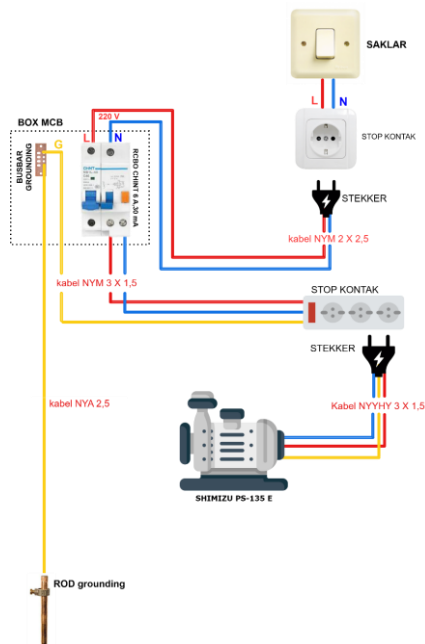


Gbr. 5 Desain sistem

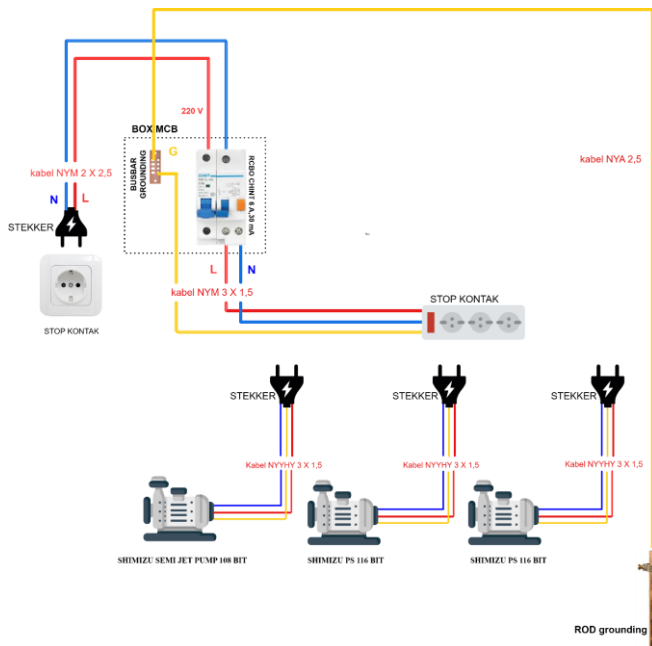
RCBO sebagai sistem proteksi utama dalam pengoperasian mesin pompa air, dan grounding merupakan sistem pengaman proteksi tambahan dalam sistem ini dan terhubung pada masing masing instalasi yang akan di hubungkan ke mesin pompa air, dimana dengan menggabungkan RCBO dan Grounding dapat memberikan dua perlindungan. Proses ini secara signifikan meningkatkan keselamatan pengguna saat mengoperasikan mesin pompa air pada lantai 1 dan 3, dan dapat mengurangi resiko kecelakaan listrik saat pengoperasiannya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skema Instalasi



Gambar. 6 Skema instalasi lantai 1



Gambar. 7 Skema instalasi lantai 3

Spesifikasi alat proteksi RCBO yang digunakan pada lantai 1 dan 3

Tabel 2
Spesifikasi RCBO

Merek	CHINT
Tegangan	220 V/ 1 fasa
Frekuensi	50 Hz
Arus Nominal (In)	$\geq 6 \text{ A}$
Arus Bocor Nominal (I Δ n)	$\geq 30 \text{ mA}$
Waktu trip	0.1 detik

Spesifikasi beban (pompa air) yang digunakan pada lantai 1

Tabel 3
Spesifikasi pompa air pada lantai 1

Merek	Shimizu PS 135 bit
Tegangan	220 V/ 1 fasa
Frekuensi	50 Hz
Pin	0.33 kW
Pout	125 W

Spesifikasi beban (pompa air) yang digunakan pada lantai 3

- Pompa booster

Tabel 4
Spesifikasi pompa booster

Merek	Shimizu semi jet pump 108 bit
Tegangan	220 V/ 1 fasa
Frekuensi	50 Hz
Pin	0.35 kW
Pout	150 W

- Pompa pengisap pada modul water level control

Tabel 5
Spesifikasi pompa pengisap

Merek	Shimizu PS 116 bit
Tegangan	220 V/ 1 fasa
Frekuensi	50 Hz
Pin	0.29 kW
Pout	125 W

- Pompa pengisi pada modul water level control

Tabel 6
Spesifikasi pompa pengisi

Merek	Shimizu PL 112 bit
Tegangan	220 V/ 1 fasa
Frekuensi	50 Hz
Pin	0.31 kW
Pout	125 W

B. Perhitungan dan Hasil Pengujian

Pada bagian ini, dilakukan pengujian terhadap arus listrik yang mengalir ke pompa air pada saat start (mulai) dan saat berjalan normal. Pengujian bertujuan untuk mengetahui beban arus yang dihasilkan oleh pompa air pada kondisi kerja yang berbeda.

Perhitungan arus nominal pompa air pada lantai 1 dengan asumsi $\cos \phi = 0.8$, pada saat mulai

$$I_{\text{start}} = \frac{P_{\text{in}}}{V \cos \phi} = \frac{330}{220 \cdot 0.8} = 1.87 \text{ A}$$

Setelah berjalan normal arus motor

$$I_n = \frac{P_{\text{out}}}{V \cos \phi} = \frac{125}{220 \cdot 0.8} = 0.71 \text{ A}$$

Perhitungan arus nominal pompa air pada lantai 3 dengan asumsi $\cos \phi = 0.8$, pada saat mulai

- Pompa booster

$$I_{\text{start}} = \frac{P_{\text{in}}}{V \cos \phi} = \frac{350}{220 \cdot 0.8} = 1.98 \text{ A}$$

Setelah berjalan normal arus motor

$$I_n = \frac{P_{\text{out}}}{V \cos \phi} = \frac{150}{220 \cdot 0.8} = 0.85 \text{ A}$$

- Pompa pengisap

$$I_{\text{start}} = \frac{P_{\text{in}}}{V \cos \phi} = \frac{290}{220 \cdot 0.8} = 1.64 \text{ A}$$

Setelah berjalan normal arus motor

$$I_n = \frac{P_{\text{out}}}{V \cos \phi} = \frac{125}{220 \cdot 0.8} = 0.71 \text{ A}$$

- Pompa pengisi

$$I_{\text{start}} = \frac{P_{\text{in}}}{V \cos \phi} = \frac{310}{220 \cdot 0.8} = 1.76 \text{ A}$$

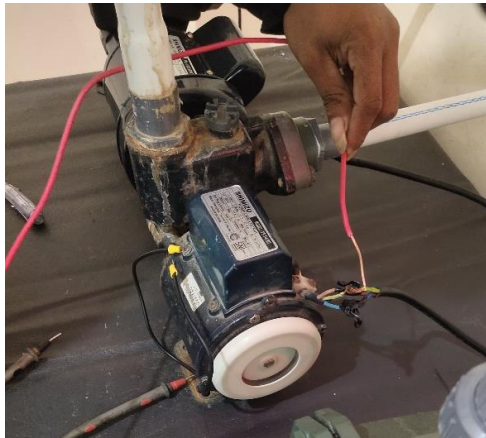
Setelah berjalan normal arus motor

$$I_n = \frac{P_{\text{out}}}{V \cos \phi} = \frac{125}{220 \cdot 0.8} = 0.71 \text{ A}$$

- 1) *Proteksi RCBO terhadap hubung singkat dan beban lebih* : Alat proteksi RCBO juga dilengkapi dengan pengaman hubung singkat dan beban lebih. Sebagaimana dicantumkan dalam tabel 2 RCBO yang dipakai memiliki kemampuan untuk memproteksi beban jika nilai arus beban di atas 6 A (beban lebih dan hubung singkat).
- 2) *Proteksi RCBO terhadap Arus bocor* : Dalam bagian ini pengujian dilakukan untuk menguji efektivitas proteksi RCBO dalam mendeteksi dan memutuskan arus listrik akibat kebocoran arus. Dimana RCBO merupakan perangkat perlindungan yang dirancang untuk melindungi pengguna dan sistem instalasi listrik dari bahaya yang disebabkan oleh arus bocor. pengujian Proteksi RCBO terhadap arus bocor dilakukan dengan menghubungkan arus fasa dan grounding pada stop kontak seperti yang terlihat pada gambar 8. dan Pada mesin pompa air, dilakukan kerusakan kecil pada isolasi kabel listrik untuk menciptakan jalur kebocoran arus seperti yang terlihat pada gambar 9.



Gbr. 8 Simulasi arus bocor pada stop kontak



Gbr. 9 bagian fasa dari mesin pompa yang terhubung ke konduktor



Gbr.10 Konduktor yang terhubung dari mesin pompa sebagai simulasi arus bocor pada mesin pompa



Gbr. 11 Kondisi RCBO setelah terjadi arus bocor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa RCBO bekerja secara efektif. Ketika jalur bocor terhubung, RCBO langsung memutuskan aliran listrik, yang ditandai dengan mati totalnya daya pada sistem. Hal ini membuktikan bahwa RCBO mampu memberikan proteksi yang andal terhadap kebocoran arus.

C. Hasil Pengukuran

Pengukuran tahanan pentanahan elektroda batang tunggal dalam penelitian ini, di lakukan perhitungan tahanan pentanahan menggunakan elektroda batang tunggal di dua lokasi yang berbeda yaitu lantai 1 dan lantai 3, dengan panjang elektroda yang berbeda menggunakan (1) :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right) \quad (1)$$

Keterangan:

R: Tahanan pertanahan (ohm)

ρ : Tahanan Jenis Tanah

L: Panjang Elektroda

α : Diameter Elektroda

Data $\rho = 200$ (Ohm-m)

$L = 0.5$ m

$\alpha = 15$ mm

Perhitungan tahanan pentanahan untuk instalasi lantai 1

$$R = \frac{200}{2\pi \cdot 0,5} \left(\ln \frac{4 \cdot 0,5}{0,015} - 1 \right)$$

$$R = \frac{4 \cdot 0,5}{0,015} = \frac{2}{0,015} = 133,3$$

$$\ln = (133,3) = 4,89$$

$$4,89 - 1 = 3,89$$

$$R = \frac{200}{2\pi \cdot 0,5} \cdot 3,89$$

$$R = \frac{200}{3,14} \cdot 3,89$$

$$R = 63,6 \cdot 3,89$$

$$R = 247 \, \Omega$$

Perhitungan tahanan pentanahan untuk instalasi lantai 3, sama dengan yang diuraikan dengan grounding rod sedalam 1.5 m

Tabel 7

perhitungan resistansi tahanan pentanahan berdasarkan kedalaman dengan resistivitas tanah 200 $\Omega \cdot m$

No.	L (m)	Resistansi (Ohm)
1	0.1	727
2	0.2	474
3	0.3	359
4	0.4	292
5	0.5	248
6	0.6	216
7	0.7	192
8	0.8	174
9	0.9	158
10	1	146
11	1.1	135
12	1.2	126
13	1.3	119
14	1.4	112
15	1.5	106

ini menunjukkan bahwa elektroda yang lebih panjang memiliki area kontak yang lebih luas dengan tanah, sehingga lebih efektif dalam mengalirkan arus bocor.

D. Perhitungan Arus Bocor

Pengukuran tegangan

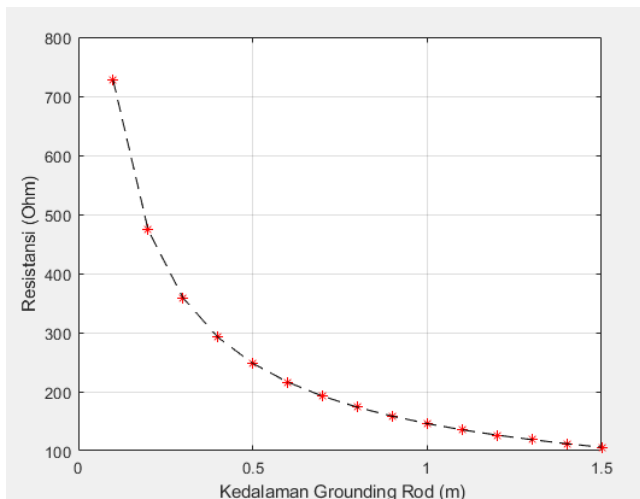
Tabel 8

Pengukuran tegangan pada RCBO

Tegangan Line-Neutral	220 V	Instalasi Lantai 1
Tegangan Line –grounding	218 V	
Tegangan Line-Neutral	220 V	Instalasi Lantai 3
Tegangan Line –grounding	218 V	

Arus bocor untuk kedalaman batang pentanahan 0,5 m dihitung dengan menggunakan (2).

$$I_1 = \frac{V_{LG}}{R_G} = \frac{218}{247.826672} = 880 \text{mA} \quad (2)$$



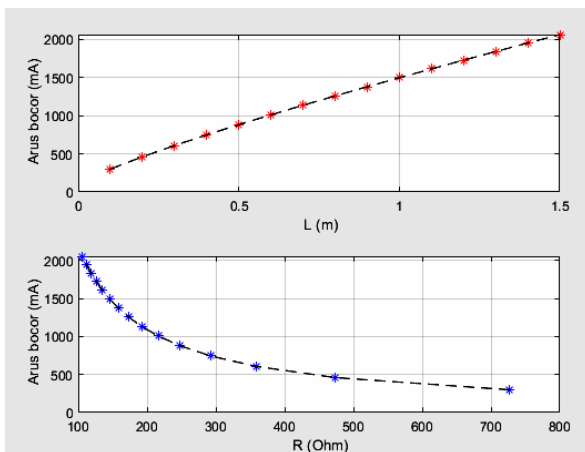
Gbr. 12 Grafik resistansi tahanan pentanahan berdasarkan kedalaman grounding rod

Dari hasil perhitungan resistansi grounding rod versus kedalaman grounding rod yang dilakukan. Dari data yang diperoleh terlihat bahwa semakin panjang elektroda yang ditanam ke dalam tanah, semakin kecil nilai resistansinya. Hal

Tabel 9

Perhitungan arus bocor berdasarkan resistansi dan Kedalaman batang pentanahan

No.	Arus bocor (mA)	Resistansi (Ohm)	L (m)
1	300	727	0.1
2	460	474	0.2
3	608	359	0.3
4	747	292	0.4
5	880	248	0.5
6	1008	216	0.6
7	1134	192	0.7
8	1256	174	0.8
9	1376	158	0.9
10	1493	146	1
11	1609	135	1.1
12	1724	126	1.2
13	1836	119	1.3
14	1948	112	1.4
15	2058	106	1.5



Gbr 13 Grafik arus bocor berdasarkan panjang batang rod dan resistansi pentanahan

Pada gambar 13 di perlihatkan bahwa arus bocor meningkat seiring bertambahnya panjang elektroda (L). Ini disebabkan oleh penurunan resistansi elektroda yang memungkinkan arus bocor lebih besar mengalir ke tanah. Dan gambar 13 juga menunjukkan hubungan arus bocor dengan resistansi elektroda. Semakin besar resistansi, semakin kecil arus bocor, dan sebaliknya. Arus bocor yang dihasilkan jauh melebihi setting RCBO 30 mA, yang berarti perangkat proteksi ini akan selalu bekerja untuk memutuskan aliran listrik jika terjadi kebocoran arus

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Sistem proteksi RCBO dan grounding merupakan kombinasi efektif untuk melindungi manusia dari bahaya listrik. RCBO mampu mendeteksi dan memutus aliran listrik secara otomatis dalam waktu singkat saat terjadi kebocoran arus, sedangkan grounding mengalirkan arus bocor ke tanah sehingga mencegah aliran arus melalui tubuh manusia. Sistem ini tidak hanya meningkatkan keselamatan pengguna tetapi juga memperpanjang umur perangkat listrik dengan melindunginya dari lonjakan arus dan kerusakan akibat kegagalan isolasi
2. Penggunaan RCBO dengan sensitivitas arus bocor sebesar 30 mA terbukti efektif melindungi pengguna dari sengatan listrik, baik pada kondisi normal maupun saat terjadi gangguan listrik seperti hubung singkat dan arus bocor. Implementasi sistem proteksi ini sangat relevan untuk instalasi kelistrikan yang sering bersentuhan dengan pengguna, seperti pompa air,

untuk meminimalkan risiko kecelakaan akibat tegangan sentuh

B. Saran

1. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan pada instalasi kelistrikan rumah tangga maupun industri kecil untuk meningkatkan proteksi terhadap sengatan listrik dan arus bocor.
2. Disarankan untuk melakukan pengujian pada jenis tanah yang berbeda, seperti tanah liat, tanah berpasir, dan tanah basah, untuk mengetahui bagaimana resistivitas tanah memengaruhi kinerja single rod electrode.
3. Disarankan untuk merancang sistem proteksi terpadu yang menggabungkan single rod electrode, RCBO, dan perangkat monitoring berbasis IoT untuk meningkatkan keamanan dan kemudahan pemantauan sistem kelistrikan.

REFERENSI

- [1] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011
- [2] NPI, A. D. (2024, August). Rancang Bangun Alat Praktikum Proteksi Tegangan Rendah Terhadap Tegangan Sentuh dan Beban Lebih Menggunakan RCBO. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National*
- [3] Pyae, S., Sunarto, S., & Sudrajat, S. (2023, August). Rancang Bangun Alat Praktikum Proteksi Tegangan Rendah Terhadap Tegangan Sentuh Menggunakan ELCB. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 14, No. 1, pp. 303-308).
- [4] Sofyar, S. (2021). Studi proteksi electric shock pada instalasi rumah tinggal menggunakan Residual Current Circuit Breaker with Integral Overload Protection. *AL ULUM: JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI*, 6(2), 70-76.
- [5] Kusumo, B., & Krisnandi, D. (2023). ANALISA KEBOCORAN ARUS PADA DISTRIBUSI LISTRIK DENGAN SIMULASI PENERAPAN RCBO SCHNEIDER 1 PHASA 6 AMPER PADA RUMAH HUNIAN. *JURNAL ELEKTRO*, 11(1), 81-95.
- [6] Sugianto, S., Fahrezi, AS, & Oetomo, P. (2022). PERENCANAAN INSTALASI LISTRIK PADA GEDUNG RUMAH SAKIT. *SINUSOIDA*, 24 (2), 18-25.
- [7] Efriansah, R. A. (2024,17 Juni). Grounding: Pengertian, Fungsi, Cara Kerja, dan Cara Pemasangannya. Diakses pada 17 september 2024. Dari <https://www.kelasteknisi.com/2024/06/grounding-listrik-pengertian-fungsi-dan-cara-kerja.html>
- [8] Fermana, D. (2022, 17 Agustus). RCBO Pengaman Instalasi Listrik Anda. Diakses pada 21 september 2024. Dari <https://www.birolistrik.com/2095/rcbo-pengaman-instalasi-listrik-anda/>
- [9] Hafid, A . (2024, 21 September). Testing RCBO Pada pompa air untuk menghindari sengatan listrik. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=BbciZhUJsdK>
- [10] Kusumo, B., & Krisnandi, D. (2023). ANALISA KEBOCORAN ARUS PADA DISTRIBUSI LISTRIK DENGAN SIMULASI PENERAPAN RCBO SCHNEIDER 1 PHASA 6 AMPER PADA RUMAH HUNIAN. *JURNAL ELEKTRO*, 11(1), 81-95.