

Analisis Perbandingan Sistem Kerja *Earth Leakage Circuit Breaker* (ELCB) dan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) Sebagai Sistem Proteksi Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Fajar Azhari^{1*}, Dicky Lesmana², Zulkarnain Lubis³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

^{1,2,3}Jl. Gatot Subroto No.km, Simpang Tj., Kec. Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara 20122, Indonesia

email: fajarazhari2002@gmail.com

Abstract — *Human safety against touch voltage hazards is the most important factor in electrical power systems. Touch voltage hazards can occur if a person directly or indirectly touches live electrical parts. Indirect contact can happen when a person touches exposed conductive parts of equipment that are normally not energized but can become energized due to leakage current caused by insulation failure in electrical cables. Therefore, protection against indirect touch voltage is necessary. This study aims to analyze the protection against indirect contact voltage using an Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) and a Miniature Circuit Breaker (MCB). In this study, a 30 mA ELCB and a 2 A MCB were used as protection against indirect touch voltage hazards. The research data were obtained using the experimental method by conducting laboratory experiments. The laboratory experiment results showed that the 30 mA ELCB is more sensitive as protection against indirect touch voltage compared to the MCB. This is because the working principle of the ELCB is based on the leakage current occurring at the exposed conductive parts, whereas the working principle of the MCB is based on the total current (leakage current and load current) flowing through the MCB.*

Abstrak — Keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan sentuh merupakan faktor terpenting dalam sistem tenaga listrik. Bahaya tegangan sentuh dapat terjadi jika manusia menyentuh bagian beraliran listrik secara langsung atau secara tidak langsung. Sentuhan tidak langsung dapat terjadi ketika manusia menyentuh bagian penghantar terbuka dari peralatan yang dalam keadaan normal tidak bertegangan namun dapat bertegangan akibat arus bocor yang diakibatkannya kerusakan isolasi pada kabel listrik. Oleh karena itu, perlu adanya perlindungan terhadap tegangan sentuh tidak langsung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proteksi tegangan kontak tidak langsung menggunakan *Earth Leakage Circuit Breaker* (ELCB) dan Pemutus Arus Miniatur (MCB). Pada penelitian ini digunakan ELCB dan MCB 30 mA 2 A sebagai proteksi terhadap bahaya tegangan sentuh tidak langsung. Data penelitian diperoleh dengan menggunakan metode Eksperimental yaitu dengan melakukan percobaan di laboratorium. Dari hasil percobaan di laboratorium diperoleh Hasilnya ELCB 30 mA lebih sensitif sebagai proteksi terhadap tegangan sentuh tidak langsung dibandingkan MCB. Hal ini dikarenakan prinsip kerja ELCB didasarkan pada arus bocor yang terjadi pada BKT, sedangkan prinsip kerja MCB berdasarkan total arus (arus bocor dan arus beban) yang mengalir melalui MCB

Kata Kunci — ELCB, MCB, Proteksi, Tegangan sentuh

I.PENDAHULUAN

Kecelakaan kerja akibat listrik biasanya disebabkan karena tegangan sentuh, baik sentuhan langsung maupun tidak langsung. Sentuhan langsung terjadi bila manusia menyentuh bagian aktif secara langsung, sedangkan sentuhan tidak langsung terjadi karena adanya kerusakan isolasi kabel listrik sehingga menyebabkan terjadinya tegangan sentuh pada bagian konduktif terbuka (BKT). BKT merupakan bagian dari peralatan listrik yang dalam keadaan normal tidak bertegangan tetapi bisa bertegangan karena adanya arus bocor akibat kerusakan isolasi kabel listrik pada peralatan. Berdasarkan PUIL 2011, tegangan sentuh pada BKT yang diijinkan maksimal sebesar 50 Volt (PUIL 2011).

Besarnya tegangan sentuh tidak langsung tergantung pada besarnya arus bocor dan resistans pembumian. Tegangan sentuh yang melebihi 50 Volt berbahaya bagi manusia bahkan pada nilai arus tertentu bisa menyebabkan kematian. Tegangan sentuh tidak langsung biasanya terjadi karena manusia tidak tahu kalau bagian dari peralatan (BKT) itu bertegangan karena adanya arus bocor yang diakibatkan kerusakan isolasi kabel listrik. Pengaruh arus yang mengalir dalam tubuh manusia tergantung pada besarnya tegangan sentuh tidak langsung, dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia. Resistansi tubuh manusia rata-rata sebesar 1000 Ohm, sehingga bila terjadi tegangan sentuh pada peralatan listrik, dan manusia menyentuh BKT tersebut maka arus listrik yang mengalir dalam tubuh manusia adalah besarnya tegangan sentuh dibagi 1000 Ohm (Sunarto,2020).

Keamanan manusia merupakan faktor utama dalam sistem tenaga listrik, oleh karena itu perlu adanya proteksi yang bisa mengamankan manusia terhadap bahaya tegangan sentuh tidak langsung. Biasanya proteksi yang digunakan pada instalasi listrik adalah *Earth Leakage Circuit Breaker* (ELCB) dan *Miniature Circuit Breaker* (MCB). Kedua proteksi tersebut mempunyai perbedaan prinsip kerja. Prinsip kerja ELCB berdasarkan besarnya arus bocor yang melebihi nominalnya, sedangkan prinsip kerja MCB berdasarkan arus total (arus bocor dan arus beban) yang melaluinya melebihi nilai rating arusnya. Rating arus ELCB sebagai proteksi manusia adalah 30 mA sehingga ELCB akan bekerja bila ada arus bocor melebihi 30 mA. Sedangkan rating arus MCB berdasarkan daya terpasang, misalnya daya terpasang 2200 VA maka rating MCB sebesar 10 A sehingga bila arus yang mengalir ke beban

sebesar 10 A dan terjadi arus bocor maka arus total yang mengalir melalui MCB melebihi arus ratingnya sehingga MCB bekerja. Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu secara termis dan elektromagnetis, pengaman termis berfungsi untuk mengamankan arus beban lebih sedangkan pengaman elektromagnetis berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat. Pengaman termis pada MCB memiliki prinsip yang sama dengan *thermal overload* yaitu menggunakan dua buah logam yang digabungkan (bimetal), pengamanan secara termis memiliki kelambatan, ini bergantung pada besarnya arus yang harus diamankan, sedangkan pengaman elektromagnetik menggunakan sebuah kumparan yang dapat menarik sebuah anker dari besi lunak. MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu fasa, sedangkan untuk pengaman tiga fasa biasanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus. Berdasarkan penggunaan dan daerah kerjanya, MCB dapat digolongkan menjadi 3 jenis yaitu:

- Tipe B: Mengamankan arus hubung singkat 3-5 kali In. Digunakan untuk pengaman rangkaian generator
- Tipe C: Mengamankan arus hubung singkat 5-10 kali In. Digunakan untuk pengaman instalasi industry dan domestic
- Tipe D: Mengamankan arus hubung singkat 10- 14 kali In (rating besar). Digunakan untuk pengaman jaringan dengan inrush current yang tinggi seperti pada sisi tegangan rendah transformator distribusi (D. Setiawan,2018)

Pada penelitian sebelumnya yang terkait, membahas peralatan instalasi listrik dan pengaman tegangan sentuh bagi manusia menggunakan ELCB serta mengenai pembumian yang masih ada kaitannya dengan kinerja ELCB. ELCB dapat bekerja dengan baik dan efektif dengan membaca adanya perbedaan arus listrik yang masuk dan keluar antara fasa dan netral. Apabila arus bocor mencapai 30 mA maka akan memutuskan sumber tegangan yang ada pada output ELCB dengan waktu pemutusan 19,60 ms. Pada penelitian terdahulu ini tidak membahas MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung (F. D. Sukardi,2019, A. Budiman,2017. A. Budiman 2017)

Kinerja ELCB dipengaruhi oleh besarnya resistans elektroda pembumian yang nilainya tergantung pada kondisi tanah serta bahan dan jenis elektroda pembumian. Ada tiga jenis elektroda pembumian yaitu elektroda pita, elektroda pelat, dan elektroda batang. Elektroda pita terbentuk dari penghantar berbentuk pita, atau berbentuk bulat dari penghantar pilin. Elektroda pelat terbuat dari pelat logam utuh atau berlubang, sedangkan elektroda batang terbuat dari pipa besi baja atau batang logam lainnya misalnya batang tembaga. Nilai resistans pembumian yang diijinkan maksimum 5 Ohm, bila nilai resistans elektroda pembumian terpasang belum memenuhi syarat tersebut maka perlu dilakukan rekonfigurasi elektroda pembumian sampai didapat nilai resistans pembumian yang memenuhi syarat. Penelitian tersebut hanya membahas mengenai ELCB dan pembumian (Sunarto,2020)

MCB merupakan pengaman otomatis yang dapat memutuskan sirkuit secara otomatis apabila arusnya melebihi rating dari MCB tersebut. Pengaman otomatis dapat langsung dioperasikan kembali setelah mengalami pemutusan (trip) akibat adanya gangguan arus hubung singkat atau arus beban lebih. MCB merupakan suatu komponen pengaman yang

dilengkapi dengan komponen termis (bimetal) untuk pengaman beban lebih dan juga dilengkapi pengaman elektromagnetik untuk pengaman hubung singkat. MCB banyak digunakan untuk pengaman sirkuit satu fasa dan tiga fasa. Keuntungan menggunakan MCB, yaitu: Dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya:

- Dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya
- Dapat digunakan kembali setelah rangkaian diperbaiki akibat hubung singkat atau beban lebih
- Mempunyai respon yang baik apabila terjadi hubung singkat atau beban lebih

Pada penelitian tersebut hanya membahas mengenai MCB sebagai proteksi arus hubung singkat dan arus beban lebih. Dari beberapa penelitian terdahulu belum ada yang membahas MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung (Latifah,2021).

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan sistem proteksi tegangan sentuh tidak langsung menggunakan ELCB dan MCB pada pembumian Sistem TT (Tere-Tere) yaitu sistem pembumian dimana pembumian titik netral trafo dan pembumian peralatan dipasang secara terpisah. Hal yang baru dari penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah masalah MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung. Penelitian yang pernah dilakukan pada umumnya membahas mengenai ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh, rekonfigurasi elektroda pembumian untuk memperkecil bahaya tegangan sentuh. Tegangan sentuh tidak langsung terjadi bila manusia memegang bagian peralatan yang bertegangan akibat adanya kerusakan isolasi sehingga menyebabkan arus bocor ke bagian peralatan (BKT), dan kejadian tersebut disebabkan karena manusia tidak tahu bahwa bagian peralatan tersebut bertegangan. Proteksi pada instalasi listrik pada umumnya menggunakan MCB sebagai pengaman arus lebih, namun ada juga yang menambahkan proteksi ELCB sebagai proteksi terhadap tegangan sentuh. Karena proteksi yang sering digunakan pada instalasi adalah MCB dan ELCB maka penelitian ini dilakukan untuk menguji dan menganalisa ELCB dan MCB apakah kedua proteksi tersebut bisa digunakan sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung. Untuk ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh sudah banyak yang meneliti, tetapi karena pada umumnya proteksi yang digunakan adalah MCB dan ELCB maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian kedua proteksi tersebut dengan tujuan untuk menganalisa bagaimana kinerja kedua proteksi tersebut bila terjadi gangguan tegangan sentuh tidak langsung (arus bocor) pada peralatan listrik. Pengembangan dalam penelitian ini adalah mengenai MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung, bilamana MCB itu bisa bekerja jika terjadi arus bocor ke bagian peralatan (BKT) akibat kegagalan isolasi sehingga arus yang melewati MCB tersebut (arus beban dan arus bocor) melebihi nominalnya

II.METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk memperoleh data dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan untuk menganalisa data digunakan metode komparatif yaitu membandingkan hasil pengujian MCB dengan ELCB. Gambar

dibawah merupakan diagram alir dari penelitian ini, dan tahapan dalam penelitian adalah sebagai berikut:



Gbr. 1 Diagram Alir Penelitian

- Dimulai dengan persiapan. Pada tahapan ini dimulai dari studi literatur, mengidentifikasi keperluan alat dan bahan, dan membuat rangkaian pengujian
- Pengujian kinerja ELCB terhadap tegangan sentuh tidak langsung. Pada tahapan ini dilakukan pengujian kinerja MCB bila terjadi arus bocor pada peralatan listrik
- Pengujian kinerja MCB terhadap tegangan sentuh tidak langsung. Pada tahapan ini dilakukan pengujian kinerja MCB bila terjadi arus bocor pada peralatan listrik
- Membandingkan hasil pengujian kinerja MCB dan ELCB terhadap tegangan sentuh tidak langsung. Dari hasil pengujian ELCB dan MCB dibandingkan sensitifitas dan kecepatan kerja kedua proteksi tersebut dalam mengamankan tegangan sentuh tidak langsung
- Menganalisa data hasil pengujian kinerja ELCB dan ELCB terhadap gangguan tegangan sentuh tidak langsung dalam hal sensitifitas dan kecepatan kerjanya
- Diakhiri dengan membuat kesimpulan. Kesimpulan dibuat berdasarkan analisa data hasil pengujian ELCB dan MCB dengan membandingkan kedua proteksi tersebut sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

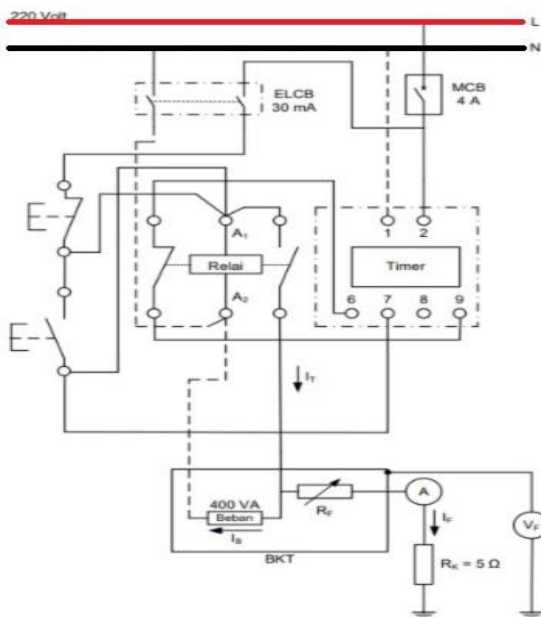
Pengujian atau eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian ELCB dan MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung pada pembumian sistem TT. Tujuan dari pengujian tersebut adalah untuk membandingkan kerja ELCB dan MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung. Dalam melakukan pengujian tersebut menggunakan modul proteksi tegangan rendah yang sudah ada di laboratorium Instalasi Listrik Politeknik negeri Bandung, dan pengujiannya dibagi dua yaitu eksperimen 1 untuk menguji ELCB dan eksperimen 2 untuk menguji MCB sebagai proteksi tegangan sentuh pada peralatan listrik karena adanya arus bocor akibat kerusakan kabel listrik pada peralatan. Cara pengujiannya seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3, kemudian dengan mengatur RF maka akan didapat nilai arus bocor yang diinginkan. Arus bocor tersebut mengalir

ke bumi melalui RK (resistans elektroda pembumian peralatan), besaran arus litrik yang mengalir diukur menggunakan ampere meter. Arus bocor tersebut menyebabkan tegangan sentuh pada BKT, dan besaran tegangan sentuh tersebut diukur menggunakan Voltmeter. Waktu kerja proteksi diukur menggunakan timer.

A. Pengujian Ke I

Dalam Pengujian 1 ini menguji ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung, dan proteksi yang diuji adalah ELCB 30 mA pada sumber tegangan satu fasa 220 Volt dan beban 400 VA. Pada eksperimen ini diterapkan pada pembumian sistem TT dengan nilai resistans pembumian peralatan RK sebesar 5 Ω . Gambar 2 dibawah merupakan rangkaian pengujian yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh data penelitian. MCB 4 A adalah proteksi utama sebagai pelindung rangkaian pengujian bila terjadi hubung singkat dalam rangkaian pengujian. Dalam pengujian pengujian ELCB, beban 400 VA tidak berpengaruh pada kerja ELCB karena yang menjadi obyek dalam pengujian ke 1 ini adalah besarnya arus bocor pada BKT yang diukur menggunakan Ampere meter. Untuk mendapatkan nilai arus bocor yang bervariasi dilakukan dengan mengatur rheostat (RF). Untuk mengukur waktu kerja ELCB digunakan timer yang dirangkai sedemikian rupa sehingga timer tidak mati walaupun perhitungan waktu telah selesai ketika ELCB bekerja (trip) pada saat ada arus bocor yang melebihi ratingnya. Berdasarkan Gambar pengujian dibawah, ELCB bekerja berdasarkan ketidak seimbangan arus yang mengalir pada penghantar fasa dan netral yang terhubung ke beban. Oleh karena itu bila terjadi arus bocor IF maka terjadi ketidak seimbangan arus listrik pada penghantar fasa dan penghantar netral yang terhubung ke beban. Arus bocor ke BKT akan mengalir ke bumi (ground) melalui elektroda pembumian yang disimulasikan dengan resistor RK = 5 Ohm. Besarnya tegangan sentuh VF tergantung dari besarnya arus bocor dan nilai resistans pembumian RK.

Urutan kerja rangkain pada Gambar Pengujian dibawah ELCB 30 mA dan MCB 4 A pada posisi menutup, kemudian tekan tombol NO (normally open) dan timer akan mulai menghitung waktu. Bila arus bocor telah mencapai 30 mA atau lebih maka ELCB akan bekerja (trip) dan timer akan berhenti menghitung waktu, dan pada LCD menunjukkan waktu kerja ELCB. Untuk mereset angka yang tertera pada LCD timer harus mematikan MCB 4 A. Untuk mendapatkan data berikutnya harus mengulangi langkah di atas pada nilai arus bocor yang berbeda. Untuk mengatur besaran arus bocor dengan cara mengatur rheostat RF sehingga didapat nilai arus bocor yang diinginkan. Arus bocor tersebut mneyebabkan tegangan sentuh pada BKT sehingga bila manusia menyentuh bagian tersebut maka akan terkena tegangan sentuh tidak langsung. Nilai tegangan sentuh yang terjadi pada BKT adalah perkalian arus bocor dengan resistans pembumian peralatan RK.



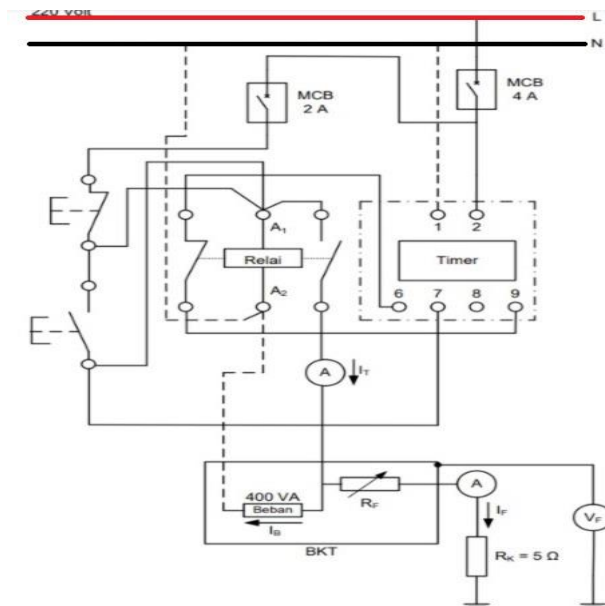
Gbr 2 Rangkaian Pengujian ELCB pada tegangan sentuh tidak langsung

B. Pengujian Ke II

Seperti pada pengujian ke 1, pada pengujian ke 2 juga menggunakan alat praktikum yang menggunakan pengaman MCB 2 A tipe C (MCB C2) sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung. MCB tipe C bisa mengamankan arus hubung singkat 5 kali sampai 10 kali arus nominalnya, pada kondisi tersebut pengaman pada MCB yang bekerja adalah elektromagnetik dengan waktu kerja yang cepat dalam nilai tertentu. Pada MCB C2 akan merasakan adanya arus hubung singkat ketika ada arus yang mengalir sebesar $2 A \times 5 = 10 A$ sampai dengan $2 A \times 10 = 20 A$. Untuk mendapatkan data arus bocor yang bervariasi digunakan rheostat RF. Beban 400 VA menggunakan rheostat pada posisi 121 Ohm sehingga arus yang mengalir ke beban nilainya tetap. Resistans pembumian peralatan RK sebesar 5 Ohm. Urutan kerja rangkaian dibawah, MCB 2A dan MCB 4 A pada posisi ON (menutup), kemudian tekan tombol NO (normally Open) dan timer akan mulai menghitung waktu. Bila arus IT yang melalui MCB 2 A telah melebihi 2 A maka MCB tersebut akan bekerja (trip) dan timer akan berhenti menghitung waktu, pada LCD timer menunjukkan waktu kerja MCB.

Untuk mereset angka yang tertera pada LCD timer harus mematikan MCB 4 A. Untuk mendapatkan data berikutnya harus mengulangi langkah di atas pada nilai arus bocor yang berbeda (bervariasi). Untuk mengatur besaran arus bocor dengan cara mengatur rheostat RF (sebagai pengganti resistans gangguan) sehingga didapat nilai arus bocor yang diinginkan. Yang perlu diperhatikan pada pengujian ke 1 maupun eksperimen 2 adalah arus nominal rheostat yang digunakan, jangan sampai arus yang mengalir melalui rheostat tersebut melebihi arus nominalnya. Bila arus listrik yang kita inginkan dalam pengujian melebihi arus nominalnya maka harus menggunakan beberapa rheostat yang dihubung paralel. Pada Gambar 1 maupun Gambar 2, resistor yang dilalui arus listrik yang melebihi arus nominal rheostat adalah RF (resistans gangguan) dan RK (resistans elektroda pembumian peralatan), karena kedua resistor tersebut terhubung secara serial. Perlu diperhatikan juga rangkaian kontrol untuk timer, bila tombol

NO belum ditekan tetapi timer sudah menghitung waktu berarti ada kesalahan dalam rangkaian kontrol tersebut. Timer akan mulai menghitung waktu Ketika tombol NO ditekan, kemudian Ketika komponen proteksi yang diuji membuka (trip) maka timer berhenti menghitung waktu dan angka yang terlihat di LCD timer adalah waktu kerja komponen proteksi yang diuji. Pada Gambar 3 dibawah menunjukkan MCB yang diuji sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung adalah MCB 2 A tipe C. Pada keadaan normal (tidak terjadi arus bocor) maka arus IT yang melalui MCB tersebut adalah arus beban 400 VA dengan arus sebesar 1,8 A. Ketika terjadi arus bocor pada BKT maka arus IT yang melalui MCB 2 A adalah arus beban 1,8 A ditambah arus bocor. Arus bocor mengalir ke BKT kemudian ke bumi (ground) melalui elektroda pembumian peralatan dengan nilai resistans 5 Ohm. Perbedaan antara ELCB dan MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung adalah pada prinsip kerja kedua proteksi tersebut. Prinsip kerja ELCB berdasarkan keseimbangan arus yang mengalir pada penghantar fasa dan netral yang melalui ELCB, sehingga bila terjadi arus bocor maka arus yang mengalir pada kedua penghantar tersebut menjadi tidak seimbang sehingga ELCB bekerja. Sedangkan prinsip kerja MCB berdasarkan besarnya arus yang melalui MCB, bila arus yang mengalir melalui MCB telah melebihi rating nominalnya maka MCB bekerja membuka rangkaian. Bila arus listrik yang mengalir melalui MCB C2 sudah melampaui rating nominalnya tetapi masih di bawah $5 \times I_n$ maka pengaman yang bekerja adalah bimetal sebagai pengaman bebang lebih, tetapi bila arus listrik yang melalui MCB C2 sudah mencapai $5 \times I_n$ sampai dengan $10 \times I_n$ maka yang bekerja adalah pengaman elektromagnetik sebagai pengaman hubung singkat.



Gbr 3 Rangkaian Rangkaian Pengujian MCB pada tegangan sentuh tidak langsung

C. Analisa

Hasil pengujian ke 1 dan ke 2 masing-masing dimasukkan dalam Tabel. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah arus yang melalui proteksi yang diuji (IT), arus bocor (IF), Tegangan sentuh tidak langsung (VF), dan waktu kerja proteksi yang diuji. Karena arus beban IB nilainya tetap maka

hanya diukur sekali saja kemudian alat ukurnya dilepas lagi dan digunakan

TABEL I.
DATA PENGUJIAN ELCB

IF	IB	IT	Tegangan sentuh tidak langsung Vf (Volt)	ELCB 30 mA	
				Trip/tidak trip	Waktu Trip (detik)
0,01	1,8	1,81	0,07	Tidak trip	-
0,02	1,8	1,82	0,12	Tidak trip	-
0,03	1,8	1,83	0,17	Trip	0,065
0,04	1,8	1,84	0,22	Trip	0,065
0,05	1,8	1,85	0,27	Trip	0,065
0,10	1,8	1,91	0,52	Trip	0,065
0,20	1,8	2,01	1,02	Trip	0,065
1,20	1,8	3,01	6,02	Trip	0,065
2,20	1,8	4,04	11,2	Trip	0,065
3,20	1,8	5,05	16,2	Trip	0,065
4,20	1,8	6,02	21,1	Trip	0,065
6,20	1,8	8,01	31,3	Trip	0,065
8,20	1,8	10,1	41,1	Trip	0,065
10,2	1,8	12,07	51,2	Trip	0,065
14,2	1,8	16,04	71,0	Trip	0,065
18,2	1,8	20,01	91,1	Trip	0,065

Untuk mengukur IT atau IF. Hal ini dilakukan untuk efisiensi penggunaan alat ukur. Pada Tabel diatas, ketika terjadi arus bocor sebesar 0,02 A atau 20 mA, ELCB tidak bekerja dan tegangan sentuh yang terjadi pada BKT sebesar 0,1 Volt. Pada nilai tegangan sentuh tersebut masih aman bagi manusia karena bila manusia menyentuh BKT dengan resistansi tubuh manusia sebesar 100 Ohm maka arus yang mengalir dalam tubuh manusia sebesar 0,1 mA dan berdasarkan tabel diatas dampak terhadap tubuh manusia belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apa-apa. ELCB bekerja (trip) ketika terjadi arus bocor sebesar 0,03 A atau 30 mA dan tegangan sentuh yang terjadi pada BKT sebesar 0,17 Volt dengan waktu kerja 0,065 detik. Setelah arus bocor melampaui 30 mA, waktu kerja ELCB tetap sama. Proteksi ELCB mempunyai karakteristik instantaneous yaitu waktu kerjanya cepat dengan besaran waktu tertentu. Hal ini sesuai dengan PUIL 2011 yang menyatakan untuk proteksi keselamatan manusia maka rating ELCB sebesar 30 mA dan proteksi tersebut harus bekerja secara cepat tanpa waktu tunda (instantaneous).

TABEL II.
DATA PENGUJIAN MCB 2 A

IF	IB	IT	Tegangan sentuh tidak langsung Vf (Volt)	MCB 2 A	
				Trip/tidak trip	Waktu Trip (detik)
0,01	1,8	1,81	0,07	Tidak trip	-
0,02	1,8	1,82	0,12	Tidak trip	-
0,03	1,8	1,83	0,17	Tidak trip	-
0,04	1,8	1,84	0,22	Tidak trip	-
0,05	1,8	1,85	0,27	Tidak trip	-
0,10	1,8	1,91	0,52	Tidak trip	-
0,20	1,8	2,01	1,02	Tidak trip	-

1,20	1,8	3,01	6,02	Trip	39
2,20	1,8	4,04	11,2	Trip	17
3,20	1,8	5,05	16,2	Trip	7
4,20	1,8	6,02	21,1	Trip	3,6
6,20	1,8	8,01	31,3	Trip	3
8,20	1,8	10,1	41,1	Trip	1,78
10,2	1,8	12,07	51,2	Trip	1,35
14,2	1,8	16,04	71,0	Trip	1,15
18,2	1,8	20,01	91,1	Trip	1,15

Dampak terhadap tubuh manusia baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan kejang. Nilai $x I_n$ pada Table 2 adalah faktor pengali arus total (IT) yang melalui MCB saat terjadi gangguan arus bocor. Bila nilai $x I_n$ lebih 1 x maka MCB akan bekerja, misalnya Ketika terjadi arus bocor sebesar 1,20 A dan arus beban 1,8 A maka arus total IT sebesar 2,16 A hingga 3 A, dengan waktu kerja MCB 39 detik. MCB 2 A mendeteksi adanya beban lebih Ketika ada arus yang mengalir mulai dari 3 A sampai dengan 4 A dengan waktu kerja berbanding terbalik terhadap arus beban lebih, yaitu semakin besar arus beban lebih maka semakin cepat waktu kerjanya. Ketika terjadi arus bocor dan arus yang mengalir melalui MCB mencapai 10 A sampai dengan 20 A maka MCB bekerja dengan waktu yang sama yaitu 1,15 detik. Hal ini dikarenakan prinsip kerja ELCB berdasarkan pada besarnya arus bocor sedangkan prinsip kerja MCB berdasarkan arus total yang melalui MCB tersebut yaitu arus beban dan arus bocor. Waktu kerja ELCB juga lebih cepat dibandingkan MCB bila terjadi gangguan arus bocor. Waktu kerja ELCB 0,065 detik bila terjadi gangguan, sedangkan waktu tercepat MCB adalah 1,15 detik.

IV.KESIMPULAN

Dari hasil Pengujian Ke 1 dan Pengujian Ke 2 pada pengujian ELCB dan MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung dapat disimpulkan bahwa ELCB lebih sensitif dan waktu kerjanya lebih cepat dibandingkan dengan MCB bila digunakan sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung. MCB pada dasarnya digunakan sebagai proteksi arus lebih, tetapi berdasarkan data hasil pengujian ke 2 pada table 2, MCB bisa digunakan sebagai proteksi arus bocor ketika arus yang melalui MCB melebihi rating nominalnya. Dengan membandingkan kerja kedua alat proteksi yaitu ELCB dan MCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung maka ELCB lebih bisa diandalkan karena lebih sensitif dibandingkan dengan MCB. MCB bisa digunakan sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung tetapi kinerjanya tergantung pada dua hal yaitu arus beban terpasang dan besarnya arus bocor, sedangkan ELCB kinerjanya hanya tergantung pada arus bocor. Rencana penelitian selanjutnya terkait topik yang dikaji dalam penelitian ini adalah analisis proteksi tegangan sentuh langsung dan tidak langsung menggunakan ELCB pada pembumian sistem TT

V.DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI-0225:2011, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011, Jakarta: BSN, 2011.
- [2] A. Fathudin, "Evaluasi Sistem Penangkal Petir di Gedung Instalasi Radiometalurgi," Prosiding Seminar EBN, 2017, pp. 247-258.

- [3] Sunarto, "Perbaikan Resistansi Elektroda Pembumian Instalasi Listrik Pemanfaat untuk memperkecil Bahaya Sengatan Listrik," *Jurnal Poli Teknologi*, vol. 19, no. 3, pp. 241-251, 2020.
- [4] D. E. Putra, "Pengukuran Grounding SDP Panel Distribusi Instalasi Rekam Medis RSUP Dr. Mohammad Hoesin Palembang," *Jurnal Ampere*, vol. 3, no. 1, pp. 128-139, 2018.
- [5] D. Setiawan, "Analisis Pengaruh Penambahan Garam dan Arang Sebagai Soil Treatment dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektrode," *Jurnal Transient*, vol. 7, no. 2, pp. 416-423, 2018.
- [6] Y. Martin, "Pengaruh Pencampuran Gypsum Sebagai Zat Aditif Untuk Penurunan Nilai Resistansi Grounding Pada Elektroda Batang Tunggal," *Seminar Nasional Teknik Elektro Batu Malang*, 2018, pp. 98-102.
- [7] F. D. Sukardi, "Prototipe Pengaman Peralatan Instalasi Listrik dan Tegangan Sentuh Bagi Manusia dengan ELCB (Earth Leakege Circuit Breaker)", *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 16, no. 2, pp. 56-62, 2019.
- [8] A. Budiman, "Analisa Tahanan Pembumian Peralatan Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan yang Menggunakan Elektrode Pasak Tunggal Panjang 2 Meter," *Jurnal JPE*, vol. 21, no. 1, pp. 75-80, 2017
- [9] A. Budiman, "Analisa Perbandingan Tahanan Pembumian Peralatan Elektrode Pasak pada Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 152-158, 2017.
- [10] Sunarto, "Rekonfigurasi Elektroda Pembumian Petir di Laboratorium Instalasi Listrik Politeknik Negeri Bandung," *Prosiding Semnastera*, 2020, pp. 16-20.
- [11] R. Diamanis, "Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, pp. 239-250, 2018.
- [12] Sunarto, "Studi perbandingan hasil pengukuran resistansi pembumian menggunakan tiga metode pengukuran yang berbeda," *JITEL*, vol. 1, no. 2, pp. 155-162, 2021.
- [13] Latifah, "Penentuan Tipe Miniature Circuit Breaker 4A Untuk Instalasi Rumah Tinggal Melalui Pengujian Kinerjanya," *Elit Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 43-51, 2021