

Analisis ELCB Sebagai Proteksi Tegangan Sentuh pada Penumaian Sistem TT

Sunarto¹, Yudi Prana Hikmat², Sudrajat³

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

Email: soen@polban.ac.id ¹, yudi.pranahikmat@polban.ac.id ², sudrajat@polban.ac.id³

Received 3 Juni 2022 | Revised 15 Juni 2022 | Accepted 25 Juni 2022

ABSTRAK

Bahaya tegangan sentuh bisa terjadi apabila manusia menyentuh bagian yang bertegangan secara langsung maupun tidak langsung. Sentuhan langsung terjadi apabila manusia menyentuh secara langsung bagian aktif, sedangkan sentuhan tidak langsung bisa terjadi bila manusia menyentuh bagian konduktif terbuka (BKT) dari peralatan yang bertegangan karena adanya arus bocor. Manusia tentunya tidak tahu bahwa bagian aktif maupun BKT dari peralatan tersebut bertegangan dan manusia menyentuh bagian tersebut secara sengaja maupun tidak sengaja. Oleh karena itu perlu adanya proteksi terhadap tegangan sentuh langsung dan tidak langsung. Proteksi yang biasa digunakan pada instalasi listrik adalah ELCB dengan rating arus 30 mA. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa proteksi tegangan sentuh langsung dan tidak langsung menggunakan ELCB pada penumaian sistem TT (Terre-Terre) dimana penumaian titik netral trafo dan penumaian peralatan dipasang secara terpisah. Penelitian ini bisa membuktikan bahwa ELCB bisa digunakan sebagai tegangan sentuh langsung dan tidak langsung dengan waktu kerja instananeous.

Kata kunci: Tegangan sentuh, Terre-terre, BKT, ELCB

ABSTRACT

Dangers of touch voltage can occur if humans touch the live parts directly or indirectly. Direct touch occur when humans touch the active part directly, while indirect touch can occur when humans touch the bare conductive part (BKT) of the equipment with voltage due to leakage current. Humans certainly don't know that the active or BKT of the equipment are live and than humans touch these parts intentionally or unintentionally. Therefore, there is a need for protection against direct and indirect touch voltages. The armature commonly used in electrical installations is an ELCB with a current rating of 30 mA. This study aims to analyze direct and indirect touch voltage protection using ELCB on TT (Terre-Terre) sistem earthing where the transformer neutral point grounding and equipment grounding are Installed separately. This research can prove that ELCB can utilized as direct and indirect touch voltage with instantaneous working time.

Keywords: Touch voltage, Terre-Terre, BKT, ELCB

1. PENDAHULUAN

Instalasi listrik merupakan susunan perlengkapan-perengkapan listrik yang saling berhubungan serta terkoordinasi untuk memenuhi sejumlah tujuan tertentu. Instalasi listrik terdiri atas sistem penerangan, sistem pengoperasian, sistem pengkabelan, sistem pembumian dan sistem lain yang yang dibutuhkan. Instalasi listrik dapat berupa sebuah instalasi yang sederhana yang hanya terdiri atas satu titik dan bisa juga berupa satu instalasi listrik yang rumit dan kompleks [1] [2]. Sistem pembumian merupakan bagian dari sebuah instalasi listrik yang dirancang sedemikian rupa untuk menghubungkan bagian konduktif terbuka (BKT) dari peralatan-peralatan listrik yang dipakai dengan bumi sebagai referensi tegangan nol, pembuatan sistem pembumian ini bertujuan untuk melindungi manusia dari bahaya arus kejut listrik apabila menyentuh bagian konduktif terbuka yang bertegangan. Bagian konduktif ini bisa bertegangan apabila instalasi listrik mengalami kegagalan isolasi sehingga kawat fasa terhubung dengan bagian konduktif tertentu [3] [4].

Sistem pembumian memegang peranan yang sangat penting dalam instalasi listrik. Sistem pembumian pada instalasi listrik ada dua macam yaitu pembumian sistem dan pembumian peralatan. Pembumian sisten adalah pembumian titik netral trafo distribusi yang dihubung bintang, sedangkan pembumian peralatan adalah pembumian bagian peralatan listrik (BKT) yang pada keadaan normal tidak dialiri arus, tetapi bila terjadi gangguan atau kegagalan isolasi maka bagian tersebut dialiri arus. Sistem pembumian pada instalasi listrik bertujuan untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan atau kegagalan isolasi [5].

Sistem pembumian ada tiga macam yaitu sistem TT, sistem IT, dan sistem TN (TNS, TNC, TNC-S). Pembumian sistem TT banyak diterapkan di instalasi listrik industri dimana pada industri tersebut banyak pekerja yang harus dijamin keamanannya terhadap bahaya listrik.

A. Pembumian sistem TN (*Terre Neutral*)

Pembumian sistem TN terdiri tiga macam yaitu : a) pembumian sistem TN-S (*Terre Neutral-Separated*), pada sistem ini saluran tanah dan netral terpisah, Jadi semua sistem mempunyai dua saluran N (neutral) dan PE (*Protective Earth*) secara tersendiri (*separated*). b) pembumian sistem TN-C (*Terre Neutral - Combined*), pada sistem ini saluran tanah dan netral disatukan, saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN (*Protective Earth Neutral*) yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Di sini seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang sama. pembumian sistem TN – C - S (*Terre Neutral – Combined - Separated*), pada sistem ini saluran Tanah dan Nc) etral disatukan dan dipisah, saluran netral dan saluran pengaman dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain.

B. Pembumian Sistem TT (*Terre Terre*)

Terre Terre yang berarti tanah tanah maksudnya adalah antara pembumian sistem dan pembumian peralatan dipasang secara terpisah. Pada sistem ini titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif terbuka (BKT) disambungkan ke elektroda pembumian yang berbeda (berdiri sendiri).

C. Pembumian Sistem IT (*Impedance Terre*)

Impedance Terre artinya saluran tanah atau pembumian melalui impedans. Pada sistem ini rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedans, sedangkan bagian konduktif terbuka (BKT) instalasi dihubung langsung ke elektroda pentanahan/pembumian secara terpisah. Sistem ini juga disebut sistem pentanahan impedans [6].

Sistem pembumian digambarkan sebagai hubungan antara suatu peralatan atau sirkit listrik dengan bumi. Bagian-bagian yang dihubungkan dengan bumi adalah titik netral dari transformator atau titik netral dari generator, hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang

menyangkut gangguan hubung tanah. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya [6] [7] [8]. Semua bagian instalasi listrik yang terbuat dari logam yang pada keadaan normal tidak bertegangan tetapi bila terjadi arus bocor akibat kegagalan isolasi menjadi bertegangan, harus dihubungkan ke elektroda pembumian untuk meminimalisir bahaya bagi manusia akibat tegangan sentuh [9] [10] [11]. 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 peralatan yang diijinkan maksimum 5 Ohm, bila nilai resistans elektroda pembumian terpasang belum memenuhi syarat tersebut maka perlu dilakukan perbaikan elektroda pembumian sampai didapat nilai resistans pembumian yang memenuhi syarat [12] [13]. Tegangan sentuh langsung maupun tidak langsung membahayakan organ vital tubuh manusia yaitu jantung, pusat saraf, dan pernapasan. Besarnya resiko yang ditimbulkan dipengaruhi oleh besarnya arus bocor. Oleh karena itu diperlukan proteksi tambahan untuk memberikan perlindungan yang maksimal terhadap bahaya tegangan sentuh terutama untuk instalasi listrik yaitu menggunakan ELCB (*Earth Leakage Circuit Breaker*) [14] [15]. Sistem pembumian dan ELCB merupakan pengamanan manusia terhadap tegangan sentuh, baik sentuhan secara langsung maupun sentuhan tidak langsung. Sentuhan secara langsung yaitu apabila kita menyentuh penghantar aktif secara langsung, sedangkan sentuhan tidak langsung adalah bila kita menyentuh bagian dari peralatan yaitu BKT yang menjadi bertegangan karena adanya arus bocor akibat kegagalan isolasi [16]. Tujuan dari sistem pembumian dan pemasangan ELCB pada instalasi listrik adalah untuk mencegah terjadinya tegangan sentuh yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu, untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya, dan mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik [17].

Tegangan sentuh tidak langsung terjadi karena adanya arus bocor pada suatu system sehingga bagian peralatan (BKT) yang seharusnya tidak ada tegangan menjadi bertegangan. Batas aman tegangan sentuh bagi manusia sebesar 50 V untuk sistem AC dan 120 V untuk sistem DC [18]. Proses terjadinya sentuhan listrik ini dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Tegangan sentuh langsung merupakan suatu kejadian dimana secara langsung menyentuh bagaian konduktor yang aktif. Sedangkan tegangan sentuh tidak langsung terjadi apabila manusia memegang bagian konduktif terbuka (BKT) yang bertegangan akibat kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi pada peralatan instalasi listrik dapat menimbulkan arus bocor. Arus bocor ini dapat menyebabkan tegangan sentuh baik langsung maupun tidak langsung yang membahayakan manusia [19]. Faktor yang menyebabkan keseriusan bahaya listrik terhadap manusia adalah arus dan lama waktu tegangan sentuh. Aliran arus listrik ke tubuh manusia merusak fungsi tubuh manusia yang vital yaitu pernapasan, pusat saraf, dan jantung. Besarnya arus yang mengalir ke tubuh manusia dipengaruhi oleh tahanan tubuh manusia, dan besarnya tegangan sentuh. Semakin lama waktu terjadinya tegangan sentuh maka semakin fatal pula akibat yang dirasakan oleh manusia [20].

Keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan sentuh merupakan faktor yang sangat penting dalam pekerjaan bidang kelistrikan banyak kecelakaan kerja yang disebabkan karena listrik. Oleh karena itu perlu adanya peralatan proteksi yang bisa mengamankan manusia terhadap bahaya tegangan sentuh. Biasanya proteksi yang digunakan pada instalasi listrik adalah ELCB yang bekerja berdasarkan besarnya arus bocor yang mencapai arus nominalnya. Rating arus ELCB yang digunakan sebagai proteksi manusia terhadap bahaya tegangan sentuh adalah 30 mA [21] [22].

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa sistem proteksi tegangan sentuh langsung dan tidak langsung pada pembumian sistem TT menggunakan ELCB. Penelitian yang pernah dilakukan pada umumnya membahas mengenai ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh, tetapi sistem pembumian pada instalasi listriknya tidak dibahas. Berdasarkan PUIL 2011, ELCB tidak boleh dipasang pada instalasi listrik yang menggunakan pembumian sistem TN.

2. METODOLOGI

2.1 Langkah Penelitian

Metode yang digunakan untuk memperoleh data dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Instalasi Listrik Politeknik Negeri Bandung dengan langkah penelitian seperti Gambar 1, dan langkah-langkah penelitiannya sebagai berikut:

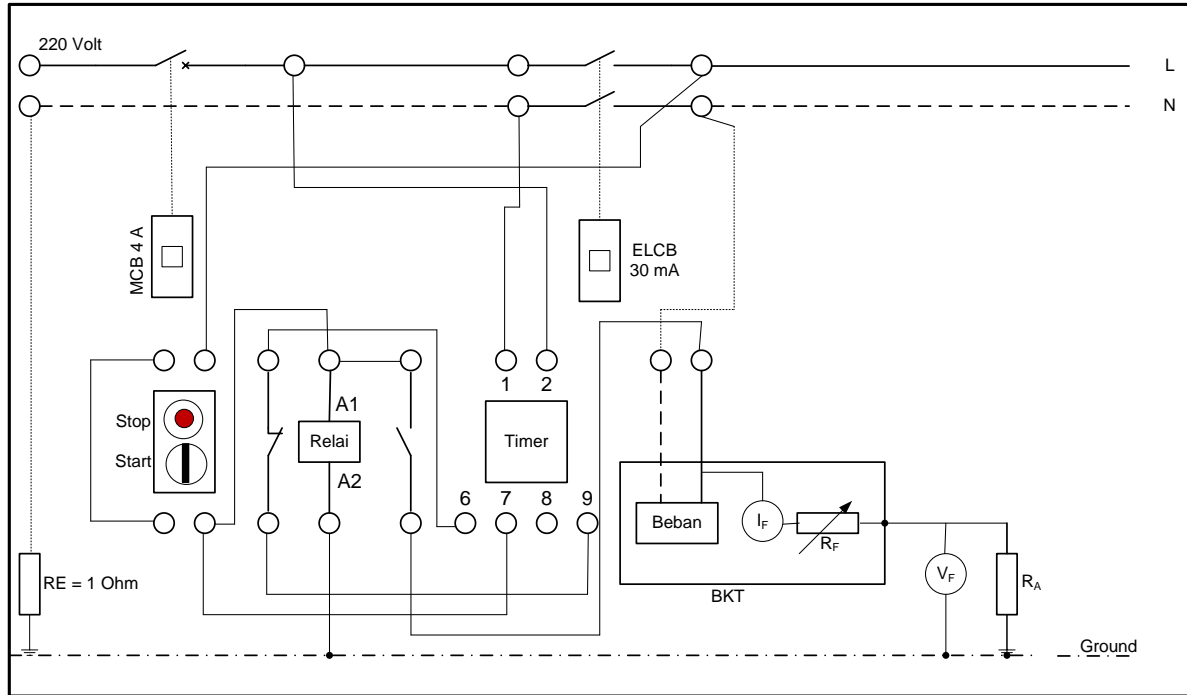
1. Dimulai dengan persiapan, pada tahapan ini dimulai dari studi literatur, mengidentifikasi keperluan alat dan bahan.
2. Membuat rangkaian pengujian ELCB pada alat praktikum yang ada di Laboratorium Instalasi Listrik Politeknik Negeri Bandung.
3. Melakukan pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh, pada tahapan ini dilakukan pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh (tegangan sentuh secara langsung dan tidak langsung) pada pembumian sistem TT dengan nilai resistans pembumian peralatan yang berbeda-beda dan resistans pembumian sistem sebesar 1 Ohm.
4. Menganalisa hasil pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh pada pembumian sistem TT.
5. Membuat kesimpulan berdasarkan analisa data hasil pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh secara langsung maupun tidak langsung pada pembumian sistem TT.



Gambar 1. Langkah penelitian

2.2 Alat Pengujian ELCB

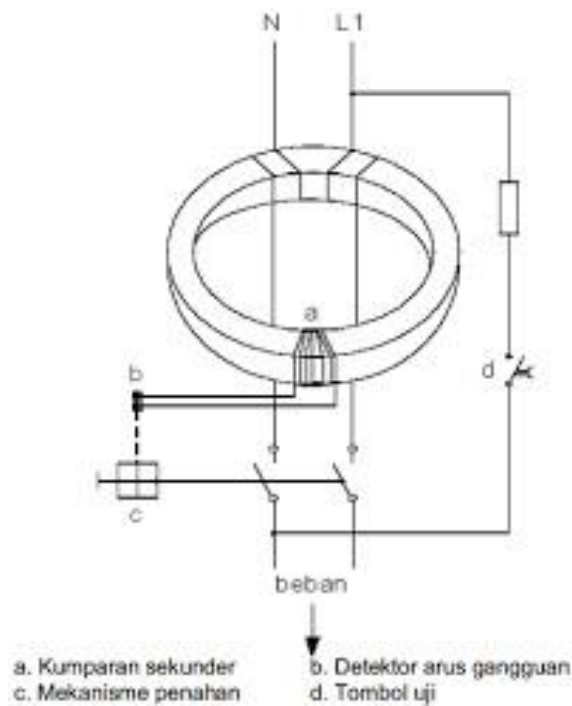
Alat pengujian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan fasilitas yang ada pada Laboratorium Instalasi Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung yang ditunjukkan pada Gambar 2. Komponen yang digunakan pada alat uji tersebut adalah *Miniature Circuit Breaker* (MCB) 4 Ampere sebagai pengaman utama yang berfungsi melindungi seluruh rangkaian bila terjadi arus lebih, *Earth Leakage Circuit Breaker* (ELCB) 30 mA satu fasa merupakan obyek yang diuji sebagai proteksi tegangan sentuh, transformator satu fasa dengan rasio 1:1, *Normally Closed* (NC) yang berfungsi sebagai tombol *stop* untuk mematikan rangkaian pengujian, tombol *Normally Open* (NO) yang berfungsi sebagai tombol *start* untuk mengaktifkan rangkaian pengujian, penghitung waktu (*timer*) H5CX yang berfungsi untuk menghitung waktu kerja ELCB yang ditunjukkan pada *display segment* yang ada pada *timer* tersebut, relai kontaktor yang berfungsi untuk mengaktifkan *timer* dan menghubungkan ELCB beban dengan ELCB, lampu sebagai beban, *rheostat* sebagai resistans gangguan yang berfungsi untuk mengatur arus bocor sesuai dengan nilai yang diharapkan, dan resistor untuk pembumian (pembumian sistem dan pembumian peralatan). Sumber tegangan yang digunakan pada alat uji tersebut adalah tegangan satu fasa dengan tegangan nominal 220 Volt. Sistem Pembumian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem TT, oleh karena itu digunakan dua pembumian yang terpisah antara pembumian sistem (R_E) dan pembumian peralatan (R_A). Pembumian sistem menggunakan elektroda pembumian panel listrik pada Laboratorium Instalasi Listrik, sedangkan pembumian peralatan memanfaatkan elektroda bekas instalasi pengaman petir konvensional yang sudah tidak dipakai. Resistans gangguan (R_F) dihubungkan ke penghantar fasa dan dihubung seri dengan pembumian peralatan (R_A) pada BKT. Untuk menentukan besarnya arus bocor (I_F) yang diinginkan maka harus mengatur *rheostat* (R_F), dan besarnya tegangan sentuh (V_F) pada BKT tergantung pada besarnya arus bocor dan nilai resistans pembumian peralatan (R_A).



Gambar 2. Rangkaian pengujian ELCB

2.3 Cara Kerja ELCB

ELCB merupakan proteksi yang peka terhadap arus bocor dan dapat memutuskan rangkaian pada penghantar fasa dan netralnya secara otomatis dengan waktu kerja tertentu. Di dalam ELCB terdapat transformator arus dengan inti berbentuk cincin dan kumparannya terhubung seri dengan beban yang dilindungi [9].



Gambar 3. Prinsip kerja ELCB satu fasa [9] [22]

Cara kerja ELCB satu fasa ditunjukkan pada Gambar 3, bila tidak terjadi arus bocor ke tanah atau ke tubuh manusia maka jumlah arus yang mengalir pada penghantar fasa dan netral sama dengan nol dan pada trafo arus yang ada dalam ELCB tidak mengalami induksi elektromagnetik. Ketika terjadi arus bocor maka jumlah resultan arus fasa dan arus netral tidak sama dengan nol dan transformator arus akan timbul induksi elektromagnetik. Bila arus bocor mencapai nilai tertentu maka relai pada ELCB akan bekerja melepaskan kontak-kontaknya sehingga aliran daya ke beban terputus. Karena ELCB bekerja sangat cepat (seketika) dengan waktu tertentu maka manusia bisa terhindar dari bahaya tegangan sentuh. Pada ELCB dilengkapi dengan tombol uji yang berfungsi untuk mengetahui apakah ELCB tersebut bekerja atau tidak. Tombol uji tersebut akan berfungsi bila sumber tegangan telah masuk ke ELCB, bila dalam kondisi baik maka akan bekerja ketika tombol uji tersebut ditekan dan kontak-kontaknya membuka. Tombol uji hanya untuk mengetahui bahwa ELCB bisa bekerja atau tidak, tetapi tidak bisa mengetahui sensitifitas kerja ELCB [9] [21] [22].

2.3. Batasan Arus dan Pengaruhnya bagi Manusia

Arus dan pengaruh terhadap tubuh manusia sangat terkait dengan besarnya tegangan sentuh karena arus yang mengalir melalui tubuh manusia tergantung dari besarnya tegangan sentuh. Besarnya arus yang masih aman bagi manusia adalah 0,9 mA. Pada nilai arus tersebut tidak menimbulkan reaksi apa-apa bagi manusia oleh karena itu nilai arus tersebut dijadikan patokan dalam pengujian sarung tangan dan sepatu pengaman terhadap listrik, yaitu arus bocor yang diijinkan dalam pengujian harus lebih kecil dari 0,9 mA [22] [23].

Tabel 1. Batasan arus dan pengaruhnya bagi manusia [23]

Besar Arus Ke Tubuh Manusia	Pengaruh Bagi Tubuh Manusia
0,0-0,9 mA	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apa-apa
0,9-1,2 mA	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang,
1,2-1,6 mA	kontraksi atau kehilangan kontrol
1,6-6,0 mA	Mulai terasa seakan-akan ada yang merayap di dalam tangan
6,0-8,0 mA	Tangan sampai ke siku mulai merasa kesemutan
8,0-13 mA	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan semakin bertambah.
13-15 mA	Rasa sakit tak tertahankan, namun masih dapat melepaskan penghantar.
15-20 mA	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar.
20-50 mA	Dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh manusia.
50-100 mA	Batas arus yang dapat menyebabkan kematian

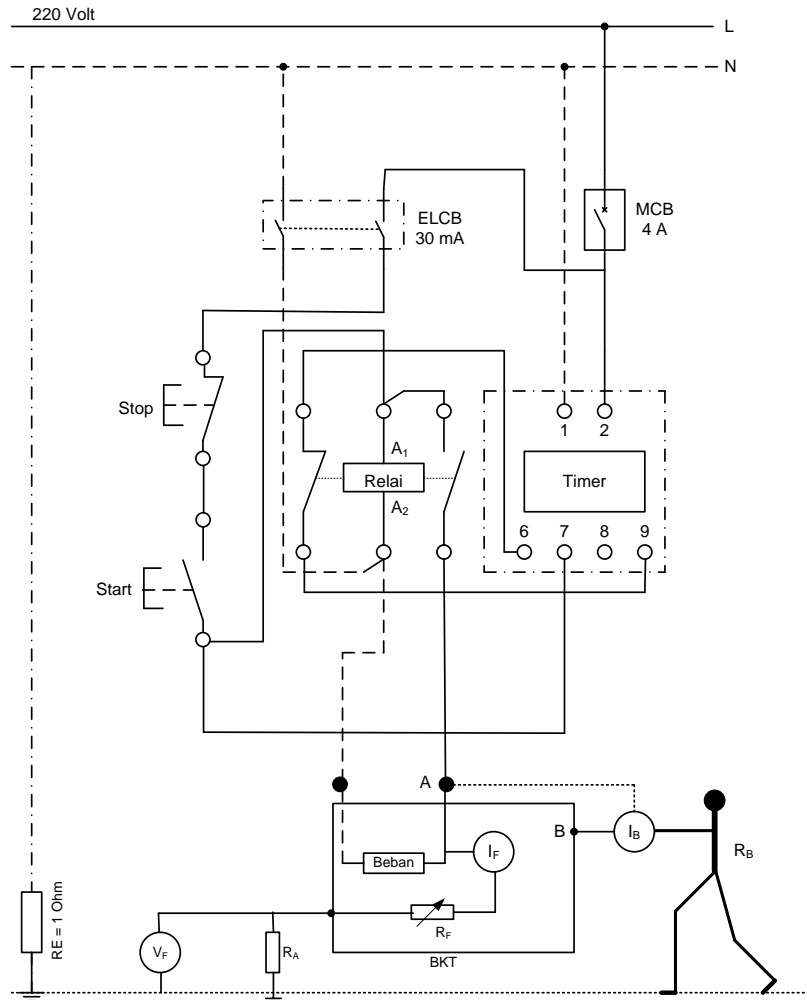
2.4. Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia berkisar di antara 500 Ohm sampai 100.000 Ohm tergantung dari tegangan, keadaan kulit, dan tempat yang mengadakan hubungan (kontak) dan jalannya arus dalam tubuh manusia. Berkaitan dengan tempat, berdasarkan PUIL 2011 besarnya resistansi isolasi lantai untuk tegangan kerja sampai dengan 500 Volt minimal 50.000 Ohm, sedangkan untuk tegangan kerja lebih dari 500 Volt minimal 100.000 Ohm. Tahanan tubuh manusia tanpa alat pelindung diri (APD) bisa diambil 500 Ohm, 1000 Ohm, dan 1500 Ohm. [22] [23]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Rangkaian Pengujian Tegangan Sentuh

Untuk memperoleh data dalam penelitian ini menggunakan fasilitas yang ada di Laboratorium Instalasi Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung. Rangkaian pengujian tegangan sentuh pada pembumian sistem TT dengan proteksi tegangan sentuh menggunakan ELCB 30 mA satu fasa ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pengujian tegangan sentuh pada pembumian sistem TT

Rangkaian pengujian pada Gambar 4 adalah untuk menguji ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh langsung dan tegangan sentuh tidak langsung. Tegangan sentuh langsung bila manusia menyentuh bagian aktif di titik A, sedangkan tegangan sentuh tidak langsung bila manusia menyentuh BKT yang bertegangan akibat adanya arus bocor (titik B). Untuk menentukan besarnya arus bocor yang diinginkan pada pengujian tegangan sentuh tidak langsung dilakukan dengan mengatur *Rheostat* (R_F). Besarnya tegangan sentuh V_F pada BKT dibatasi oleh nilai resistans pembumian peralatan R_A . Cara kerja rangkaian pengujian pada Gambar 4, kontak MCB 4 A dan ELCB 30 mA dalam keadaan tertutup, kemudian tombol *start* ditekan maka relai kontaktor bekerja dan mengaktifkan *timer* serta menghubungkan ELCB dengan beban. *Timer* mulai menghitung waktu dan ketika arus bocor mencapai nilai tertentu maka ELCB *trip* dan waktu kerja ditunjukkan di *Display Segment* pada *timer*.

3.2. ELCB sebagai Proteksi Tegangan Sentuh Langsung

Rangkaian pengujian tegangan sentuh pada Gambar 4, tegangan sentuh langsung terjadi apabila manusia menyentuh titik A yaitu bagian aktif (penghantar fasa). Besarnya arus yang mengalir ke tubuh manusia tergantung pada besarnya tegangan, resistans tubuh manusia (tanpa APD atau menggunakan APD), dan tempat. Kondisi yang diuji dalam pengujian tegangan sentuh langsung adalah ketika manusia tidak menggunakan APD pada tempat kerja tanah/lantai tidak berisolasi, manusia tanpa APD tetapi pada tempat kerja lantai berisolasi, manusia menggunakan APD pada tempat kerja tanah/lantai tidak berisolasi.

Tabel 2. Data pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh langsung

Resistansi Tubuh Manusia (R_B)	Arus Ke Tubuh Manusia (I_a)	Reaksi ELCB (Trip/Tidak Trip)	Waktu Kerja ELCB (Dt)
500 Ohm (tanpa APD)	439	Trip	0,02
1000 Ohm (tanpa APD)	220	Trip	0,02
1500 Ohm (tanpa APD)	146	Trip	0,02
50.000 Ohm (tanpa APD tetapi lantai berisolasi)	4,4	Tidak Trip	-
100.000 Ohm (Pakai APD)	2,2	Tidak Trip	-

Pada Tabel 2, ketika manusia tidak menggunakan APD dan menyentuh bagian aktif secara langsung maka ELCB bekerja dengan waktu kerja 0,02 detik. Bila manusia tidak menggunakan APD tetapi bekerja di atas lantai berisolasi maka ketika manusia menyentuh bagian aktif ELCB tidak bekerja dan arus yang mengalir ke tubuh manusia sebesar 4,4 mA. Berdasarkan Tabel 1 dampaknya mulai dirasakan pada tangan tetapi belum ada dampak yang serius (masih aman). Bila manusia bekerja menggunakan APD dan menyentuh bagian aktif maka ELCB tidak bekerja dan arus bocor yang mengalir ke tubuh manusia sebesar 2,2 mA dan dampaknya masih aman bagi manusia (mulai terasa di tangan).

3.3. ELCB sebagai Proteksi Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Tegangan sentuh tidak langsung pada Gambar 4 terjadi apabila manusia menyentuh BKT (titik B) yang betegangan akibat adanya arus bocor. Besarnya tegangan sentuh pada BKT tergantung pada besarnya arus bocor dan nilai resistans pembumian peralatan pada BKT tersebut. Nilai resistans pembumian peralatan (R_A) yang diijinkan maksimum sebesar 5 Ohm. Dalam penelitian ini akan diuji dalam tiga kondisi, yaitu pada pembumian peralatan sebesar 1 Ohm, 5 Ohm, dan 10 Ohm dan resistans tubuh manusia digunakan 1000 Ohm. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Table 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Data pengujian tegangan sentuh tidak langsung dengan $R_A = 1$ Ohm

Arus bocor (mA)	Tegangan sentuh (V)	Arus ke tubuh manusia (mA)	Reaksi ELCB (Trip/Tidak trip)	Waktu Kerja ELCB (dt)
2.000	2	-	Trip	0,02
1.500	1,5	-	Trip	0,02
1.000	1	-	Trip	0,02
500	0,5	-	Trip	0,02
400	0,4	-	Trip	0,02
300	0,3	-	Trip	0,02
200	0,2	-	Trip	0,02
100	0,1	-	Trip	0,02
50	0,05	-	Trip	0,02
25	0,025	-	Trip	0,02
21	0,021	-	Trip	0,02
10	0,01	0,01	Tidak Trip	-
6	0,006	0,006	Tidak Trip	-
4	0,004	0,004	Tidak Trip	-

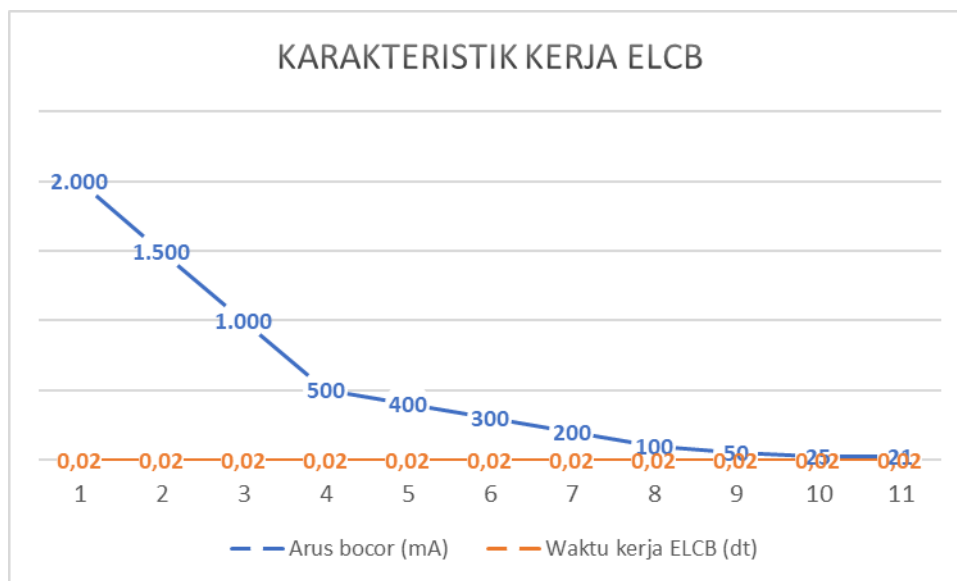
Tabel 4. Data pengujian tegangan sentuh tidak langsung dengan $R_A = 5$ Ohm

Arus bocor (mA)	Tegangan sentuh (V)	Arus ke Tubuh manusia (mA)	Reaksi ELCB (Trip/Tidak trip)	Waktu Kerja ELCB (dt)
2.000	10	-	Trip	0,02
1.500	7,5	-	Trip	0,02
1.000	5	-	Trip	0,02
500	2,5	-	Trip	0,02
400	2	-	Trip	0,02
300	1,5	-	Trip	0,02
200	1	-	Trip	0,02
100	0,5	-	Trip	0,02
50	0,25	-	Trip	0,02
25	0,12	-	Trip	0,02
21	0,10	-	Trip	0,02
10	0,05	0,01	Tidak Trip	-
6	0,03	0,006	Tidak Trip	-
4	0,02	0,004	Tidak Trip	-

Tabel 5. Data pengujian tegangan sentuh tidak langsung dengan $R_A = 10$ Ohm

Arus bocor (mA)	Tegangan sentuh (V)	Arus ke Tubuh manusia (mA)	Reaksi ELCB (Trip/Tidak trip)	Waktu Kerja ELCB (dt)
2.000	20	-	Trip	0,02
1.500	15	-	Trip	0,02
1.000	10	-	Trip	0,02
500	5	-	Trip	0,02
400	4	-	Trip	0,02
300	3	-	Trip	0,02
200	2	-	Trip	0,02
100	1	-	Trip	0,02
50	0,5	-	Trip	0,02
25	0,25	-	Trip	0,02
21	0,2	-	Trip	0,02
10	0,1	0,1	Tidak Trip	-
6	0,06	0,06	Tidak Trip	-
4	0,04	0,04	Tidak Trip	-

Dari data hasil pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5, semakin besar nilai resistans pembumian peralatan maka semakin besar tegangan sentuh yang terjadi pada BKT. Pada Tabel 5 dengan nilai resistans pembumian sebesar 10 Ohm (di atas standard) ketika terjadi arus bocor sebesar 10 mA, ELCB tidak trip dan tegangan sentuh yang terjadi pada BKT sebesar 0,1 Volt. Bila manusia menyentuh BKT tersebut maka arus yang mengalir ke tubuh manusia sebesar 0,1 mA dan berdasarkan Tabel 1 masih aman bagi manusia (belum dirasakan pengaruhnya). ELCB mulai bekerja ketika ada arus bocor sebesar 70 % dari rating arus ELCB dan waktu kerjanya seketika (*instantaneous*) dengan waktu 0,02 detik. Pada Gambar 5 waktu kerja ELCB tetap (tertentu) dan tidak dipengaruhi besarnya arus bocor, berapapun besarnya arus bocor ketika telah mencapai 70 % dari arus ratingnya maka ELCB bekerja dengan waktu kerja 0,02 detik.



Gambar 5. Karakteristik kerja ELCB

4. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh langsung dan tidak langsung pada pembumian sistem TT membuktikan bahwa ELCB efektif sebagai proteksi tegangan sentuh. Pada pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh langsung, ELCB bekerja bila manusia yang tidak memakai APD menyentuh bagian aktif maka ELCB bekerja sehingga manusia terhindar dari dampak tegangan sentuh tersebut. Ketika manusia bekerja menggunakan APD atau bekerja di lokasi lantai yang berisolasi maka ELCB tidak bekerja, tetapi arus yang mengalir ke tubuh manusia masih aman. Pada pengujian ELCB sebagai proteksi tegangan sentuh tidak langsung, nilai resistans pembumian peralatan sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan sentuh pada BKT bila terjadi arus bocor, semakin besar nilai resistans pembumian peralatan maka semakin besar juga tegangan sentuh yang terjadi pada BKT. Sebagai proteksi tegangan sentuh, ELCB bekerja cepat (*instantaneous*) ketika besarnya arus bocor mencapai nilai tertentu sehingga manusia bisa terhindar dari bahaya tegangan sentuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung atas dukungan dana pada Penelitian Mandiri dengan Nomor Kontrak: B/114.133/PL1.R7/PG.00.03/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Budiman, (2017). “Analisa Tahanan Pembumian Peralatan Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan Yang Menggunakan Elektrode Pasak Tunggal Panjang 2 Meter,” *J. Penelit. Enj.*, vol. 21, no. 1, pp. 75–80.
- [2] A. Fathudin, S. M. Tua, and H. Gunawan, (2017). “Evaluasi Sistem Penangkal Petir Di Gedung Radiometalurgi,” *J. Hasil-Hasil Penelit. EBN*, vol. 2, no. 1, pp. 247–258.
- [3] A. Arifin and R. L. Sofyan, (2020). “Analisis Pengaruh Elektroda Hubung Parealel Dengan Media Arang Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan,” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 17, no. 2, pp. 13–19.
- [4] D. Pranatali and D. Nugroho, (2022). “Analisa Kelayakan Pentanahan Tower Saluran Udara

- Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV Jelok – Bringin Menggunakan Metode Komparasi,” vol. 8, no. 2, pp. 370–381.
- [5] D. Setiawan, A. Syakur, and A. Nugroho, (2018). “Soil Treatment Dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektroda,” *TRANSIENT, Tek. Elektro, Univ. Diponegoro*, vol. 7, no. 2, pp. 1-8.
- [6] D. G. Koliushko, S. S. Rudenko, G. M. Koliushko, and A. V. Plichko, (2020). “Testers for Measuring the Electrical Characteristics of Grounding Systems by IEEE Standards,” *2020 IEEE KhPI Week Adv. Technol. KhPI Week 2020 - Conf. Proc.*, pp. 216–220.
- [7] D. E. Putra and J. Udi, (2018). “Pengukuran Grounding Siip Panel Distribusi Instalasi Rekam Medis Rsup Dr. Mohammad Hoesin Palembang,” *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, pp. 128-139.
- [8] D. C. Idoniboyeobu, T. K. Bala, and E. Okekem, (2018). “Assessment and Evaluation of Soil Effect on Electrical Earth Resistance : A Case Study of Woji,” *Int. J. Eng. Tech. Res.*, vol. 0869, no. 6, pp. 84–94.
- [9] F. D. Sukardi, A. Zain, and A. Muliawan, (2019). “Prototipe Pengaman Peralatan Instalasi Listrik dan Tegangan Sentuh Bagi Manusia dengan ELCB (Earth Leakege Circuit Breaker),” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 16, no. 2, pp. 56-62.
- [10] IEEE Power and Energy Society, *IEEE Guide for the Application of Shunt Reactor Switching*, vol. 2020.
- [11] Ismujianto, Isdawimah, and N. Nadhiroh, (2019). “Improvement of Electrical Grounding System Using Bentonite,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1364, no. 1, pp. 1-8.
- [12] J. Jamaaluddin and S. Sumarno, (2017). “Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33.
- [13] I. G. N. Janardana, W. A. Wijaya, C. G. I. Partha, and N. Budiastara, (2017). “Analysis Grounding System as Building Equipment Security Udayana University Denpasar,” *J. Electr. Electron. Informatics*, vol. 1, no. 2, pp. 9-12.
- [14] F. Yalindua, B. M. Kilis, and H. Sumual, (2022). “Perancangan Sistem Pentanahan Gedung Pusat Komputer Universitas Negeri Manado,” vol. 2, no. 2, pp. 1–10.
- [15] J. Liu, F. P. Dawalibi, and S. Tee, (2017). “Analysis of Current Density in Soil for Resistivity Measurements and Electrical Grounding Designs,” *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 5, pp. 198-208.
- [16] M. R. Vasavada, V. S. Patel, and J. R. Prajapati, (2020). “Development of Intelligent Automatic Electronic MCB and ELCB Using Fault Diagnosis Technique,” *2020 Int. Conf. Power Electron. IoT Appl. Renew. Energy its Control. PARC 2020*, pp. 346–350.
- [17] R. Diamanis, H. Tumaliang, and F. Lisi, (2018). “Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 239–250.
- [18] Badan Standardisasi Nasional, (2011). “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011),” *Sni 02252011*, vol. 2011, no. Puil, pp. 1–133.
- [19] Sunarto, (2020). “Rekonfigurasi Elektroda Pembumian Petir di Laboratorium Instalasi Listrik Politeknik Negeri Bandung,” pp. 16–20.
- [20] S. Sunarto and T. Trisnawiyana, (2021). “Studi perbandingan hasil pengukuran resistansi pembumian menggunakan tiga metode pengukuran yang berbeda,” *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 1, no. 2, pp. 155–162.
- [21] Sunarto, Y. Santosa, and Supriyanto, (2022). “Analisis Perbandingan Sistem Proteksi Tegangan Sentuh Tidak Langsung Menggunakan ELCB dan MCB,” vol. 7, no. 1, pp. 83–90.
- [22] S. Anwar, (2021). “Sistem Proteksi Tegangan Sentuh Pada Instalasi Listrik Berbasis Earth Leagage Circuit Breaker (Elcb),” *Al Ulum J. Sains Dan Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 112-119.
- [23] S. Sunarto, (2021). “Perbaikan Resistansi Elektroda Pembumian Instalasi Listrik Pemanfaat untuk memperkecil Bahaya Sengatan Listrik,” vol. 19, no. 3, pp. 241-251.