

RANCANG BANGUN MODUL SIMULASI ELCB FASA SATU SEBAGAI PELINDUNG BAGI MANUSIA

Aris Suryadi¹, Agus Sofwan²

¹Teknik Elektro, Politeknik Enjinering Indorama
Kembangkuning, Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat 41101

²Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Nasional
JL. Moch Kahfi II, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640
Email: aris.suryadi@pei.ac.id, asofwan8@gmail.com

Abstrak -- Tegangan yang terjadi selama mengalirnya arus gangguan tanah menimbulkan tegangan sentuh. Nilai tegangan diatas 50 v dan nilai arus bocor diatas 30 mA sangat berbahaya bagi manusia. Aplikasi Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) pada suatu sistem instalasi listrik fasa satu merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk melindungi manusia dari bahaya yang diakibatkan arus bocor. Prinsip kerja ELCB adalah dengan mendeteksi adanya arus bocor, dimana arus yang masuk ke sistem dibandingkan dengan arus yang keluar system. Apabila ada perbedaan pada suatu nilai yang telah ditetapkan maka ELCB akan memutuskan aliran listrik ke sistem. Dari pengujian didapatkan rata-rata waktu pemutusan ELCB sebesar 1,048 ms dengan rata-rata arus 21 mA.

Kata Kunci: Modul Simulasi, Earth Leakage Circuit Breaker

Abstract -- During the voltage flow flows pose a ground disturbance current there are some touch voltages. Rated voltage value above 50 v and leakage current value above value 30 mA are very dangerous to humans. Application of Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) on a single phase electrical installation system is a solution can be used to protect humans from the dangers that caused by leakage current. The working principle of ELCB is to detect any leakage current, where current into the system is compared with flow from exit system. While there is a difference value that has been has set so the ELCB will switch off the electrical system. Baesd on experiments it is obtained that the average average time of ELCB terminated is 1048 ms with average current is 21 mA.

Keywords: Module Simulation, Earth Leakage Circuit Breaker

PENDAHULUAN

Keamanan merupakan suatu factor pertimbangan yang ditempatkan pada urutan pertama dalam mendesain sebuah sistem instalasi listrik. Adanya ancaman bahaya bagi keselamatan manusia akibat arus bocor diatas ambang aman pada suatu sistem instalasi listrik merupakan suatu masalah yang harus dicarikan jalan keluarnya. Penelitian ini membuat suatu perangkat simulasi *Earth Leakage Circuit Breaker* (ELCB) fasa satu dimana dengan perangkat tersebut dapat ditunjukkan fungsi ELCB yang digunakan untuk mengamankan manusia dari bahaya yang diakibatkan arus bocor (Nugroho, 2009).

Pemilihan ELCB fasa satu dalam rangkaian pengujian didasarkan pada besarnya konsumen listrik rumah tangga yang hanya menggunakan sumber fasa satu (Sarunggalo, 2008). Tubuh manusia dalam rangkaian digantikan oleh suatu tahanan dengan nilai tertentu yang diambil dari hasil pengukuran tahanan tubuh manusia.

Tujuan penelitian ini adalah membuat

rancangan aplikasi ELCB fasa satu sebagai media kegiatan belajar mengajar pada jurusan teknik listrik. Hal ini perjumpakan aplikasi dari salah satu fungsi ELCB sebagai pengaman bagi manusia dari bahaya arus bocor. Dalam penelitian ini proses pengukuran tahanan tubuh manusia direpresentasikan sebagai tahanan resistor.

DASAR TEORI

Sistem Pengamanan Bahaya Listrik

Dalam menjalankan aktifitas sehari-hari, manusia sangat membutuhkan daya listrik. Namun di sisi lain, listrik sangat membahayakan keselamatan apabila tidak dikelola dengan baik. Sebagian besar orang pernah mengalami dan merasakan sengatan listrik, dari yang hanya merasa terkejut saja sampai dengan yang merasa sangat menderita.

Oleh karena itu, untuk mencegah dari hal-hal yang tidak diinginkan, perlu meningkatkan kewaspadaan terhadap bahaya listrik. Jalan yang terbaik adalah melalui peningkatan pemahaman terhadap sifat dasar kelistrikan yang digunakan.

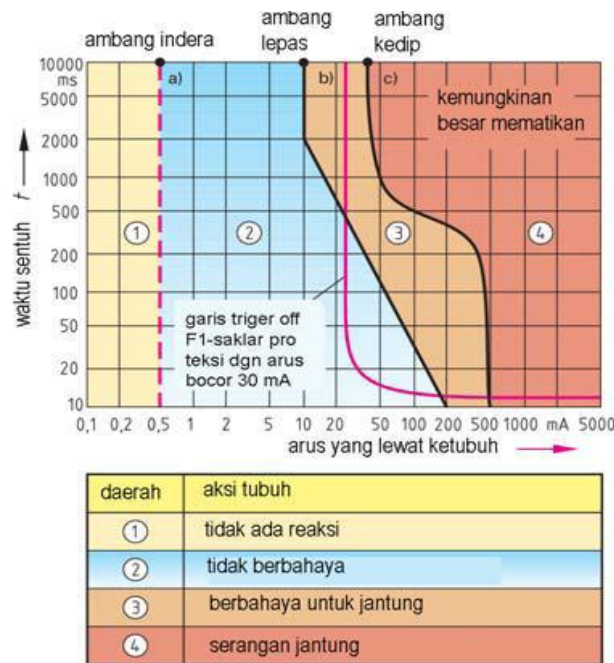
Faktor Penentu Keseriusan Akibat Sengatan Listrik

Ada tiga faktor yang menentukan keseriusan sengatan listrik pada tubuh manusia, yaitu (Sumardjati, 2008):

1. Besar arus listrik yang mengalir dalam tubuh ditentukan oleh tegangan dan tahanan tubuh. Tegangan tergantung pada sistem tegangan yang digunakan, sedangkan tahanan tubuh manusia bervariasi tergantung pada jenis, kelembaban kulit dan faktor-faktor lain seperti ukuran tubuh dan berat badan. Tahanan kontak kulit bervariasi dari 1000 kΩ (kulit kering) sampai 100 Ω (kulit basah). Tahanan dalam (internal) tubuh sendiri antara 100 – 500 Ω (Hutahuruk, 1991).
2. Lintasan arus listrik dalam tubuh juga sangat menentukan tingkat akibat sengatan listrik.

Lintasan yang sangat berbahaya adalah yang melewati jantung, dan pusat saraf (otak).

3. Lama waktu sengatan listrik ternyata sangat menentukan kefatalan akibat sengatan listrik. Penemuan faktor ini menjadi petunjuk yang sangat berharga bagi pengembangan teknologi proteksi dan keselamatan listrik. Semakin lama waktu tubuh dalam sengatan semakin fatal pengaruh yang diakibatkannya. Oleh karena itu, yang menjadi ekspektasi dalam pengembangan teknologi adalah bagaimana bisa membatasi sengatan agar dalam waktu sependek mungkin. Gambar 1 menunjukkan bagaimana pengaruh sengatan listrik terhadap tubuh, khususnya yang terkait dengan dua faktor, yaitu besar dan lama arus listrik mengalir dalam tubuh (Siswoyo, 2008).

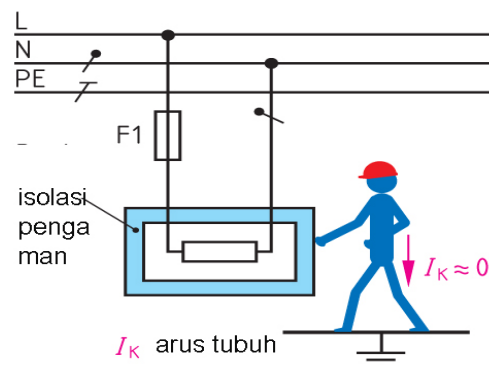


Gambar 1. Grafik Bahaya Arus Listrik

Ada beberapa tindakan pengaman yang dapat dilakukan untuk mengurangi bahaya arus bocor diantaranya:

a. Pengaman Dengan Isolasi Bagian Aktif.

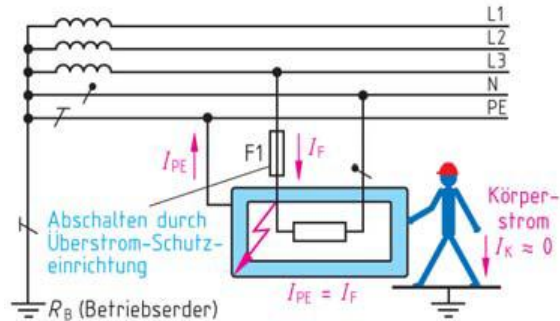
Peralatan listrik dirancang dan diberikan perlindungan selengkap berbahan isolasi yang ditunjukkan Gambar 2. Tujuannya adalah menghindarkan tegangan sentuh tangan manusia dengan bagian aktif yang bertegangan. Proteksi ini cukup baik selama selengkap bahan isolasi berfungsi semestinya, bagian aktif seluruhnya tertutup oleh isolasi yang hanya dapat dilepas dengan merusaknya (Siswoyo, 2008).



Gambar 2. Pengaman Berselengkap Isolasi

b. Pengaman Dari Sentuhan Tidak Langsung

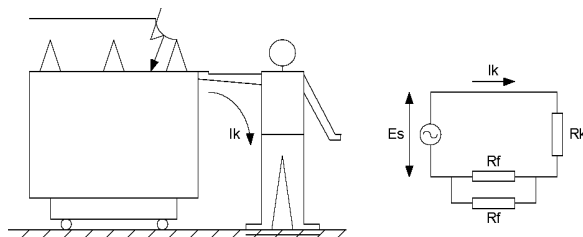
Sentuhan tidak langsung adalah sentuhan pada BKT (bagian konduktif terbuka) peralatan instalasi listrik yang menjadi bertegangan akibat kegagalan isolasi (Siswoyo, 2008).



Gambar 3. Pengaman Sentuhan Tak Langsung

Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah (Harten, 1978) tegangan yang terdapat diantara suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 m, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada dibawahnya.



Gambar 4. Tegangan Sentuh Dan Rangkaian Ekvivalennya

Dari rangkaian ekvalen didapat persamaan tegangan sentuh,yaitu :

$$E_s = \left(R_k + \frac{R_f}{2} \right) I_k \quad (1)$$

dimana:

E_s = Tegangan sentuh (v)

R_k = Tahanan badan manusia (Ω)

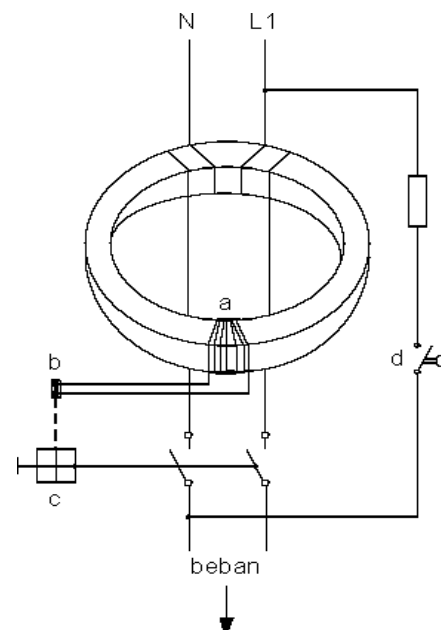
R_f = Tahanan kontak dari satu kaki pada tanah (3000 Ω)

I_k = Arus yang melalui tubuh (A)

Earth Leakege Circuit Breaker

Earth Leakege Circuit Breaker (ELCB) adalah pemutus yang peka terhadap arus bocor, yang dapat memutuskan sirkuit termasuk penghantar netralnya secara otomatis dalam waktu tertentu. Alat ini dipergunakan sebagai pengaman bila terjadi arus bocor pada salah satu penghantar yang melalui alat tersebut.

Prinsip kerja ELCB sistem fasa tunggal ditunjukkan pada Gambar 5. Bila tidak ada arus bocor (ke tanah atau tubuh manusia) maka jumlah arus yang mengalir dalam kedua penghantar (N dan L_1) sama dengan nol. Sehingga trafo arus (CT) tidak mengalami induksi dan trigger elektromagnet tidak aktif. Namun sebaliknya bila ada arus bocor, maka jumlah resultan arus tidak sama dengan nol, CT menginduksikan tegangan dan mengaktifkan trigger sehingga alat pemutus daya ini bekerja memutuskan beban dari sumber.



a. Kumpanan sekunder
b. Detektor arus gangguan
c. Mekanisme penahan
d. Tombol uji

Gambar 5. Prinsip-prinsip dari ELCB (Harten, 1978)

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

Miniature Circuit Breaker (MCB)

MCB adalah suatu pengaman untuk memutuskan rangkaian listrik. MCB dilengkapi dengan pengaman thermis yang berupa logam bimetal sebagai pengaman gangguan arus beban lebih dan pengaman elektromagnetik sebagai pengaman hubung singkat.

Pengaman thermis yang berupa bimetal adalah 2 buah logam yang mempunyai koefisien muai yang berbeda dan disatukan pada

ujungnya. Jika terkena panas yang diakibatkan oleh adanya beban lebih, maka bimetal akan mengerjakan kontak relai, dan kontak relai inilah yang akan memutuskan kontak MCB. Jika terjadi gangguan hubung singkat, maka rangkaian elektromagnetik akan *ter-energize*, sehingga akan menggerakkan kontak relai. Kontak relai ini kemudian memutuskan kontak MCB yang akhirnya memutuskan rangkaian.

Sekering

Sekering kawat tunggal adalah peralatan untuk mengamankan rangkaian dari arus yang berlebihan. Pengaman ini mempunyai elemen yang dapat melebur jika arus yang melewatinya melebihi batas kemampuan dengan nilai ketentuan batas limitnya. Arus kerja (nominal) sekering adalah nilai yang sudah ditentukan oleh pabrik, yaitu besarnya arus yang dijamin oleh pabrik untuk tidak menyebabkan kerusakan sekering yang bekerja secara terus menerus pada kondisi normal tanpa terjadi peleburan pada bagian elemennya atau tanpa terjadinya keadaan yang memburuk karena arus tersebut pada sekering.

Tahanan Listrik Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia tergantung pada sejumlah parameter. Parameter yang amat penting adalah: kelembaban kulit, daerah sentuhan dan tegangan yang ada. Tahanan tubuh manusia merupakan gabungan dari tahanan kulit dan tahanan internal tubuh manusia. Tahanan kulit ada bermacam-macam antara beberapa ratus ohm untuk kulit yang tipis, lembab atau kasar sampai beberapa juta ohm untuk kulit yang kering, kemungkinan juga menebal karena pembengkakan, dan lain-lain. Penyelidikan dan penelitian telah dilakukan oleh beberapa orang ahli untuk mendapatkan tahanan tubuh manusia, hasil yang diperoleh adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Harga Tahanan Tubuh Manusia (Harten, 1978)

Peneliti	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	Dengan tegangan 60 cps
AIEE Committee Report 1958	2.330	Dengan tegangan 21 Volt Tangan ke tangan lk = 9 mA
	1.130	Tangan ke kaki
	1.680	Tangan ke tangan dengan arus searah
Laurent	800	Tangan ke kaki dengan 50 cps
	3000	

Berdasarkan hasil penyelidikan di atas sebagai pendekatan penelitian diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar 1.000 Ohm (Hutahuruk, 1991).

Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terbatas terhadap besarnya arus yang mengalir di dalamnya. Tetapi berapa besar dan lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar ditetapkan (Hutahuruk, 1991).

Batasan arus dan pengaruhnya pada manusia menurut DR.Hans Prinz disusun dalam Tabel 2.

Tabel 2. Batasan-Batasan Arus Dan Pengaruhnya Pada Manusia (Hutahuruk, 1991)

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

Pada Tabel 2 menunjukkan batasan-batasan arus dan pengaruhnya pada manusia. Apabila tubuh manusia dialiri arus secara kontinu dan nilai kapasitas arusnya disesuaikan, maka didapatkan pengaruhnya terhadap tubuh manusia.

PENGUKURAN TAHANAN TUBUH MANUSIA DAN PERANCANGAN SIMULASI ARUS BOCOR

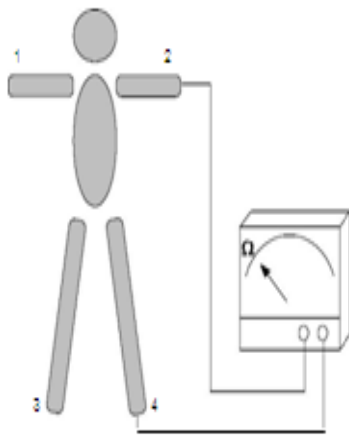
Survei Data

Sebagaimana dalam pendahuluan sebagai pengganti tubuh manusia yang digunakan pada pengujian dilakukan adalah tahanan dengan nilai yang diambil dari pengukuran tahanan tubuh secara langsung, untuk itu dilakukan survey dan data yang diambil adalah tahanan tubuh manusia antara dua titik pada tubuh manusia dengan variabel berat badan, dan tinggi tubuh.

Untuk mendapatkan data yang dibutuhkan

tersebut, berikut ini diberikan urutan tata cara pengambilan data:

1. Pengukuran tinggi badan untuk mengetahui tinggi badan responden.
2. Penimbangan berat badan untuk mengetahui berat badan responden.
3. Pengusapan permukaan kulit yang akan diukur dengan tissue untuk memastikan kekeringannya.
4. Pengukuran tahanan tubuh dengan menggunakan multimeter Digital dengan injeksi arus searah berkekuatan 3 Volt pada ujung jari antara titik (1 – 2), (1 – 3), (1 – 4), (2 – 3), dan (2 – 4) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengukuran tahanan tubuh

Data Hasil Survey

Tahanan tubuh hasil survey yang digunakan dalam pengujian adalah nilai tahanan yang diambil dari hasil pengukuran tahanan tubuh manusia jenis kelamin laki-laki dengan berat badan 60 Kg yang merupakan rata-rata berat badan ideal manusia Indonesia (Hutahuruk, 1991). Nilai tahanan tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 menunjukkan nilai tahanan tubuh yang akan digunakan dalam melakukan pengujian adalah tahanan dengan nilai maksimal, minimal dan rata-rata untuk masing-masing posisi pengukuran sebagaimana yang data pada Tabel 4 kemudian digantikan dengan resistor dengan nilai yang hampir sama untuk digunakan dalam melakukan pengujian.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tahanan tubuh manusia jenis kelamin laki-laki dengan tinggi dan berat badan.

Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)	Tahanan Tubuh (ohm)				
		1_2	1_3	1_4	2_3	2_4
165.3	56.3	727.0	726.6	748.6	673.8	788.8
157.4	52.3	756.6	786.2	798.8	819.4	774.8
162.5	60.3	776.8	723.0	788.8	781.2	731.0
158.3	53.7	793.0	804.6	777.0	800.6	784.4
164.4	62.2	799.8	792.4	826.2	819.2	825.8
160.1	58.7	797.4	764.0	814.6	725.0	782.2
165.3	56.3	727.0	726.6	748.6	673.8	788.8
157.3	52.3	756.6	786.2	799.8	819.4	805.0
162.5	60.3	782.2	723.0	788.8	781.2	731.0
158.3	54.3	754.4	788.8	794.8	737.6	789.8
168.3	66.3	806.8	788.8	822.8	781.2	774.8
162.3	61.3	776.8	780.8	810.8	819.4	821.6
168.3	66.3	806.8	804.6	826.2	819.4	825.8
161.8	57.9	771.2	765.9	793.4	769.3	783.2
157.3	52.3	727.0	723.0	748.6	673.8	731.0

Tabel 4. Tahanan tubuh manusia pada penelitian

Tahanan tubuh	Nilai Tahanan (Ω)				
	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4
Maksimal	806.8	804.6	826.2	819.4	825.8
Rata-rata	771.2	765.9	793.4	769.3	783.2
Minimal	727.0	723.0	748.6	673.8	731.0

Pada Tabel 4 menunjukkan nilai tahanan tubuh dalam satuan Ohm pada posisi pengukuran (1-2), (1-3), (1-4), (2-3) dan (2-4). Untuk masing-masing posisi nilai tahanan tubuh didapatkan nilai maksimal, rata-rata serta minimal.

Rancang Bangun Modul Simulasi

Pada penelitian ini, perangkat yang akan dibuat adalah perangkat simulasi kerja ELCB. Perangkat ini diharapkan digunakan untuk melakukan pengujian mengenai berbagai metode proteksi untuk mengamankan manusia dari bahaya arus bocor. Pengujian-pengujian tersebut adalah:

1. Pengujian kondisi ELCB dalam keadaan berfungsi.
2. Pengujian ELCB dengan beban pada pengukuran tegangan line ke pentanahan (L-PE)
3. Pengujian ELCB dengan beban pada pengukuran tegangan netral ke pentanahan (N-PE).
4. Pengujian ELCB dengan beban pada pengukuran arus line ke pentanahan (L-PE).
5. Pengujian ELCB dengan beban pada pengukuran arus netral ke pentanahan (N-PE).
6. Pengujian ELCB dengan beban resistif menggunakan fuse dengan hubung singkat (L-N)

Berdasarkan beberapa pengujian-

pengujian yang dilakukan, perangkat yang akan dibuat merupakan sebuah papan yang di atasnya disusun berbagai alat dan komponen yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian.

Alat dan komponen serta fungsinya adalah sebagai berikut:

1. Tombol darurat berfungsi memutuskan aliran arus secara darurat.
2. Miniature Circuit Breaker (MCB) berfungsi sebagai pembatas arus.
3. Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) berfungsi sebagai pemutus arus bocor.
4. Kotak sekering berfungsi sebagai tempat dudukan sekering dan sekering berfungsi sebagai pemutus lebur.
5. Stop kontak berfungsi sebagai terminal kontak beban.
6. Fitting lampu berfungsi sebagai dudukan

lampu dan Lampu pijar berfungsi sebagai beban.

7. Rele kontak dengan 2 kontak bantu NO dan NC berfungsi sebagai pemutus untuk NC dan penghubung untuk NO pemutus.
8. Trafo isolasi berfungsi sebagai penurun atau penaik tegangan sumber.
9. Kapasitor berfungsi sebagai penyimpan muatan.
10. Resistor berfungsi sebagai pengganti beban tubuh manusia.
11. Gambar tahanan tubuh manusia yang direpresentasikan dengan resistor dan potensio.
12. Sakelar cam berfungsi sebagai menghubungkan dan memutuskan rangkaian.

Alat dan komponen tersebut kemudian disusun sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7.

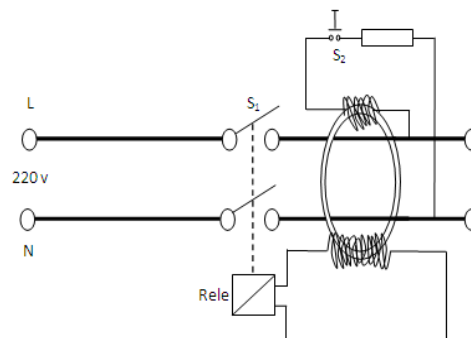


Gambar 7. Layout modul simulasi

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

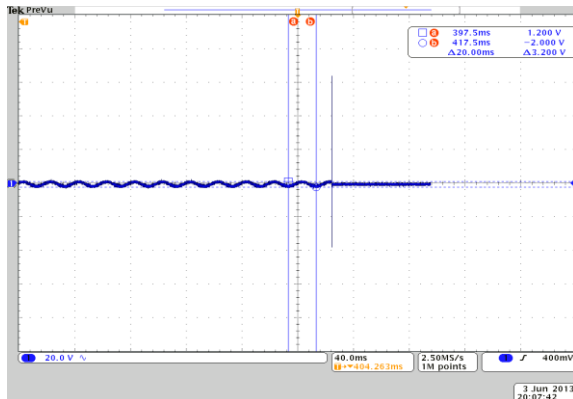
Pengujian dan pengukuran Waktu Pemutusan ELCB

Pengujian ini didapatkan rata-rata waktu pemutusan (trip) ELCB yaitu selama 7,14 μ s nilai jauh dibawah ketentuan PUIL 2000 bahwa pemutusan paling lambat GPAS (ELCB) adalah 0,4 detik



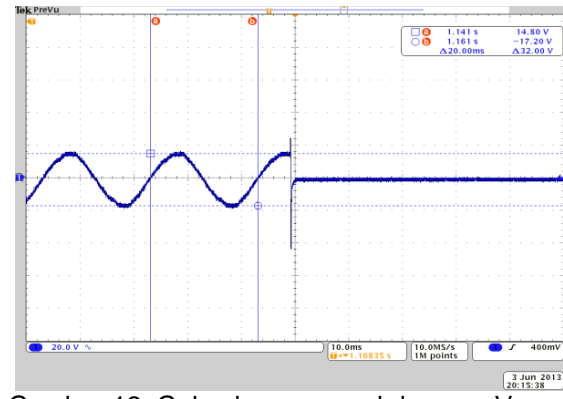
Gambar 8. Diagram rangkaian pengujian kondisi ELCB

Salah satu bentuk kurva dari lima kali pengujian ini dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 9. Gelombang normal dengan $V_{p-p} = 3,2$ v ($V_{rms} = 0,99$ v) dengan frekuensi 50 Hz, secara tiba-tiba trip.

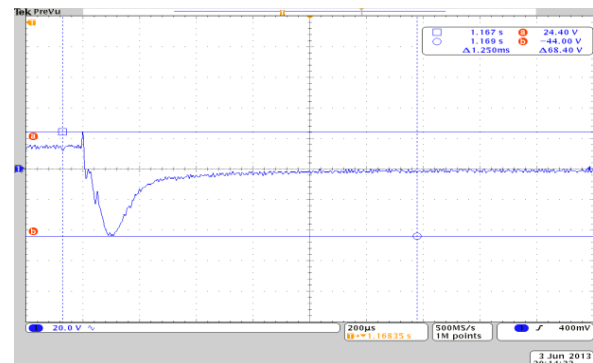
Salah satu bentuk kurva dari lima kali pengujian ini dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 12. Gelombang normal dengan $V_{p-p} = 32$ v ($V_{rms} = 11,31$ v) dengan frekuensi 50 Hz, secara tiba-tiba trip.



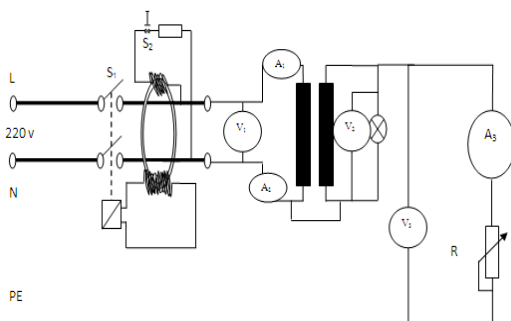
Gambar 10. Gelombang pemutusan Switching dengan $V_{p-p} = 103,2$ v ($V_{rms} = 36,49$ v) dengan waktu pemutusan 284,4 μ s.



Gambar 13. Gelombang pemutusan Switching dengan $V_{p-p} = 68,4$ v ($V_{rms} = 24,18$ v) dengan waktu pemutusan 1,25 ms.

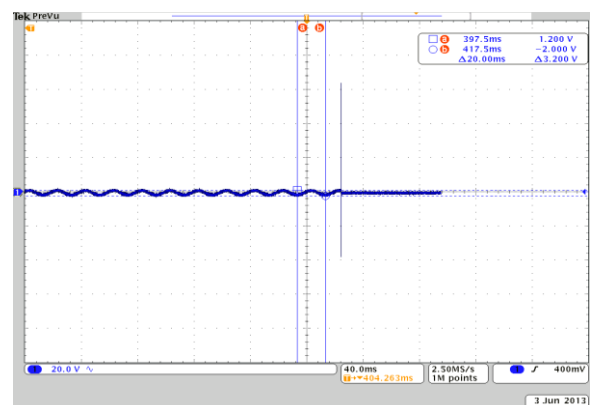
Pengujian ELCB dengan beban resistif pada pengukuran arus ke pentanahan (L-PE)

Pengujian ini didapatkan rata-rata waktu pemutusan (trip) ELCB yaitu selama 1,048 ms nilai jauh dibawah ketentuan PUIL 2000 bahwa pemutusan paling lambat GPAS (ELCB) adalah 0,4 detik.



Gambar 11. Pengujian ELCB dengan beban resistif pada pengukuran arus ke pentanahan (L-PE).

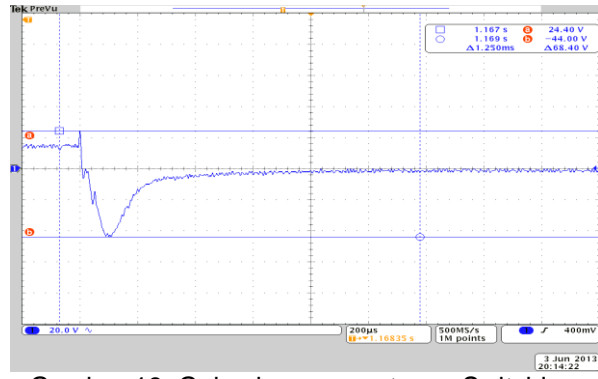
Salah satu bentuk kurva dari lima kali pengujian ini dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 14. Gelombang normal dengan $V_{p-p} = 3,2$ v ($V_{rms} = 0,99$ v) dengan frekuensi 50 Hz, secara tiba-tiba trip.



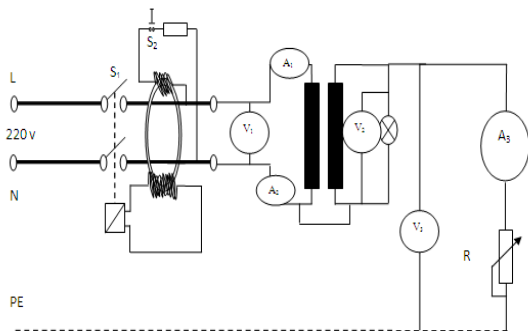
Gambar 15. Gelombang pemutusan Switching dengan $V_{p-p} = 103,2 \text{ v}$ ($V_{rms} = 36,49 \text{ v}$) dengan waktu pemutusan $284,4 \mu\text{s}$.



Gambar 18. Gelombang pemutusan Switching dengan $V_{p-p} = 68,4 \text{ v}$ ($V_{rms} = 24,18 \text{ v}$) dengan waktu pemutusan $1,25 \text{ ms}$.

Pengujian ELCB dengan beban resistif pada pengukuran arus ke pentanahan (L-PE).

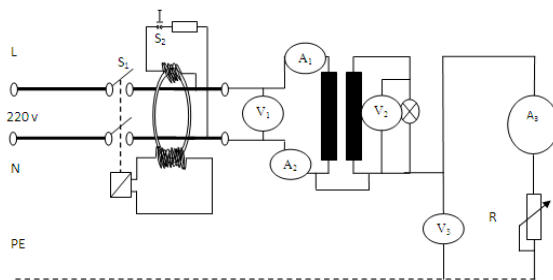
Pengujian rata-rata waktu pemutusan (trip) ELCB yaitu selama $1,048 \text{ ms}$ nilai jauh dibawah ketentuan PUIL 2000 bahwa pemutusan paling lambat GPAS (ELCB) adalah $0,4 \text{ detik}$.



Gambar 16. Pengujian ELCB dengan beban resistif pada pengukuran arus ke pentanahan (L-PE).

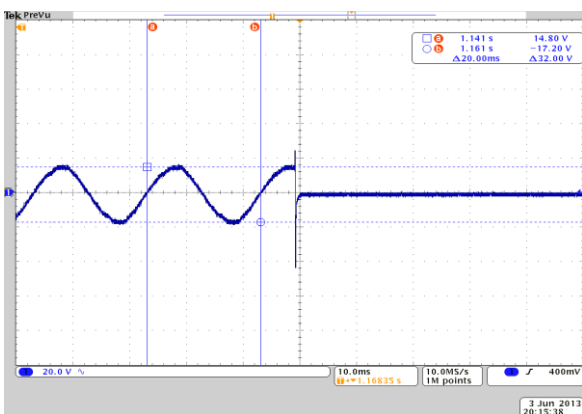
Pengujian ELCB dengan beban resistif pada pengukuran arus ke pentanahan (N-PE).

Pada pengujian ini nilai tegangan yang terukur dan perhitungan pada ke pentanahan mengakibatkan ELCB bekerja untuk trip dengan nilai rata-rata sebesar $0,9 \text{ v}$ pada pengukuran dan $0,84 \text{ v}$ pada perhitungan. Sedangkan 21 mA telah memenuhi dari spesifikasi ELCB untuk trip.



Gambar 19. Pengujian ELCB dengan beban resistif pada pengukuran arus ke pentanahan (N-PE).

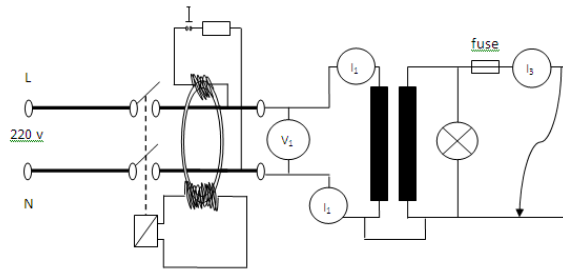
Salah satu bentuk kurva dari lima kali pengujian ini dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 17. Gelombang normal dengan $V_{p-p} = 32 \text{ v}$ ($V_{rms} = 11,31 \text{ v}$) dengan frekuensi 50 Hz , secara tiba-tiba trip.

Pengujian ELCB dengan beban resistif menggunakan fuse dengan hubung singkat (L-N).

Pada pengujian ini ELCB dengan beban dan fuse pada pengukuran arus ke pentanahan (N-PE). Nilai arus hubung singkat rata-rata 2531 mA , kondisi ELCB tidak trip serta fuse putus. Hal ini diakibatkan arus incoming dan outgoing yang menuju ELCB bernilai sama 63 mA yang menyebabkan ELCB tidak trip.



Gambar 20. Pengujian ELCB dengan beban resistif menggunakan fuse dengan hubung singkat (L-N).

KESIMPULAN

Hasil penelitian dan analisa terhadap berbagai pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan. Tahanan tubuh pada manusia tergantung pada berat dan kondisi tubuh manusia sendiri serta kelembaban kulit. Selain itu, waktu pemutusan ELCB rata-rata selama 1,048 ms dimana waktu tersebut jauh dibawah ketentuan PUIL 2000 yang menyatakan waktu pemutusan GPAS paling lambat 0,4 detik. Kemudian, ELCB/GPAS dengan nilai sensitivitas arus gangguan 30 mA akan bekerja dibawah nilai arus tersebut, dan hal ini sesuai dengan ketentuan dalam PUIL 2000 yang menyatakan penggunaan gawai proteksi arus sisa, dengan arus operasi arus sisa pengenal tidak lebih dari 30 mA. Terakhir, ternyata ELCB tidak akan bekerja apabila keseimbangan arus yang melewati ELCB tetap terjaga yaitu tidak melebihi 30 mA

REFERENSI

- , *Peraturan Umum Instalasi Listrik*, 2000.
- , *Proteksi terhadap kejut listrik – Aspek umum untuk instalasi dan perlengkapan*, Badan Standarisasi Nasional, 2012
- , *Worlds Apart?*, Electrical Safety Seminar,-, 2012
- Davis, Dwayne, *ESD Workstations and Product Safety Testing: Are They Really Two Worlds Apart?*, Electrical Safety Seminar, - Associated Research Inc.
- Dirks, H, *Keselamatan Listrik*, 1990.
- Gabriel, J.F, *Fisika Kedokteran*, EGC, Denpasar, 1996.
- Harten, P. van. *Instalasi Listrik Arus Kuat 3*, CV. Trimitra Mandiri, Jakarta, 1978.
- Hutahuruk, T.S, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetahuan Peralatan*, Erlangga, Jakarta, 1991
- Nugroho, Rohmat, *Studi Arus Bocor dengan metode pengukuran Inclined Plane Tracking (IPT) pada material polimer High Density Polyethylene (HDPE)*, Universitas Diponegoro, 2009
- Nuril Fifana, *Modul Simulasi ELCB Satu Fasa Sebagai Pelindung Tegangan Sentuh Bagi Manusia*, Universitas Diponegoro, 2008.
- Sarunggalo, Pandung, *Perancangan Earth Leakage Circuit Breaker dengan Sensitivitas 20 mA*, Universitas Negeri Papua, 2008.
- Siswoyo, *Teknik Listrik Industri III*, Direktorat Pembinaan SMK, Jakarta, 2008
- Sumardjati, Prih, *Teknik Pemanfaatan Listrik 1*, Direktorat Pembinaan SMK, 2008