

RANCANG BANGUN PENGAMAN ARUS BOCOR LISTRIK 1 FASA DENGAN PENGATUR SENSITIVITAS UNTUK PENGGUNAAN DI RUMAH TINGGAL

Kuswono Hendra Jaya

Karisma.JayaTeknologi@gmail.com

Dody Wahjudi

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Email : dodywahjudi@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu bahaya yang timbul karena listrik adalah arus bocor. Bahaya arus bocor menyebabkan kebakaran dan bahaya manusia terkena sentuhan langsung maupun tidak langsung tegangan listrik.

Arus bocor bisa diamankan dengan pengaman arus bocor yang disebut *ELCB* yang dipasang pada panel utama. Kekurangan *ELCB* yang ada di pasaran adalah harganya yang mahal karena *import*, hanya memiliki satu sensitivitas yaitu 30 mA dan tidak memiliki mode *on off*. Dengan tidak ada pilihan sensitivitas maka pemakai tidak bisa memilih arus trip yang rendah, dengan tidak ada saklar *on* dan *off* maka pemakai tidak bisa mematikan fungsi pengaman dengan tujuan mengabaikan sementara arus bocor.

Maka dirancanglah sebuah pengaman arus bocor dengan menggunakan komponen yang mudah didapatkan di pasaran lokal. Pengaman ini dirancang memiliki pemilihan sensitivitas yaitu A = 10 mA dan B = 20 mA dengan arus maksimum 10 Amper pada tegangan kerja 190 sampai 240 Volt AC, dilengkapi pula dengan saklar *on* dan *off*. Perancangan pengaman arus bocor ini dimulai dengan membuat rencana skema dengan *software*, membuat rangkaian pada PCB dan membuat box casing sehingga alat pengaman ini berbentuk alat listrik dan sudah bisa dipasang pada instalasi listrik rumah.

Pengukuran dan pengujian dilakukan untuk memastikan alat pengaman ini baik dan layak digunakan.

Kata Kunci: arus bocor listrik, pengaman arus bocor, ELBC

PENDAHULUAN

Dalam Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) sudah diatur tentang berbagai syarat instalasi rumah di antaranya adalah tentang alat perlindungan dari bahaya arus sisa atau arus bocor, dalam PUIL tersebut telah disebutkan bahwa instalasi rumah tinggal wajib dipasang alat proteksi arus bocor untuk melindungi pengguna listrik dari sentuhan langsung maupun tidak langsung.

Penerapan alat proteksi arus bocor belum dilaksanakan karena banyak kendala yang terjadi di masyarakat yaitu:

1. Secara teknik masih banyak digunakan kabel maupun peralatan listrik yang tidak SNI dan cara pemasangan instalasi yang tidak mematuhi aturan listrik yang ada.
2. Harga alat pengaman arus bocor yang mahal karena berasal dari luar negeri.
3. Secara umum masyarakat pelanggan listrik PLN tidak mengetahui batas tanggungjawab instalasi milik PLN dan instalasi milik pelanggan, sehingga bila diterapkan pemasangan pengaman arus bocor oleh PLN masalah pelayanan gangguan akan semakin banyak padahal gangguan tersebut adalah tanggungjawab pelanggan karena terjadi di instalasi milik pelanggan.

Penggunaan pengaman arus bocor yang ada di pasaran menggunakan sensitivitas 30 mA dengan tujuan masih berada diatas kebocoran wajar pada

instalasi listrik rumah. Dengan batasan 30 mA tersebut menimbulkan permasalahan yaitu bila tegangan tersentuh oleh manusia maka akan terasa menyengat besar sehingga diperlukan pengaman arus bocor yang lebih rendah arus tripnya dan dilengkapi pilihan kepekaan sensitivitas.

Pengaman arus bocor yang banyak tersedia di perdagangan tidak menggunakan fungsi *on/off* yaitu fungsi yang akan mematikan sementara saat ada gangguan arus bocor yang masih bisa diabaikan sambil menunggu proses perbaikan instalasi. Dengan tanpa adanya *on/off*, bila terjadi *Trip* maka saat tersebut harus langsung diperbaiki agar pengaman arus bocor tersebut bisa dinaikan lagi tuasnya, bila kejadian tersebut terjadi di malam hari maka akan menimbulkan permasalahan tersendiri.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Power Supply

Power supply yang dimaksudkan adalah sebuah rangkaian yang menyediakan tegangan kerja yang sesuai dengan kebutuhan rangkaian. Power supply ini dipilih dari jenis step down transformator, jenis power supply ini umum digunakan karena paling sederhana dan aman untuk komponen elektronika karena berjenis isolasi penuh yaitu sisi sekunder trafo sudah terisolasi dari jal-jala tegangan PLN 220 V.

2. Rangkaian sensor ZCT

Sensor ZCT adalah sensor arus yang berfungsi untuk mendeteksi adanya selisih arus pada 2 buah pengantar fasa dan netral yang melewati inti ZCT tersebut. ZCT terdiri dari komponen ferit dan lilitan kawat tembaga email yang dililitkan secara rapih pada ferit tersebut.

Komponen ZCT ini akan dibuat sendiri dengan menggunakan bahan beberapa komponen yaitu :

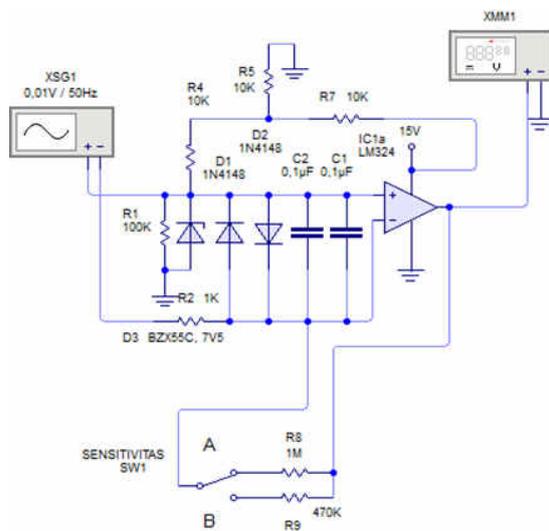
- Ring ferit dengan ukuran 19 x 13 x 6 mm
- Kawat email 0,2 mm sepanjang 10 meter
- Isolasi kertas
- Kawat email 1 mm sepanjang 1 meter



Gambar 1. Bentuk ZCT Buatan Sendiri

3. Rangkaian Driver ZCT

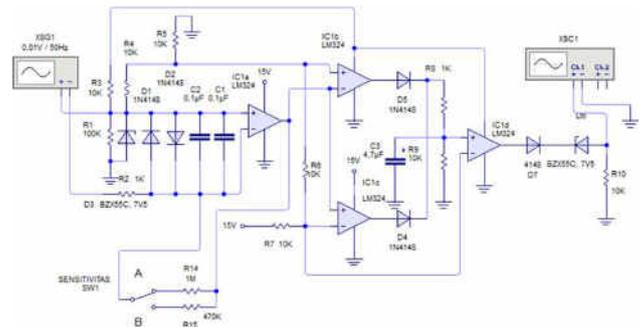
Rangkaian ini berfungsi untuk menguatkan sinyal dari ZCT yang masih sangat lemah agar bisa dibaca oleh driver relay. Rangkaian driver ini terdiri dari OP-AMP yang dirangkai dengan beberapa konfigurasi. Rangkaian ini adalah pengolah sinyal utama dari ZCT sehingga memerlukan tegangan yang stabil dan halus, maka dalam rangkaian ini ditambahkan regulator tegangan tersendiri menggunakan transistor dan dioda zener. OP-Amp pertama berfungsi penuh sebagai penguat sinyal keluaran ZCT yang masih sangat kecil, Op-amp berikutnya adalah sebagai komparator yang akan membandingkan antara tegangan masukan dengan tegangan referensi.



Gambar 2. Rangkaian Driver ZCT

4. Komparator

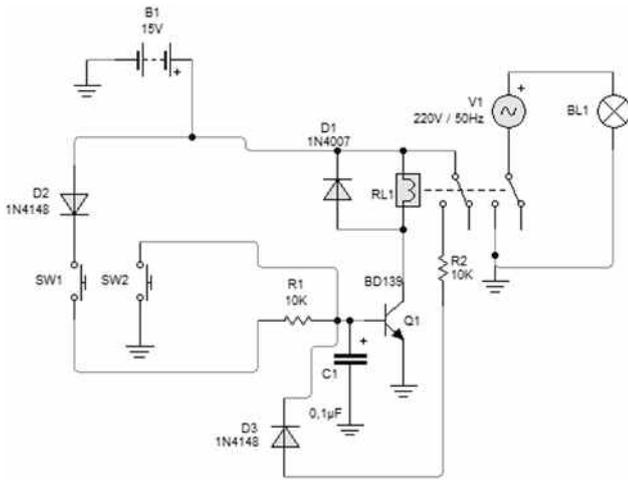
Komparator dalam pembahasan ini adalah rangkaian pembandingan yang difungsikan untuk membandingkan nilai tegangan referensi dengan tegangan yang diukur. Tegangan referensi ini disediakan oleh rangkaian dan tegangan yang diukur berasal dari sensor yang sudah diatur penguatannya oleh drivernya berupa IC Op-Amp. Dipilih rangkaian komparator yang sederhana dan mudah didapat komponennya yaitu dengan menggunakan komponen IC LM 324. Rangkaian ini terdiri dari 3 buah bagian IC OP-amp tipe LM 324.



Gambar 3. Rangkaian Komparator

5. Driver Relay

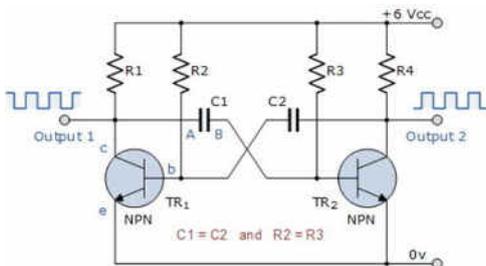
Rangkaian ini berfungsi sebagai driver relay yaitu menguatkan arus dari rangkaian Op-Amp yang masih sangat kecil sehingga mampu menggerakkan relay. Driver ini terdiri dari dua buah transistor yang dirangkai secara darlington. Rangkaian ini juga memiliki fungsi pengunci yaitu bila relay telah on maka relay akan tetap mengunci on walaupun masukan arus dari rangkaian op-amp telah berhenti. Pengunci ini diambilkan dari pin relay bagian NO.Relay yang dipakai adalah jenis DC 12 Volt dengan arus hantar maksimal 10 Ampere. Tegangan kerja pada sisi kontak relay adalah 220 VAC. Kontak relay yang dipakai untuk menghantarkan arus adalah kontak COM dan NC. Berikut ini gambar skema dari rangkaian driver relay yang rencana akan digunakan.



Gambar 4. Rangkaian Driver Relay

6. Indikator LED dan Buzer

Flip-flop 2 transistor merupakan rangkaian kombinasi 2 transistor yang masing-masing bekerja sebagai saklar dan akan aktif secara bergantian terus menerus. Karena rangkaian flip-flop 2 transistor ini selalu memiliki 2 keadaan yang berganti terus menerus pada kedua transistor tersebut maka rangkaian flip-flop 2 transistor ini disebut sebagai astabil multivibrator atau disebut juga sebagai freerunning multivibrator



Gambar 5. Rangkaian Flip-flop

Frekuensi multivibrator diatas bisa dihitung dengan menggunakan rumus :

$$t = (\text{koefisien}) \cdot R \cdot C$$

t : waktu dalam second, Koefisien : 0.7, R : resistor dalam ohm, C : Kapasitor (F)

7. Membuat PCB

PCB adalah perangkat papan rangkaian yang berguna untuk memasang banyak komponen dengan disolder agar simpel dan terencana dengan baik. Casing yang akan digunakan memiliki ukuran dimensi dalam yang kecil sehingga harus dimanfaatkan dengan baik.

Buat PCB menjadi 3 bagian :

- PCB A berisi paling banyak komponen karena memiliki ukuran yang paling luas.
- PCB B digunakan untuk memasang tombol *push on test* dan *reset* karena bila langsung dipasang ke PCB A maka tuas tombol kurang tinggi.
- PCB C persiapan untuk memasang komponen *toroid ZCT* dan *relay*.

8. Proses Pemasangan Komponen

Setelah selesai membuat PCB maka pasang komponen yang sesuai dengan skema yang sudah buat.

Komponen yang diperlukan adalah :

Tabel 1. Daftar komponen

Resistor	Kapasitor	Dioda	LED	Resistor
R21 1K	C1 4u7/35	R1 1K	D1 1N4007	YL YELLOW
R22 1K	C2 4u7/35	R2 100K	D2 1N4148	RD RED
R23 10K	C3 100KP	R3 1K	D3 1N4148	GR GREEN
R24 10K	C4 100KP	R4 10K	D4 1N4007	
R25 10K	C5 4u7/35	R5 150K	D5 1N4007	JUMPER
R26 10K	C6 10u/35	R6 1K	D6 1N4007	J1 KABEL
R27 100K	C7 4u7/35	R7 1M	D7 1N4007	J2 KABEL
R28 10K	C8 4u7/35	R8 1K	D8 1N4007	J3 KABEL
R29 1K	C9 4u7/35	R9 1K	D9 1N4007	J4 KABEL
R30 150K	C10 1000u/35	R10 10K	D10 1N4007	J5 KABEL
		R11 100K	D11 ZD7v5	J6 KABEL
		R12 1N41	R12 100K	J11 KABEL
TRANSISTOR		SWITCH		
TR1 D438	SW3 SLIDE	R13 10K	D13 1N4148	J12 KABEL
TR2 D438		R14 1K	D14 ZD15V	J13 KABEL
TR3 C9013	SW4 SLIDE	R15 1K	D15 1N4148	J14 TRAFO
TR4 C9013		R16 10K	D16 1N4148	J15 TRAFO
TR5 C9013	BUZER		D17 1K	IC
TR6 C9013	BZ 12 V	R18 10K	D18 1N4148	IC1 LM324
TR7 C9013		R19 10K	D19 1N4148	
		R20 10K	D20 1N4148	

Hasil pemasangan komponen pada PCB A, PCB B dan PCB C sebagai berikut:



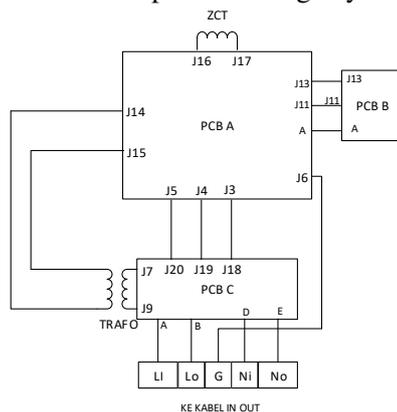


Gambar 6. Bentuk KIT PCB A, B dan C

Setelah semua komponen terpasang pada PCB maka langkah selanjutnya adalah memasang kabel jumper antar PCB sesuai dengan ukuran yang pakai.

9. Proses Penyatuan Antar Bagian PCB

Proses ini adalah proses menyambung antar bagian PCB sehingga menjadi sebuah unit rangkaian yang bekerja membentuk satu fungsi yang kita kehendaki. Sebelum semua PCB kita masukan kedalam casing maka perlu dilakukan penyatuan antar bagian dan harus pastikan fungsinya.



Gambar 7. Rangkaian Jumper Antar PCB

10. Perakitan ke Casing

Bentuk hasil perakitan produk ini setelah dimasukan kedalam box casing adalah cukup baik dan tinggal memberikan beberapa petunjuk operasional panel yang ada dan beberapa penyesuaian dudukan sekrup dan lainnya.

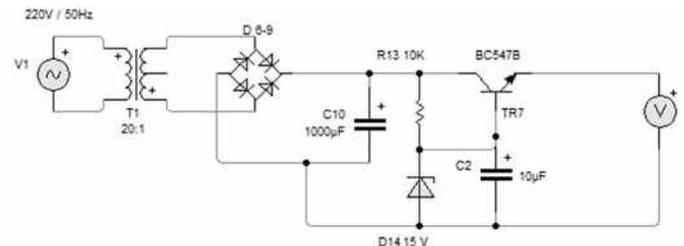


Gambar 8. Bentuk Casing Jadi

METODE PENELITIAN

1. Power Supply

Power supply yang digunakan adalah jenis trafo step down dari 220 VAC ke DC 12 sampai 20 Volt. Trafo yang digunakan jenis non CT pada sisi sekunder sehingga jenis penyearah yang digunakan adalah 4 buah dioda yang dirangkai dengan cara bridge.



Gambar 9. Rangkaian Power Supply

Tabel 2. Pengukuran emitor regulator

No	Hasil Ukur (V)
1	13,64
2	13,66
3	13,64
4	13,63
5	13,62
Total	68,19

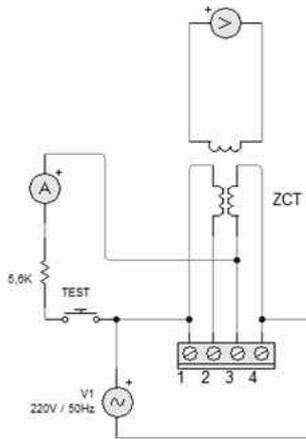
Rata-rata tegangan output regulator adalah : Total tegangan / jumlah ukur
 $= 68,19 / 5 = 13,638 \text{ V}$

2. Sensor ZCT

Sensor ZCT digunakan untuk mengukur selisih arus antara penghantar fasa dan netral. Selisih ini yang dinamakan arus bocor atau arus sisa.

Contoh:

- Arus fasa pergi dari ZCT menuju beban sebesar 1 Amper, kembali melalui netral ke ZCT sebesar 1 Ampere, berarti kebocorannya adalah nol.
- Arus fasa pergi menuju beban sebesar 1 Amper, kembali melalui netral ke ZCT 800 mA, berarti ada arus hilang atau bocor sebesar 200 mA



Gambar 10. Rangkaian Pengukuran

Pengujian ZCT dilakukan dengan membuat simulasi arus bocor menggunakan resistor seperti gambar 4.4. diatas.

Diketahui :

Tegangan kerja saat dilakukan pengujian = 220 VAC
 Resistor simulasi = 5600 Ohm 2 Watt Toleransi 1 %

Dilakukan 5 kali pengukuran dan dihasilkan arus pada rangkaian tersebut adalah :

Tabel 3. Data percobaan arus bocor

NO	V Out ZCT(mV)	I Bocor (mA)	Tegangan Output ZCT
1	117,20	39,110	117,20
2	117,43	39,328	117,74
3	117,30	39,221	117,5
4	117,10	38,99	116,0
5	117,23	39,211	117,34
Total	480,26	195,86	585,74

Dari data pengukuran diatas dapat dibuat perhitungan rata-rata arus bocor

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

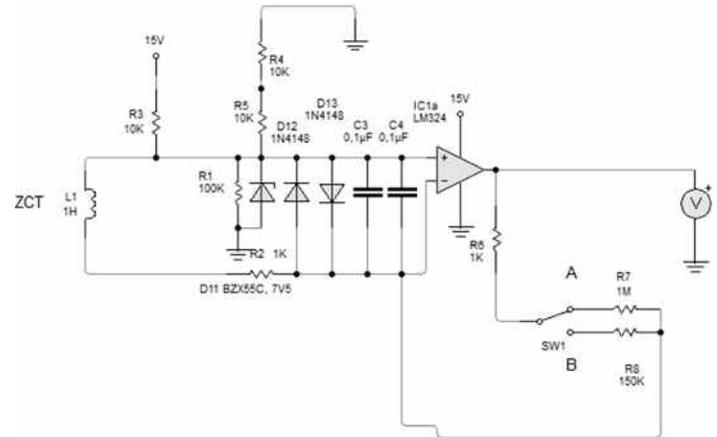
Berikutnya dihitung rata-rata tegangan keluaran dari toroid ZCT dengan melihat tabel pengukuran diatas.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

$$V\text{-Out ZCT} = (n1+n2+n3+n4+n5)/5$$

3. Driver ZCT

Bagian ini terdiri dari sebuah IC LM 324 yang berisi 4 buah Op-Amp yang semuanya difungsikan. Op-Amp 1a berfungsi sebagai penguat tingkat pertama yang mendapat input langsung tegangan dari ZCT.



Gambar 11. Rangkaian Driver ZCT

Tabel 4. Hasil pengukuran rangkaian driver ZCT

NO	V Out ZCT (mV)	I Bocor (mA)	Tegangan Output ZCT	V out IC 1a Sensitivitas A	V out IC 1a Sensitivitas B
1	117,20	39,110	117,20	5,22 VAC	4,21 VAC
2	117,43	39,328	117,74	5,32 VAC	4,35 VAC
3	117,30	39,221	117,5	5,35 VAC	4,34 VAC
4	117,10	38,99	116,0	5,1 VAC	4,10 VAC
5	117,23	39,211	117,34	5,23 VAC	4,22 VAC
Total	480,26	195,86	585,74	26,22 VAC	21,22 VAC

Dari tabel tersebut bisa dihitung rata-rata V output IC 1a sebagai berikut
 V Output IC 1a Saat saklar sensitivitas dalam posisi A :

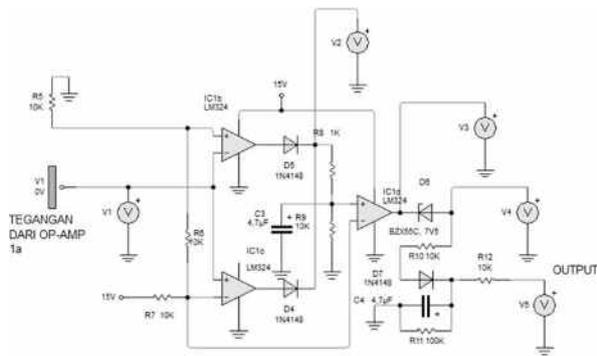
$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5) / 5 \\ &= (5,22+5,32+5,35+5,1+5,23)/5 \\ &= 26,22 / 5 = \mathbf{5,244 VAC} \end{aligned}$$

V Output IC 1a Saat saklar sensitivitas dalam posisi B :

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5 \\ &= (4,21+4,35+4,34+4,10+4,22)/5 \\ &= 21,22 / 5 = \mathbf{4,244 VAC} \end{aligned}$$

4. Komparator

Rangkaian selanjutnya yang diukur adalah komparator yang merupakan urutan dari rangkaian driver ZCT. Pengukuran dilakukan bersamaan dengan pengukuran rangkaian sebelumnya dengan sumber tegangan AC 220 V yang sama dan menggunakan arus bocor yang sama.



Gambar 12. Rangkaian Komparator

Tabel 5. Pengukuran tegangan standby pada komparator

Titik Ukur	Pengukuran (mV)					Rata-Rata (mV)
	1	2	3	4	5	
V 1	7,39	7,32	7,35	7,37	7,39	7,364
V 2	0,20	0,221	0,231	0,220	0,232	0,2208
V 3	0,30	0,33	0,33	0,321	0,324	0,321
V 4	-0,661	-0,665	-0,662	-0,662	-0,665	-0,663
V 5	2,90	2,92	2,91	2,92	2,93	2,916

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

Pengukuran Tegangan Saat Bekerja

Percobaan pertama dengan saklar sensitivitas A dan posisi *push button Test* ditekan.

Tabel 6. Hasil pengukuran rangkaian komparator Test A.

Titik Ukur	Pengukuran (mV)					Rata-Rata (mV)
	1	2	3	4	5	
V 1	5,44	5,41	5,42	5,42	5,43	5,424
V 2	8,86	8,86	8,87	8,87	8,86	8,864
V 3	10,73	10,73	10,74	10,75	10,73	10,736
V 4	3,26	3,27	3,26	3,27	3,26	3,264
V 5	1,23	1,22	1,24	1,24	1,25	1,236

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

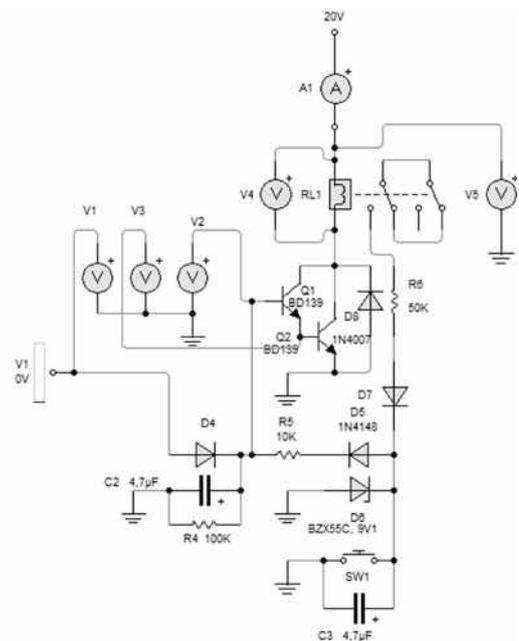
Tabel 7. Hasil pengukuran rangkaian komparator Test B.

Titik Ukur	Pengukuran (mV)					Rata-Rata (mV)
	1	2	3	4	5	
V 1	4,61	4,62	4,61	4,63	4,61	4,616
V 2	8,86	8,86	8,87	8,88	8,86	8,866
V 3	10,77	10,77	10,78	10,76	10,77	10,77
V 4	3,29	3,27	3,29	3,28	3,27	3,28
V 5	1,23	1,23	1,24	1,22	1,23	1,23

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

5. Driver Relay dan Pengunci

Rangkaian ini berfungsi untuk menggerakkan *relay* dan menguncinya dalam posisi *ON* terus sampai di *reset*. *Driver relay* menggunakan 2 buah transistor yang dirangkai secara *darlington*, sebagai pengunci memanfaatkan *pin NO relay* yang mendapatkan tegangan AC 220 V saat *relay on* dan sekaligus menguncinya. Tegangan AC 220 V yang berasal dari *pin NO relay* sudah disearahkan dengan dioda *IN 4007* dan arusnya sudah diturunkan dengan resistor 50 K. Agar tegangan bisa sesuai dengan rangkaian maka dipasanglah *zener 12 V* yang membatasi tegangan DC tidak terlalu tinggi yang bisa merusak rangkaian. *Reset* dilakukan dengan cara membuat tegangan pengunci yang berasal dari *relay* menjadi nol sehingga *transistor off* dan *relay* tidak terkunci lagi.



Gambar 13. Rangkaian Relay dan Pengunci

6. Pengukuran Tegangan Standby

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter digital *Sanwa CD 800* secara berurutan dengan 5 kali pengukuran setiap titik ukurnya.

Pengukuran pertama dalam keadaan rangkaian *standby* dihasilkan hasil sebagai berikut:

Tabel 8. Data pengukuran tegangan standby driver relay

Titik Ukur	Pengukuran					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
V 1	80	80,01	80,13	80,12	80,11	80,074
V 2	76,44	76,39	76,46	76,45	76,44	76,436
V 3	39,33	39,35	39,39	39,11	39,35	39,306
V 4	325	325,12	325,11	324,92	325,11	325,052
V5	24,54	24,49	24,58	24,51	24,50	24,524
A1	2,34	2,33	2,34	2,32	2,34	2,334

Keterangan : V1 sampai V5 dalam mili Volt (mV)
A1 dalam satuan mili Amper (mA)

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

7. Pengukuran Kondisi Trip

Untuk melakukan pengukuran saat *trip* maka dilepas dulu rangkaian pengunci yaitu *R6* yang berasal dari *NO relay* sehingga *relay* tidak akan mengunci, *relay* hanya akan *on* saat *push on test* ditekan. Kondisi *trip* akan bertahan seterusnya sampai tombol *reset* ditekan atau *power supply* dimatikan.

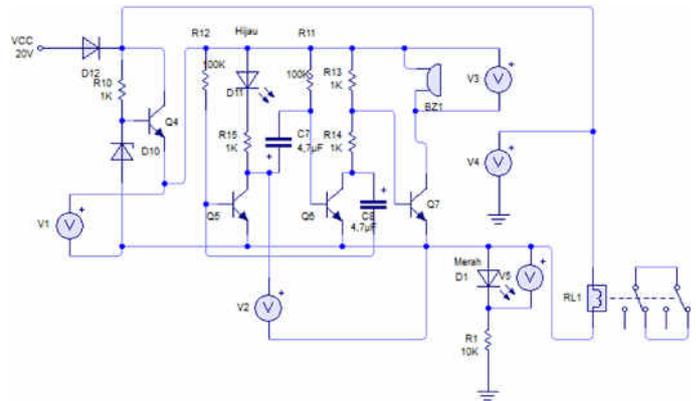
Tabel 9. Data pengukuran driver relay kondisi trip

Titik Ukur	Pengukuran					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
V 1	3,2 V	3,21 V	3,2 V	3,21 V	3,22 V	3,208 V
V 2	2,8 V	2,81 V	2,83 V	2,79 V	2,81 V	2,808 V
V 3	719 mV	720 mV	721 mV	720 mV	719 mV	719,8 mV
V 4	15,5 V	15,51 V	15,52 V	15,51 V	15,50 V	15,508 V
V5	16,1 V	16 V	16,12 V	16,11 V	16 V	16,066 V
A1	129 mA	129 mA	130 mA	129 mA	129 mA	129,2 mA

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5)/5$$

8. Display

Rangkaian ini terdiri dari komponen LED dan buzzer untuk menandakan keadaan *trip*. LED berukuran 3 mm dan buzzer 5 Volt DC aktif.



Gambar 14. Rangkaian Display

9. Pengukuran Dalam Keadaan Standby

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tegangan yang terdapat pada titik rangkaian seperti pada gambar diatas.

Tabel 10. Data pengukuran rangkaian driver relay kondisi standby

Titik Ukur	Pengukuran					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
V 1	76,1mV	76,2mV	76,1mV	76,2mV	76,9mV	76,3 mV
V 2	62 mV	62,1mV	63,2mV	64 mV	62,2mV	62,7 mV
V 3	16,6mV	17 mV	16,8 mV	16,9 mV	16,5 mV	16,76 mV
V 4	24,6 V	24,5 V	24,5 V	24,6 V	24,6 V	24,56 V
V5	1,82 V	1,82 V	1,8 V	1,85 V	1,83 V	1,824 V

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{X} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5) / 5$$

10. Pengukuran Dalam Keadaan Aktif

Pengukuran ini dilakukan dalam keadaan rangkaian aktif bekerja secara normal dengan posisi rangkaian *trip* dan *relay* mengunci. Tegangan kerja dari rangkaian indikator ini dihubungkan secara *paralel* dengan koil *relay*, sehingga rangkaian ini akan mendapatkan tegangan saat *relay* sedang *on*.

Tabel 11. Data pengukuran rangkaian driver relay kondisi trip

Titik Ukur	Pengukuran					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
V 1	4,48 V	4,49 V	4,49 V	4,5 V	4,5 V	4,492 V
V 2	2,62 V	2,62 V	2,63 V	2,61 V	2,63 V	2,622 V
V 3	3,81 V	3,82 V	3,83 V	3,81 V	3,81 V	3,816 V
V 4	16,12 V	16,1 V	16,2 V	16,12 V	16,1 V	16,128 V
V5	0,71 V	0,69 V	0,685 V	0,688 V	0,71 V	0,696 V

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{x} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5) / 5$$

11. Pengukuran Arus Pemakaian

Pengukuran dilakukan untuk mengukur konsumsi arus saat standby maupun saat bekerja. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan Ampere meter AC.

Pengukuran dilakukan dalam 2 tahap yaitu :

a. Mengukur arus *standby* dengan cara memberikan tegangan kerja 225 V dan membiarkan pengaman *standby* dan amati nilai arus yang dikonsumsi. Dari pengukuran yang dilakukan didapat data arus stanby adalah 10,55 mA. Maka bila dijadikan watt akan ketemu $P = I \times V = 0,0105 \text{ Amper} \times 225 \text{ Volt} = \mathbf{2,373 \text{ Watt}}$

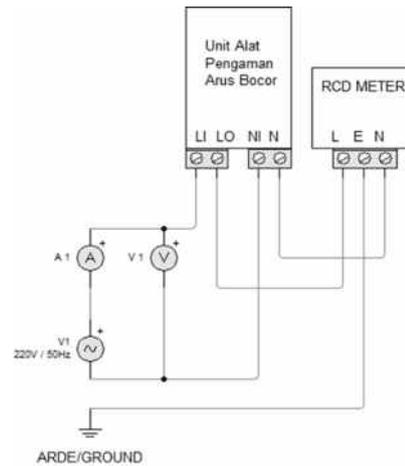
b. Mengukur arus dengan cara memposisikan pengaman dalam kondisi trip dan didapatkan nilai arus 21,63 mA. Bila dijadikan Watt akan ketemu:

$$P = I \times V = 0,021 \times 225 = \mathbf{4,866 \text{ Watt}}$$

Dengan hasil pengukuran tersebut maka dapat disimpulkan konsumsi arus alat pengaman ini ketika *standby* adalah sangat kecil sehingga tidak terlalu membebani tagihan listrik.

12. Pengukuran Sensitivitas dan Kecepatan Pemutusan

Pengujian ini dilakukan dengan alat ukur RCD meter merek UNI-T UT 582 yang akan menunjukkan titik trip dan waktu pemutusan dari mulai ada gangguan arus bocor hingga trip.



Gambar 15. Rangkaian Pengukuran dengan RCD

Tabel 12. Percobaan pengukuran pengaman arus bocor dengan RCD

Percobaan	Posisi selektor A		Posisi selektor B	
	Titik Trip	Waktu Trip	Titik Trip	Waktu Trip
1	6 mA	151 mS	15 mA	125 mS
2	6 mA	143 mS	15 mA	132 mS
3	6 mA	144 mS	15 mA	135 mS
4	6 mA	143 mS	15 mA	133 mS
5	6 mA	145 mS	15 mA	133 mS
6	6 mA	145 mS	15 mA	132 mS
7	6 mA	144 mS	15 mA	135 mS
8	6 mA	143 mS	15 mA	127 mS
9	6 mA	144 mS	15 mA	127 mS
10	6 mA	144 mS	15 mA	127 mS
Σx	60 mA	1446 mS	150 mA	1306 mS
Rata-Rata	6 mA	144,6 mS	15 mA	130 mS

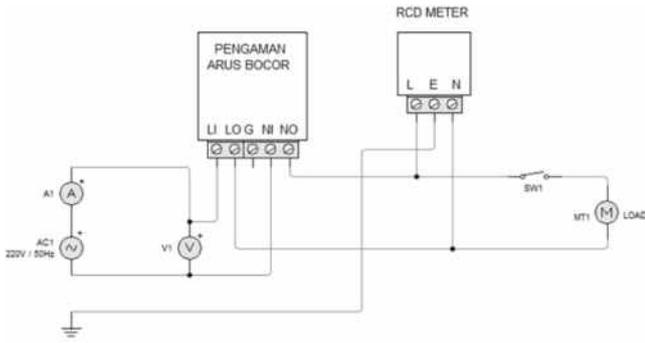
Dari data diatas dapat diambil perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Rumus rata-rata } \bar{x} = \frac{\sum X}{n} = (x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10) / 10$$

Dari data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa titik arus trip tidak bergeser geser dan yang mengalami pergeseran adalah kecepatan trip. Kecepatan trip dipengaruhi oleh mekanis relay, tetapi pergeseran waktu trip ini masih sangat sedikit tidak lebih dari 5 mS sehingga masih wajar.

13. Pengukuran Pengaruh Beban Terhadap Sensitivitas

Dalam percobaan ini akan diuji pengaruh beban pada output alat pengaman terhadap sensitivitas yang ditetapkan. Pengukuran ini membandingkan antara sensitivitas sebelum diberi beban dan sesudah diberi beban. Percobaan menggunakan RCD meter dengan rating ukur 30 mA. Berikut ini gambar rangkaian pengukurannya.



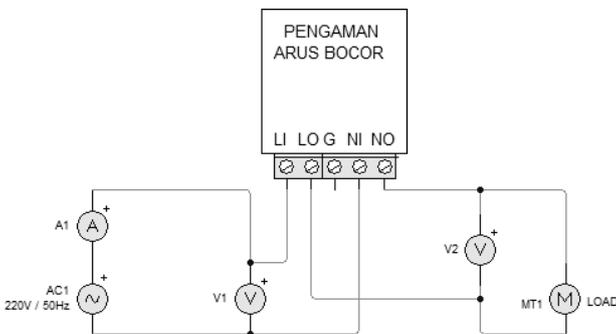
Gambar 16. Rangkaian Pengujian dengan Beban

Tabel 13. Hasil pengujian pengaruh beban terhadap sensitivitas

Jenis Pengukuran	Waktu pengukuran										Rata Rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sum ber Teg	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	22 1V	221 V
Volt 1	22 1V	21 8V	22 1V	21 8,5V	22 0,5V	21 9V	22 1V	21 9,6V	22 0V	21 8,7V	219,73 V
Amp 1	0,00 9A	10,3 A	0,00 9A	10,2 A	0,00 9A	10,1 2A	0,00 9A	10,2 5A	0,00 9A	10,1 2A	
RCD sensif A	6/15 2	6/14 2	6/14 6	6/14 1	6/14 0	6/14 14	6/14 14	6/14 14	6/13 14	6/14 14	6/144,5 5
RCD sensif B	15/26	15/24	15/23	15/28	15/27	15/28	15/25	15/25	15/27	15/23	15/125,6 6
Swit ch 1	off	on	off	on	off	on	off	on	off	on	

14. Pengukuran Rugi Tegangan

Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui rugi tegangan yang terjadi pada pengaman arus bocor ini. Percobaan dilakukan dengan memberikan beban sebesar 10 Amper pada output. Percobaan dilakukan selama rentang waktu satu jam dan dibagi dalam pengukuran tiap 10 menit.



Gambar 17. Rangkaian Pengukuran Rugi Tegangan

Tabel 14. Hasil percobaan rugi tegangan

Percobaan	AC 1(V)	A1 (A)	V 1 (V)	V 2 (V)
Menit ke 10	220,1	10,1	220,1	219,8
Menit ke 20	220,2	10	220,2	219,9
Menit ke 30	220,3	9,99	220,3	219,8
Menit ke 40	220,3	9,99	220,3	219,9
Menit ke 50	220,3	9,98	220,3	219,8
Σx	1101,2	50,06	1101,2	1099,2
Rata rata	220,24	10,012	220,24	219,84

15. Percobaan Noise

Percobaan ini dilakukan dengan maksud mencoba gangguan yang sering terjadi dan bisa mengganggu kerja dari alat pengaman arus bocor dalam proyek akhir ini. Percobaan menggunakan beberapa alat rumah tangga yang mengeluarkan frekuensi atau yang berupa motor listrik.

1. Percobaan untuk menghidupkan peralatan kantor komputer dan mesin kantor lainnya, dalam percobaan ini normal tidak ada noise yang mengganggu kerja alat pengaman
2. Percobaan dengan alat pertukangan kayu dan besi, mesin bor tangan, mesin gerinda, mesin potong, mesin las *portable* semuanya aman tidak menimbulkan gangguan yang menyebabkan *error*.
3. Percobaan dengan gangguan sinyal *handphone* dengan posisi telpon, dalam percobaan ini aman dan tidak terganggu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dihasilkan sebuah alat pengaman arus bocor listrik yang memiliki bentuk sebagai berikut:



Gambar 18. Bentuk Alat Hasil Penelitian

Pengaman arus bocor atau ELCB tersedia juga dipasaran, barang ini kebanyakan berasal dari luar Indonesia. Sebagai perbandingan maka diambil 2 sampel merek yaitu merek Sunfree dan merek Jiabao.

Spesifikasi ELCB Merek Sunfree :
 $I = 40 \text{ Ampere}$
 $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$
 $U_n = 240 \text{ V}$
 $t = \leq 0,1 \text{ Detik}$
 $\text{Frek} = 50 \text{ Hz}$

Spesifikasi ELCB Merek Jiabao
 $I = 40 \text{ Ampere}$
 $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$
 $U_n = 230 \text{ V}$
 $t = \leq 0,1 \text{ Detik}$
 $\text{Frek} = 50 \text{ Hz}$

Tabel 15. Data pengukuran ELCB merek Sunfree dan Jiabao

Percobaan	Sunfree		Jiabao	
	Titik Trip	Waktu Trip	Titik Trip	Waktu Trip
1	25 mA	41 mS	22 mA	30 mS
2	24 mA	40 mS	23 mA	30 mS
3	25 mA	45 mS	22 mA	29 mS
4	25 mA	47 mS	22 mA	29 mS
5	24 mA	48 mS	22 mA	30 mS
6	24 mA	45 mS	22 mA	30 mS
7	25 mA	41 mS	23 mA	29 mS
8	25 mA	45 mS	22 mA	30 mS
9	24 mA	45 mS	22 mA	30 mS
10	25 mA	40 mS	22 mA	30 mS
Σx	246	437	222	297
Rata-Rata	24,6 mA	43,7 mS	22,2 mA	29,7 mS

Pengukuran selanjutnya adalah pemakaian arus *standby*, Didapat data :

1. ELCB Sunfree Arus *standby* = 1,35 mA pada tegangan 220 V Maka pemakaian daya adalah $P = I \times V = 0,00135 \times 220 = \mathbf{0,297 \text{ Watt}}$
2. ELCB Jiabao Arus *standby* = 0,02 mA pada tegangan 220 V. Maka pemakaian daya adalah $P = I \times V = 0,00002 \times 220 = \mathbf{0,0044 \text{ Watt}}$

Perbandingan alat pengaman arus bocor 1 fasa dalam tugas akhir ini dengan kedua merek tersebut diatas dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Arus *trip* merek Tugas Akhir adalah $A = 6 \text{ mA}$
 $B = 15 \text{ mA}$ Merek Sunfree arus *trip* 24,6 mA
Merek Jiabao arus *trip* = 22,2 mA. Jadi alat pengaman merek TA masih lebih sensitiv dan memiliki kelebihan bisa diatur ukuran sensitivnya.

2. Kecepatan *trip* pengaman merek TA = 130 mS
Pengaman merek Sunfree = 43,7 mS
Pengaman merek Jiabao = 29,7 mS. Pengaman merek TA masih kurang cepat dalam *trip* yaitu ketinggalan dari merek lain. Hal ini terjadi karena pemutus masih menggunakan *relay* sedangkan merek lain menggunakan selenoid mekanik.
3. Penggunaan arus *standby* pengaman merek TA = 2,37 Watt
Pengaman merek Sunfree = 0,297 Watt
Merek Jiabao = 0,0044 Watt. Dengan data tersebut pengaman arus bocor TA masih lebih banyak menggunakan arus *standby*.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Software Liveware sangat bisa membantu memilih komponen dan skema karena bisa dijalankan sekaligus menampilkan besaran tegangan, arus, daya dan bentuk gelombang melalui menu osiloskop.
2. Membuat ZCT dengan *toroid ferite* yang dicari dipasaran lokal harus teliti dan mencari ukuran diameter yang sesuai dengan ukuran dimensi *box* rangkaian, besar kabel yang akan dililitkan dan isolator yang akan digunakan.
3. Dalam membuat rangkaian yang dimulai dari sensor hingga *relay* menemukan kendala karena akan ditempatkan pada *box* yang beberapa komponen sekaligus sebagai operasional yaitu saklar dan tombol maka menata komponen tersebut dalam PCB harus sangat presisi.
4. Pengujian arus *trip* terhadap *prototipe* alat pengaman arus bocor ini harus dilakukan pada tegangan yang normal yaitu antara 190 sampai 240 V. Perubahan tegangan akan mempengaruhi nilai arus bocor yang terukur karena menggunakan rumus $I = V/R$ sehingga dalam beberapa kali percobaan *trip* arus bocor tegangan kerja harus dengan nilai yang sama agar mendapat nilai rata-rata arus bocor yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional SNI, Peraturan Umum Instalasi Listrik PUIL 2011 pembaruan, Indonesia 2012
<https://www.digikey.com/.../ct-c-ct-and-zct-series-current-se> 2015
<http://www.duniamaska.com> 2016
<http://www.duniaberbagiilmuuntuksemua.blogspot.co.id> 2016
Fairchild Semiconductor International, IC OP-Amp, Germany, 2012
www.hantek.com/en/, China, 2017
<https://ilmukulistik.blogspot.com> 2014
<http://www.lelong.com.my/uni-t> 2015
www.pln.co.id, gawai arus bocor, Indonesia 2015
<http://www.robotics-university.com> 2013
<https://sawijiningdina.wordpress.com/2014>
<http://surya-management.blogspot.co.id/2011>
www.teknikelektronika.com, Indonesia, 2015
<http://.3.bp.blogspot.com> 2016.