
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 12 NOMOR 3

DESEMBER 2016

Sistem Proteksi Arus Bocor Menggunakan Earth Leakage Circuit Breaker Berbasis Arduino 111-118

Syukriyadin

JRE	Vol. 12	No. 3	Hal 73-118	Banda Aceh, Desember 2016	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	------------------------------	--------------------------------------

Sistem Proteksi Arus Bocor Menggunakan Earth Leakage Circuit Breaker Berbasis Arduino

Syukriyadin

Pusat Studi Kelistrikan dan Energi Terbarukan
Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No. 7, Banda Aceh 23111
email: syukriyadin@unsyiah.ac.id

Abstrak—Sentuhan pada bagian listrik aktif terjadi karena faktor kesengajaan ataupun tidak dapat menimbulkan sengatan listrik. Sentuhan pada bagian aktif listrik yang bertegangan ini dapat terjadi secara langsung ataupun tidak dan dapat mengakibatkan aliran arus listrik melalui tubuh manusia menuju tanah. Arus listrik yang mengalir pada tubuh manusia yang dikenal sebagai arus bocor dapat mengakibatkan kecelakaan pada tubuh manusia seperti terjadinya luka bakar, kejang, pingsan dan kematian. Berdasarkan hal tersebut paper ini bertujuan untuk mendesain suatu model purwarupa perangkat proteksi *earth leakage circuit breaker* berbasis Arduino (ELCBA) untuk melindungi tubuh manusia dari bahaya sentuhan listrik. Kinerja ELCBA diuji dengan mendeteksi arus bocor yang mengalir pada bagian sistem pentanahan (TN). Model purwarupa tersebut disimulasikan menggunakan perangkat lunak Proteus untuk melihat kinerja peralatan dalam mendeteksi arus bocor yang mengalir pada sistem pentanahan. Berdasarkan hasil uji simulasi yang dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa respon perangkat proteksi ELCBA dapat beroperasi dengan baik apabila telah terdeteksi arus bocor ≥ 30 mA pada sistem pentanahan dengan waktu tunda pemutusan 15 ms dan waktu pemulihan (*reclose*) adalah 5 menit setelah terjadi pemutusan rangkaian.

Kata kunci: *sengatan listrik, tegangan sentuh, arus bocor, ELCB, Arduino*

Abstract—Touching a live part of electrical equipment either intentionally or unintentionally can cause an electric shock. The touch can occur directly or indirectly and results in the flow of electric current through the human body to the ground. This electric current is known as the leakage current and can have fatal effects on the human body such as burns, cramps, faint and death. This paper aims to design a prototype protection model of the earth leakage circuit breaker device based on Arduino (ELCBA) to protect the human body from the electrical hazards. The performance of the ELCBA is investigated by detecting the earth leakage current to the grounding system (TN). The prototype is designed and simulated by using Proteus software. Based on the response test carried out on the prototype, it can be concluded that the ELCBA can operate properly to disconnect the electric circuit if the leakage current is detected greater than or equal to 30 mA with a time delay of 15 ms and to reclose the circuit again after 5 minutes.

Keywords: *electric shock, touch voltage, leakage current, ELCB, Arduino*

I. PENDAHULUAN

Kurang dan minimnya tingkat pengamanan pada sistem instalasi listrik dapat menimbulkan resiko bahaya terhadap tubuh manusia bila bersentuhan dengan bagian listrik yang aktif dimana pada taraf tertentu saat bersentuhan dengan bagian listrik aktif dapat menimbulkan kematian. Berdasarkan laporan pada referensi [2], kasus bersentuhan terhadap bagian listrik aktif baik secara langsung ataupun tidak dapat menimbulkan kecelakaan yang memberikan dampak seperti luka bakar pada bagian tubuh, mengalami kejang, pingsan dan bahkan sampai mengalami kematian.

Bersentuhan dengan bagian listrik aktif dapat terjadi secara langsung dengan menyentuh bagian listrik yang memiliki tegangan sama dengan tegangan sumber atau menyentuh peralatan listrik yang mengalami kegagalan ataupun rusak material isolasi peralatannya dimana faktor kegagalan isolasi ini merupakan penyebab 30% dari gangguan listrik [1]. Resiko kegagalan ataupun

kerusakan isolasi pada material peralatan listrik seringkali menimbulkan sengatan pada tubuh manusia saat mengalami sentuhan secara langsung ataupun tidak langsung dengan peralatan listrik. Akibat sengatan tersebut mengakibatkan timbulnya arus listrik yang mengalir ke dalam tubuh manusia menuju tanah, arus listrik yang mengalir ke dalam tubuh ini dikenal sebagai arus bocor.

Arus bocor dapat mengalir ke dalam tubuh manusia karena tubuh manusia sehat memiliki resistansi rata-rata R_b menurut standar IEEE 80:2000 [3] sebesar 1000 Ω . Jadi sesuai dengan hukum Ohm dapat dijabarkan bahwa bila sebuah resistansi terhubung ke bagian tegangan aktif V maka akan mengalir arus pada tahanan tersebut sebesar I . Arus bocor ini menunjukkan terjadinya gangguan ketidakseimbangan aliran arus pada bagian fasa dan netral rangkaian [4].

Sistem instalasi listrik harus dilengkapi dengan sistem pentanahan dan menghubungkan bagian luar pelindung (selungkup) peralatan listrik yang terbuat dari

material konduktor yang dapat dilalui arus dengan sistem pentanahan untuk mengurangi resiko besarnya arus bocor listrik yang mengalir ke dalam tubuh manusia [5]. Selain itu, peralatan ELCB [6],[7] juga dapat digunakan untuk perlindungan terhadap arus bocor yang timbul saat terjadi sentuhan ke bagian listrik aktif dengan cara membandingkan arus yang mengalir pada fasa dan netral ataupun mendeteksi arus bocor pada sistem pentanahan yang terhubung ke bagian sistem netral (TN).

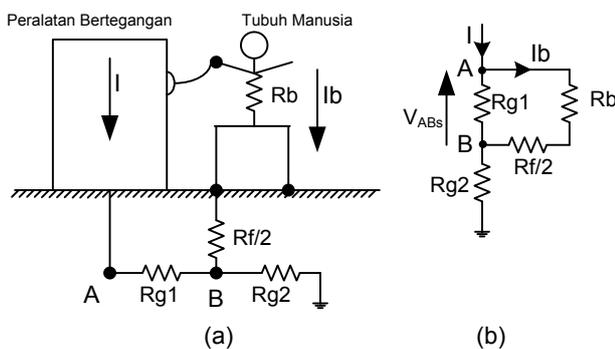
Ada beberapa penelitian terkait dengan proteksi arus bocor seperti yang tersebut dalam [8], Arduino telah digunakan untuk mengontrol servo motor ELCB yang dilengkapi dengan ICOMSAT GSM, dan dalam [9] arus bocor telah diidentifikasi dengan menggunakan metode analisis frekuensi domain pada sistem tegangan rendah untuk beban peralatan listrik, dan dalam [10] telah dilakukan pengujian ELCB menggunakan arduino yang dikombinasikan dengan fungsi proteksi MCB dimana dalam pengujiannya selengkap peralatan tidak ditanahkan. Penelitian dalam [11] menjelaskan arus gangguan hubung singkat ke tanah dan efeknya bila tersengat oleh tubuh serta sistem proteksi yang digunakan dan penggunaan sistem pentanahan peralatan. Berdasarkan hal tersebut, paper ini akan membahas *earth leakage circuit breaker* (ELCB) berbasis Arduino yang disimulasikan berdasarkan prinsip kerja pendeteksian arus bocor pada bagian sistem pentanahan (TN), sehingga manusia yang menyentuh bagian peralatan listrik aktif dapat dilindungi dalam rentang waktu sesingkat mungkin.

II. STUDI PUSTAKA

A. Gangguan Arus Bocor

Gangguan yang menyebabkan arus bocor pada suatu objek material konduktor dapat disebabkan oleh adanya bagian listrik aktif bertegangan terhubung ketanah.

Gangguan bagian bertegangan yang terhubung ketanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [3],[12] dapat terjadi secara langsung oleh karena suatu objek konduktor menyentuh bagian sumber yang bertegangan misal seperti bagian tubuh menyentuh kawat fasa listrik yang aktif atau menyentuh bagian peralatan listrik aktif yang mengalami kegagalan isolasi sehingga objek mendapat



Gambar 1. (a) Tegangan sentuh pada tubuh, (b) Rangkaian ekuivalen tegangan sentuh [3],[12]

tegangan, proses ini dikenal sebagai gangguan tegangan sentuh yang mengakibatkan terjadinya arus bocor ketanah melalui objek yang menyentuh peralatan yang bertegangan tersebut. Dimana I adalah arus pada peralatan, I_b adalah arus bocor yang mengalir pada tubuh, R_b adalah tahanan tubuh, R_f adalah tahanan kontak ke tanah pada kaki, $R_{g1,2,3}$ adalah tahanan tanah dan V_{Abs} adalah tegangan sentuh.

Berdasarkan Gambar 1 maka besar arus bocor I_b yang mengalir adalah seperti ditunjukkan pada persamaan (1).

$$I_b = \frac{V_{Abs}}{R_b + \frac{R_f}{2}} \tag{1}$$

Dilain hal gangguan bagian bertegangan terhubung ketanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 [3],[12] terjadi secara tidak langsung misal karena objek dekat dengan bagian sumber tegangan aktif dimana objek terinduksi secara medan elektromagnetis (peluahan medan), proses ini dikenal sebagai gangguan tegangan langkah (tegangan antara kaki objek) V_{Abi} yang dapat menimbulkan arus bocor mengalir melalui antara kaki objek tersebut ke tanah.

Berdasarkan Gambar 2 maka besarnya arus bocor I_b yang mengalir adalah seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$I_b = \frac{V_{Abi}}{R_b + 2R_f} \tag{2}$$

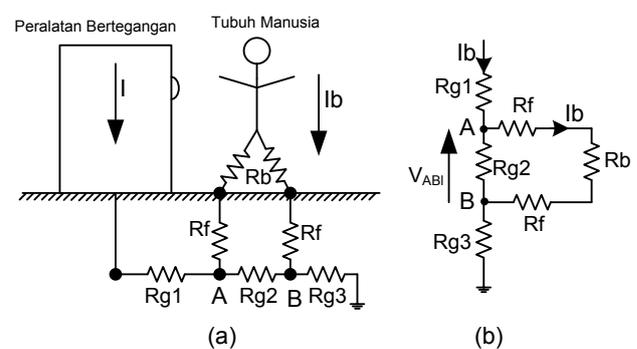
Untuk kedua kasus diatas menurut standar IEEE 80:2000 tahanan tubuh R_b adalah 1 kΩ dan $R_f = 3\rho_s$, dimana ρ_s adalah tahanan tanah sehingga untuk kasus tegangan sentuh besarnya tahanan tubuh efektif R_{ets} adalah seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (3) [3],[12]:

$$R_{ets} = 1000 + 1,5\rho_s \tag{3}$$

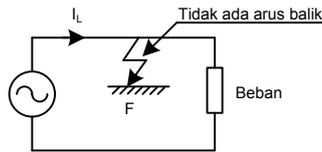
Dan untuk kasus kedua besarnya tahanan tubuh efektif R_{ets} adalah seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4) [3],[12]:

$$R_{ets} = 1000 + 6\rho_s \tag{4}$$

Berdasarkan refererensi [3] dan [12] dinyatakan bahwa kegagalan fungsi jantung (*ventricular fibrillation*) saat terjadi arus bocor yang mengalir pada tubuh masih dapat di cegah jika arus bocor I_b yang terjadi lebih kecil atau



Gambar 2. (a) Tegangan langkah pada tubuh; (b) Rangkaian ekuivalen tegangan langkah [3],[12]



Gambar 3. Sistem tanpa pentanahan [13]

sama dengan arus bocor I_{bs} untuk durasi T (sec) lamanya gangguan sesingkat mungkin seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5) [3],[12].

$$I_{bs} = \frac{0,116}{\sqrt{T}} \tag{5}$$

Arus bocor akibat tegangan sentuh terjadi karena tegangan sentuh telah melebihi 50 (Volt) efektif [5]. Maka dengan demikian besarnya tegangan sentuh V_{ABs} yang diizinkan adalah dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) dan persamaan (2.5) kedalam persamaan (2.1) diperoleh [3],[12]:

$$V_{ABs} = \frac{116 + 0,17\rho_s}{\sqrt{T}} \tag{6}$$

Dengan cara yang sama, persamaan (2.4) dan persamaan (2.5) disubstitusikan ke persamaan (2.2) diperoleh besarnya tegangan langkah V_{ABl} sebagai berikut [3],[12]:

$$V_{ABl} = \frac{116 + 0,7\rho_s}{\sqrt{T}} \tag{7}$$

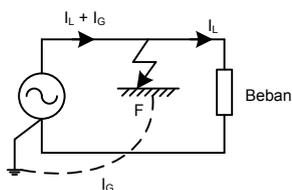
B. Pengaman Pentanahan

Saat terjadi gangguan F pada sistem yang tidak memiliki sistem pentanahan peralatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 tidaklah mudah untuk mendeteksi arus bocor I_b untuk dihilangkan [13].

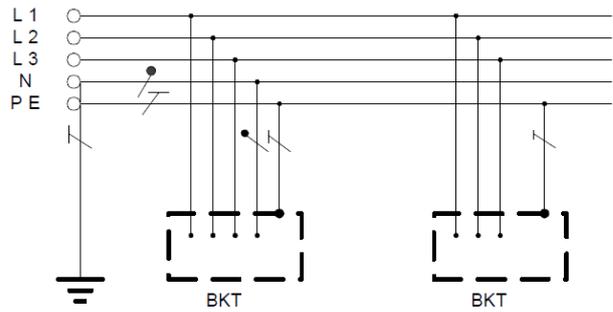
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa arus gangguan tidak akan balik menuju pada sumber dimana hanya ada arus jaringan I_L yang membesar karena resistansi/impedansi gangguan yang kecil.

Untuk sistem yang menggunakan pentanahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 [13], dimana gangguan untuk *cycle* pertama yang terjadi dapat dihilangkan dengan segera karena keberadaan arus bocor I_b dapat dideteksi keberadaannya oleh alat sistem proteksi yang sesuai tanpa harus menunggu gangguan yang berakibat menjadi lebih besar.

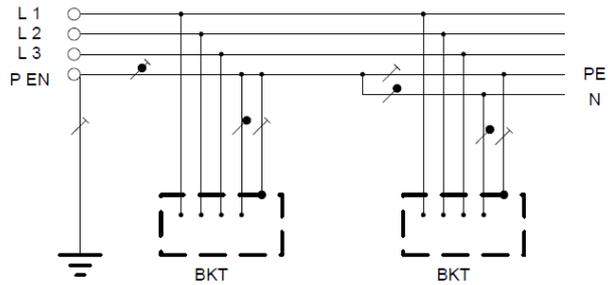
Tujuan utama dilakukan pentanahan peralatan listrik yang diselengkapi dengan material konduktor adalah untuk untuk mendapatkan resistansi/impedansi yang



Gambar 4. Sistem dengan pentanahan [13]



Gambar 5. Pentanahan TN-S [5]



Gambar 6. Pentanahan TN-C-S [5]

sekecil mungkin sehingga bilamana terjadi sentuhan ataupun peluahan muatan pada peralatan tersebut akan dapat mengurangi arus bocor yang mengalir pada tubuh.

Sistem pengaman pentanahan dapat dilakukan dengan cara menggunakan sistem pentanahan TN atau sistem Pembumihan Netral Pengaman (PNP) dengan resistansi pentanahan ≤ 5 (Ω) [5].

Sistem TN terdiri dari tiga jenis dengan susunan penghantar netral dan penghantar proteksi untuk mengamankan bagian konduktor terbuka (BKT) adalah sebagai berikut:

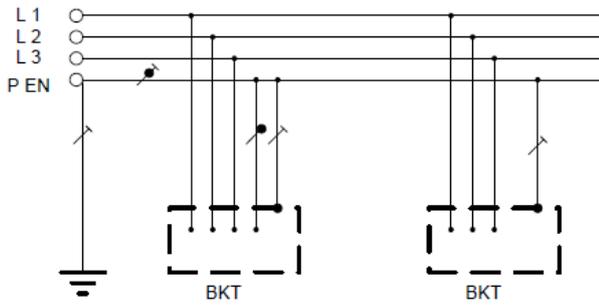
- Sistem TN-S: digunakan penghantar proteksi terpisah diseluruh sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.
- Sistem TN-C-S: dimana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal disebagian sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.
- Sistem TN-C: dimana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal diseluruh sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

C. Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB)

Pentanahan tidaklah dapat menjamin bahwa manusia dapat diproteksi dengan seutuhnya terhadap arus bocor yang mengalir melalui tubuh manusia saat bersentuhan dengan peralatan listrik aktif oleh karena itu diperlukan alat proteksi lain yang diset dengan sensitifitas tinggi untuk mendeteksi arus bocor.

Alat proteksi tersebut adalah ELCB [6],[7],[13] yang bekerja berdasarkan prinsip ketidak keseimbangan arus yang mengalir pada sistem.

Dalam kondisi normal seperti yang ditunjukkan pada



Gambar 7. Pentanahan TN-C [5]

Gambar 8, dapat dilihat bahwa ELCB tidak beroperasi karena arus line I_L sama dengan arus netral I_N ($I_L = I_N$), sehingga arus yang dirasakan trafo arus CT $I_b = 0$.

Dalam kondisi abnormal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, dapat dilihat bahwa ELCB beroperasi memutuskan (*break*) sistem karena arus line I_L tidak sama dengan arus netral I_N ($I_L \neq I_N$; $I_L = I_N + I_b$), sehingga arus yang dirasakan trafo arus CT $I_b \neq 0$.

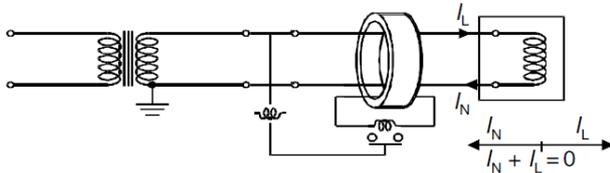
Instalasi ELCB tidak boleh di terapkan pada sistem pentanahan TN-C namun dapat ditambahkan pada sistem pentanahan TN-S dan TN-C-S [5].

Dengan menggunakan kurva karakteristik ELCB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, sensitifitas pemutusan (*break*) ELCB diset pada 30 (mA) dengan waktu durasi pemutusan minimum 15 (ms) setelah gangguan, hal ini dilakukan untuk menjaga agar arus bocor yang terjadi tidak memasuki zona 3 dimana dapat menyebabkan gagalnya fungsi jantung.

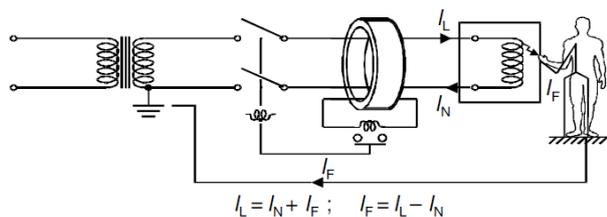
D. Arduino Uno R3

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang [14].

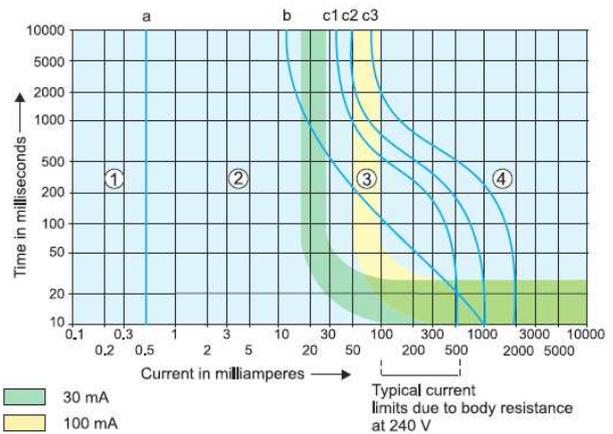
Hardware Arduino terdiri dari mikrokontroler unit (MCU) yang memiliki prosesor *AVR Atmel* dan



Gambar 8 ELCB dalam keadaan normal [4]



Gambar 9. ELCB Dalam keadaan abnormal [4]



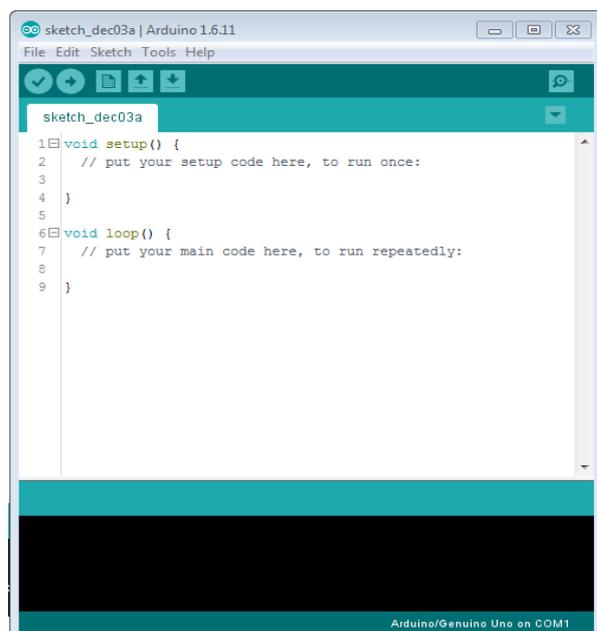
Gambar 10. Kurva karakteristik ELCB [7]

softwernya memiliki bahasa pemrograman sendiri yang disebut *Integrated Development Environment (IDE)* dimana program yang ditulis menggunakan ‘*Arduino Software (IDE)*’ selanjutnya disebut ‘*Sketch*’[14],[15].

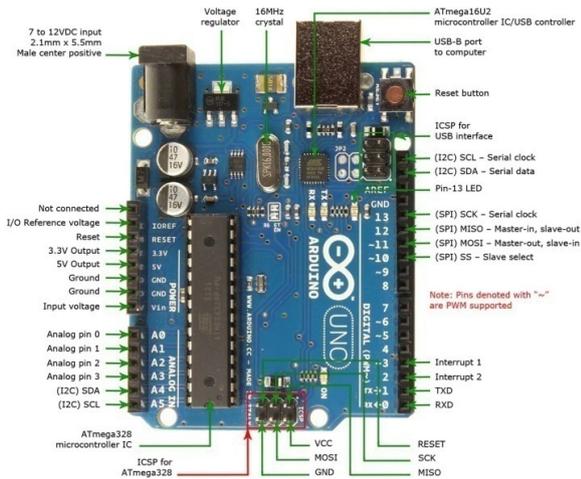
Arduino uno R3 merupakan salah satu board yang banyak digunakan dalam suatu desain purwarupa kendali ataupun monitoring, dimana Arduino uno R3 dilengkapi dengan prosesor *Atmega 16U2* dan antar muka *USB* yang digunakan untuk pemrograman arduino melalui *IDE sketch Arduino* [14],[15],[16] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Konfigurasi pin board Arduino uno R3 dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Arduino Uno R3 memiliki 14 pin input/output digital (0-13) Berfungsi sebagai input atau output, dapat diatur oleh program. Khusus untuk 6 buah pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, dapat juga berfungsi sebagai pin analog output dimana tegangan output-nya dapat diatur. Nilai sebuah pin output analog dapat diprogram antara 0 – 255 yang mewakili nilai tegangan 0 – 5V [15],[16].



Gambar 11. IDE sketch Arduino [14],[15],[16]



Gambar 12. Konfigurasi pin board Arduino Uno R3 [15]

Disamping itu Arduino Uno R3 memiliki memiliki 6 pin input analog (0-5), pin ini sangat berguna untuk membaca nilai yang dihasilkan oleh sensor analog. Program dapat membaca nilai sebuah pin input analog antara 0 – 1023, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5 (V) [15],[16].

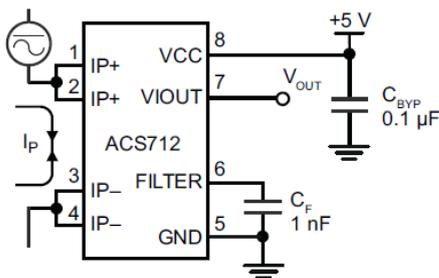
E. Sensor Arus ACS 712

Sensor analog arus ACS 712 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 telah luas digunakan dalam dunia industri dan comercial untuk mendeteksi keberadaan arus AC atau DC yang mengalir pada sistem. Perangkat ini dilengkapi dengan rangkaian presisi pembacaan arus dan rangkaian efek linear Hall dengan konduktor tembaga yang diletakkan dekat bagian permukaan nonkonduksi.

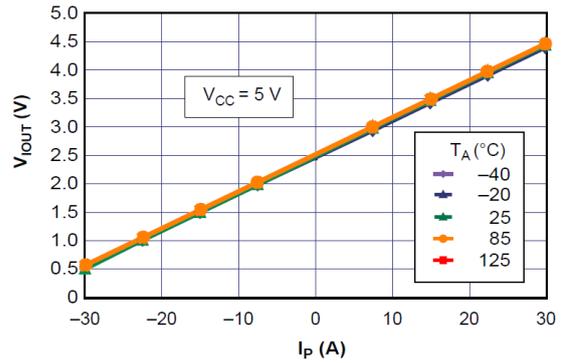
Dengan mengalirnya arus pada konduktor tembaga akan dibangkitkan suatu medan magnet pada rangkaian Hall yang dikonversi menjadi tegangan yang proporsional.

Resistansi internal bagian konduktif perangkat ini adalah 1,2 mΩ sehingga rugi-rugi yang ditimbulkan menjadi lebih rendah dan dengan didesainnya konduktor tembaga setipis mungkin maka bagian perangkat ini mampu menahan arus lebih (*overcurrent*) hingga 5x dari rating kemampuannya sehingga dalam aplikasinya tidak memerlukan opto-isolator untuk mencegah perangkat terisolasi dari bagian nilai arus yang lebih tinggi.

Opuit dari perangkat ini memiliki nilai slope positif ($>V_{IOT(Q)}$, lihat Gambar 14) saat arus yang mengalir



Gambar 13. Sensor arus ACS 712 [17]



Gambar 14. Karakteristik ACS 712 Ip vs VIOT (30A) [15]

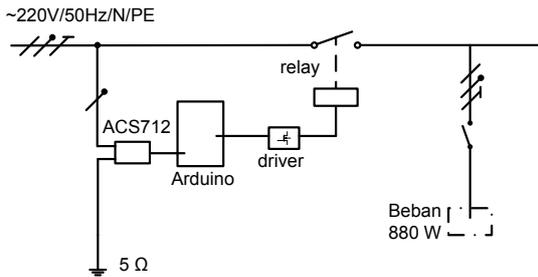
meningkat melalui bagian konduksi tembaga (dari pin 1 dan 2, ke pin 3 dan 4) yang di gunakan sebagai sampling arus input dan terminal 5 dan 8 digunakan untuk mengisolasi arus dari sinyal yang bersifat leading.

Berdasarkan karakteristik ACS 712 (30A) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan efek Hall [17],[18] pada peralatan maka dapat dinyatakan bahwa output pembacaan dari sampling arus yang dideteksi adalah berupa tegangan V_{IOT} dimana setiap terjadi perubahan kenaikan arus maka akan diiringi perubahan tegangan dengan kecenderungan linear hingga mencapai 4.5 Volt untuk pembacaan arus maksimum 30 A.

III. METODE

Untuk evaluasi performansi kinerja ELCB Arduino [ELCBA] maka ditentukan beberapa ketentuan pendekatan sebagai berikut:

1. Sistem pentanahan yang digunakan adalah sistem pentanahan TN-S.
2. Besar nilai resistansi pentanahan TN-S ditentukan sebesar 5 (Ω)
3. Sensor arus ACS 712 ditempatkan pada bagian pentanahan TN-S sumber untuk mendeteksi arus bocor.
4. Besar nilai resistansi tubuh adalah 1000 (Ω)
5. Sistem bekerja pada rating tegangan 220 (Volt) dengan faktor pembebanan 66,66% dari beban maksimum 1320 (VA) dengan power factor beban dianggap 1.
6. Resistansi material pelindung selungkup diabaikan
7. Rangkaian ELCBA didekati berdasarkan tegangan sentuh seperti ditunjukkan pada Gambar 9, sehingga diperoleh rangkaian uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 dan untuk detilnya dapat dilihat pada Gambar 16 sampai dengan Gambar 18.
8. Pada kondisi abnormal, keberadaan arus bocor di kondisikan dalam dua kondisi yaitu saat tubuh menyentuh peralatan (dengan dan tanpa pentanahan peralatan) untuk sistem single phase.
9. Batas threshold pemutusan arus bocor adalah ≥ 30 (mA) dengan waktu tunda pemutusan 15 (ms).
10. Melalui arduino, pemulihan (reclose) rangkaian diatur selama 5 (menit) setelah pemutusan rangkaian terhadap arus bocor terdeteksi dimana dalam interval



Gambar 15. Single line diagram rangkaian uji ELCBA

waktu tersebut diberikan kesempatan kepada tubuh yang tersentuh tegangan listrik untuk menghindari, namun bila masih tersentuh maka ELCBA akan memadamkan kembali rangkaian sehingga rangkaian akan kembali beroperasi normal bila tubuh tidak mengalami tegangan sentuh.

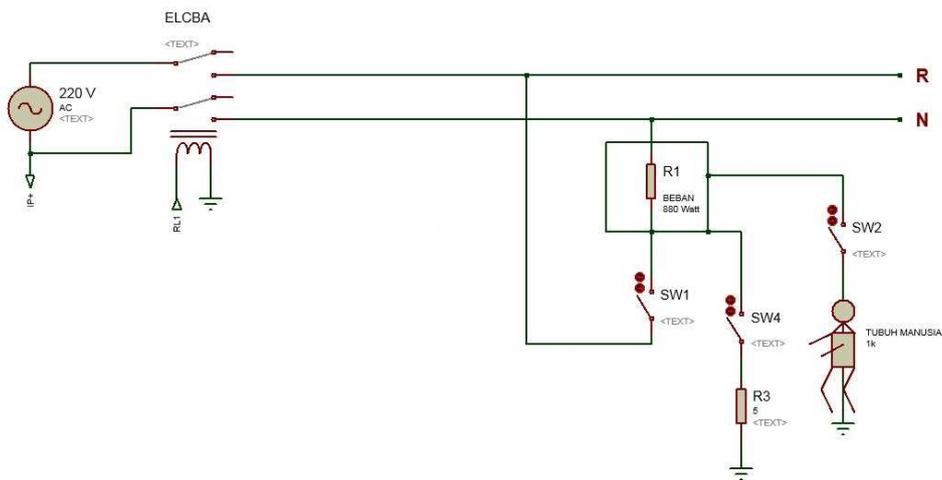
- Uji rangkaian pada Tahap 7 dilakukan dengan menggunakan software Proteus dan pemrograman Arduino IDE.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

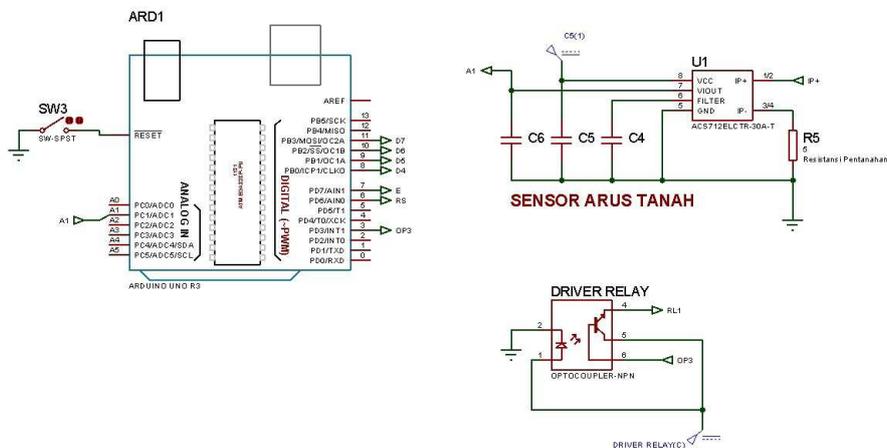
Sesuai dengan tujuan penulisan bahwa yang dilihat dalam simulasi adalah kinerja fungsi proteksi ELCBA apakah ELCBA yang disimulasikan tersebut dapat bekerja bila ada arus bocor mengalir melebihi batas threshold ≥ 30 (mA) dengan setting waktu tunda pemutusan ≤ 15 (ms) pada sistem pentanahan (TN) yang mengacu kepada karakteristik ELCB yang dipaparkan pada Gambar 10 sebelumnya. Jadi dalam penulisan ini tidak membahas karakteristik ELCB akan tetapi ELCBA yang disimulasikan mengikuti prinsip karakteristik ELCB seperti Gambar 10 dan juga tidak dibahas hasil validasi sensor karena dalam simulasi karakteristik sensor dianggap ideal sama seperti Gambar 14.

A. Kondisi Normal

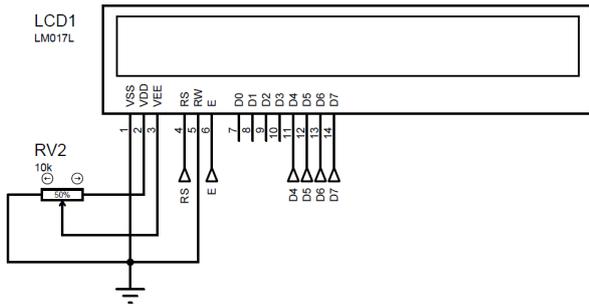
Berdasarkan Gambar 19 ditunjukkan bahwa ELCBA tidak beroperasi memutuskan rangkaian hal ini disebabkan karena arus yang mengalir pada kawat fase ($I_{ph} = 4$ Amper) adalah sama dengan arus yang mengalir pada



Gambar 16. Rangkaian uji ELCBA



Gambar 17. Bagian rangkaian Arduino, ACS712 dan driver relay ELCBA



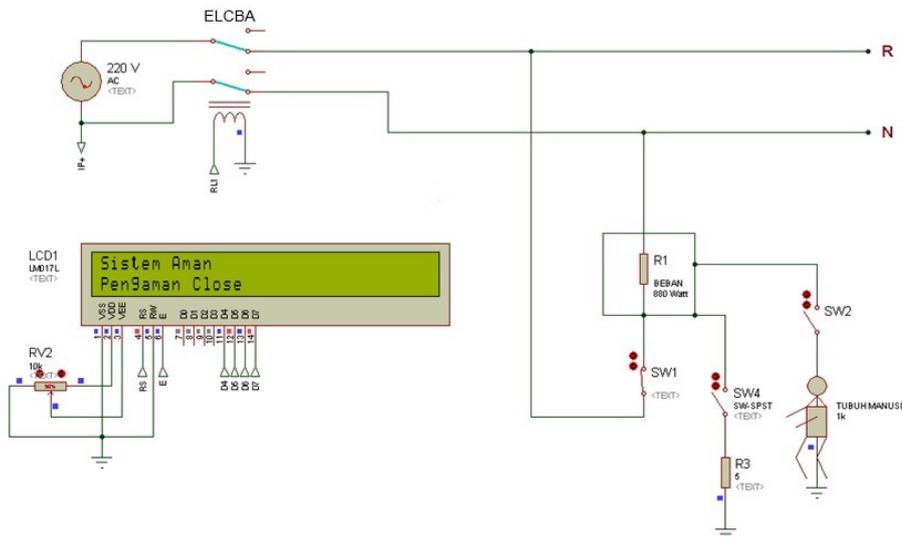
Gambar 18. Rangkaian display kondisi sistem

kawat netral ($I_N = 4$ Amper) dimana tubuh tidak menyentuh bagian listrik sehingga sensor arus yang ditempatkan pada pentanahan netral tidak merasakan adanya arus yang mengalir.

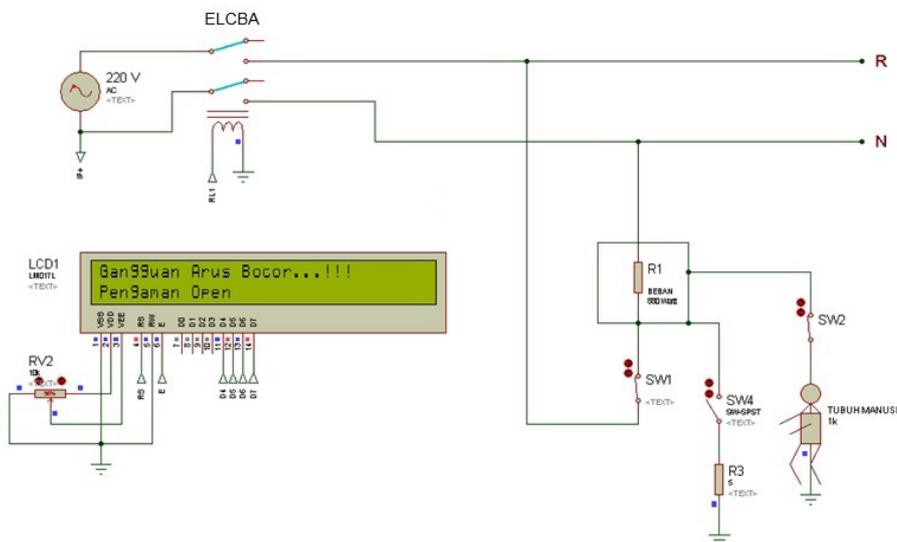
B. Kondisi Abnormal

Dari Gambar 20 dapat dijelaskan bahwa saat terjadi tegangan sentuh pada peralatan yang tidak ditanahkan maka akan mengalir arus bocor pada tubuh sebesar 220 mA dan karena tahanan selengkap peralatan diabaikan maka tegangan sentuh yang diterima adalah sebesar 220 Volt dengan demikian sensor arus yang ditempatkan pada pentanahan netral akan merasakan arus bocor sebesar 220 mA sehingga mengakibatkan ELCBA aktif beroperasi memutuskan rangkaian karena sensor ELCBA merasakan arus ≥ 30 (mA) dengan waktu pemutusan 15 (ms) setelah terjadi arus bocor.

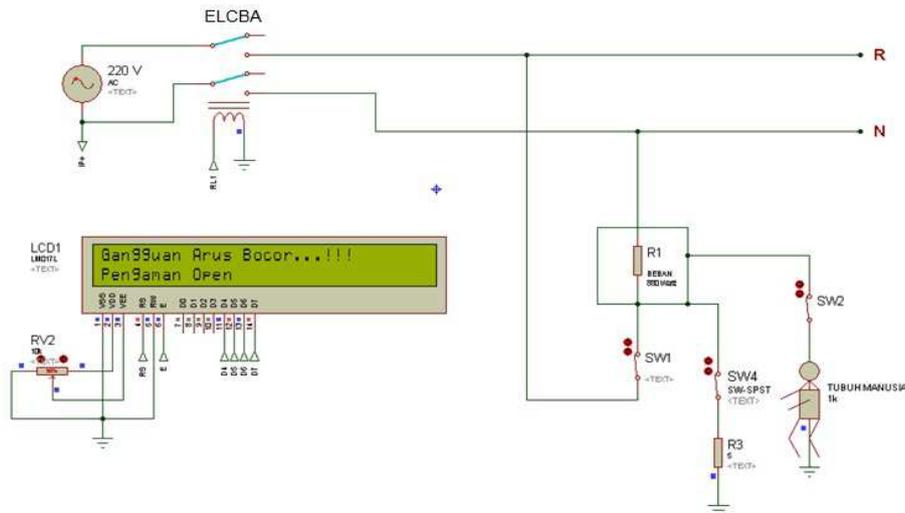
Jika kondisi peralatan ditanahkan dengan resistansi pentanahan sebesar 5 (Ohm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21 dan terjadi tegangan sentuh pada peralatan sebesar 110 (Volt) mengakibatkan berkurangnya arus bocor yang mengalir pada tubuh yaitu menjadi



Gambar 19. Sistem dalam keadaan aman



Gambar 20. Kondisi abnormal peralatan tidak ditanahkan



Gambar 21. Kondisi abnormal peralatan ditanahkan

110 (mA) pada sistem pentanahan peralatan dan netral mengalir arus sebesar 22 (A) dengan demikian sensor arus ELCBA dapat merasakan adanya arus yang mengalir pada pentanahan netral ≥ 30 (mA) sehingga ELCBA aktif beroperasi memutuskan rangkaian setelah 15 (ms) terjadi arus bocor.

V. KESIMPULAN

ELCBA dapat beroperasi dengan baik memutuskan rangkaian apabila terjadi tegangan sentuh pada selungkup peralatan yang terbuat dari konduktor sehingga mengakibatkan mengalirnya arus bocor pada tubuh. ELCBA dapat beroperasi memutuskan rangkaian (break) setelah 15 (ms) bila telah dirasakan arus bocor mengalir ≥ 30 (mA) pada sistem pentanahan TN dengan waktu penutupan kembali (*reclose*) setelah 5 menit, hal ini sesuai dengan rekomendasi IEC untuk perlindungan terhadap arus bocor yaitu tidak boleh melebihi ambang batas 30 (mA) dengan waktu pemutusan yang aman adalah lebih kecil dari 30 (ms), ELCBA dapat menutup kembali (*reclose*) setelah 5 menit terjadi pembukaan rangkaian.

REFERENSI

- [1] Anonymous, "Pengaman Arus bocor", Schneider Electric, [online] available: <http://www.schneider-electric.co.id/documents/company/event/ELCB.pdf>
- [2] John Backes, A Practical Guide to IEC 60601-1, Rigel Medical, 2007
- [3] Richard J. Holleman, et-al, IEEE Std 80-2000:IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE-SA Standards Board, Approved 30 January 2000
- [4] L.G Hewitson, M Brown, Ramesh B, "Practical Power System Protection", Elsevier, 2004
- [5] Anonymous, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000", SNI 04-0225-2000, 2000
- [6] John Cadick, et-al, "Electrical Safety Handbook", McGraw-Hill, 2012
- [7] Anonymous, "Residual Current Circuit Breaker (RCCB)", Standar Electricals, [online] available: http://www.standar electrical.net/pdf/rccb_new.pdf
- [8] Siti Hajar Binti MD Halid, "Automatic ELCB Integrated with Arduino", Thesis of Undergraduate Project, UTM, 2014
- [9] J Saijai, N Thanomsat, "Earth Leakage Current Detection and Identification Scheme for a Single-Phase Low-Voltage Electrical Appliance System using Frequency Domain Analysis", 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016, Thailand, 2016
- [10] A.Z.H. Abd Azzis, Nursyarizal M.N, T Ibrahim "Automated Electrical Protection System for Domestic Application", IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference, Malaysia, 2013
- [11] D. K Neitzel, T. L Gauthier, "Ground Fault Protection – GFCI or GFPE – There is a difference", Electrical Safety Workshop (ESW), 2013
- [12] Velimir Lackovic, "Grounding System Theory and Practice", [online] available at: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Grounding%20System%20Theory%20and%20Practice.pdf>.
- [13] G Vijayaraghavan, Mark brown, Malcolm Barnes, "Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection", Elsevier, 2004
- [14] Vinayak Sonandkar, et-al, "Power Measurement Using Arduino For Effective Demand Response", IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS), New Delhi, 2016
- [15] J.M Hughes, "Arduino: A Technical Reference A Handbook for Technicians, Engineers, and Makers", O'Reilly, 2016
- [16] Michael Margolis, "Arduino Cookbook", O'Reilly, 2011
- [17] Anonymous, "ACS 712: Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor", Allegro MicroSystem Inc, 2011
- [18] Edward Ramsden, "Hall-Effect Sensors: Theory and Application", Elsevier, 2006

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

