

# Rancang Bangun Relai Arus Lebih Tipe *Inverse Time* Dengan Time Multiplier Berbasis Arduino

Becky Arya Wijaya<sup>1</sup>, Arief Ihsandi<sup>2</sup>, Onglan Nainggolan<sup>3</sup>, Prihadi Murdiyat<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

beckyaryawijaya216421002s1a@gmail.com

**Abstrak-** Relai arus lebih adalah perangkat yang penting dalam sistem proteksi untuk melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat arus lebih yang berlebihan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem relai arus lebih yang dapat mendeteksi dan menanggulangi arus lebih dengan prinsip proteksi *inverse time*, serta dikembangkan menggunakan platform Arduino yang populer dan mudah diakses. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan *hardware* dan *software*, serta pengujian performa sistem dengan cara melakukan percobaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi arus lebih dan mengaktifkan relai dalam waktu yang hampir sesuai dengan karakteristik tipe *inverse time* yang ditunjukkan pada simulasi *software* ETAP. Setelah diambil lima puluh lima sampel data pengujian jika dibandingkan dengan simulasi ETAP didapatkan nilai rata-rata error 2,07244%.

**Kata kunci:** Arduino, relai arus lebih, *inverse time*

## I. PENDAHULUAN

Sistem proteksi listrik adalah bagian penting dalam infrastruktur listrik yang bertanggung jawab untuk melindungi peralatan dan jaringan listrik dari kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan khususnya gangguan arus lebih (*over current*). Arus lebih merupakan sebuah kondisi dimana arus melebihi nilai yang diizinkan atau dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, bahkan dapat menyebabkan panas dan dapat menyebabkan kebakaran jika tidak ditangani dengan efektif. Relai arus lebih bertugas untuk mendeteksi kelebihan arus kemudian memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan arus lebih. Salah satu tipe proteksi yang umum digunakan adalah proteksi tipe *Inverse Time*, di mana waktu respons proteksi berbanding terbalik dengan besarnya arus lebih. Dengan kata lain, semakin besar arus lebih, semakin cepat proteksi harus bertindak.

Meskipun relai arus lebih dengan proteksi tipe *Inverse Time* telah banyak digunakan, namun masih terdapat tantangan dalam hal kemudahan pengembangan dan biaya implementasi. Seringkali, perangkat proteksi listrik yang tersedia di pasaran cenderung mahal dan sulit untuk dimodifikasi sesuai kebutuhan pengguna. Selain itu, kebanyakan perangkat tersebut menggunakan teknologi tertutup yang membatasi akses dan modifikasi oleh pengguna. Oleh karena itu, pengembangan sebuah sistem relai arus lebih yang lebih terjangkau, fleksibel, dan dapat diakses oleh pengguna menjadi penting. Penggunaan platform mikrokontroler yang populer dan terbuka seperti Arduino dapat menjadi solusi yang menarik, karena

memungkinkan pengembangan sistem proteksi yang lebih terbuka, murah, dan mudah diadaptasi sesuai kebutuhan spesifik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem relai arus lebih tipe *Inverse Time* berbasis Arduino, dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem proteksi listrik yang lebih efektif dan terjangkau. Relai arus lebih yang akan dirancang memiliki setting arus 2 Ampere dan setting *Time Multiplier Setting* (TMS)-nya 0.05 detik. Dan juga merancang sebuah sistem relai arus lebih yang memiliki akurasi tinggi berdasarkan tipe *inverse time*, dengan nilai persentase error sekecil mungkin.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

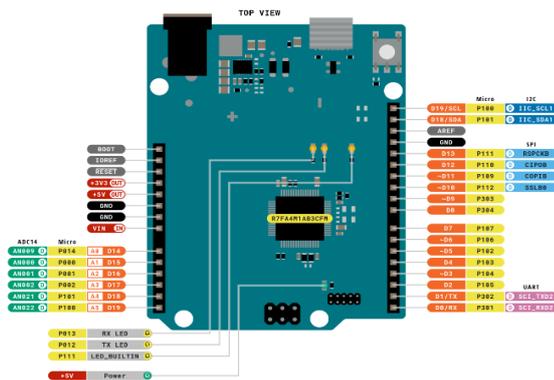
### A. Penelitian atau Proyek yang Sudah Ada Sebelumnya

Terdapat beberapa referensi yang digunakan pada proses perencanaan Rancang Bangun Relai Arus Lebih Tipe *Inverse Time* Berbasis Arduino. Dari penelitian yang dilakukan oleh Aria Kharisma dan Galang Nazharullah dengan judul “Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino” pada penelitian tersebut relai proteksi arus lebih dirancang menggunakan sensor arus dari resistor shunt dan Op-Amp dan diuji dengan cara dibandingkan dengan ampere meter. Hasilnya alat dapat bekerja dengan baik dalam memproteksi arus lebih [1]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Verdiano Frandhiyawan dkk yang berjudul “Rancang Bangun Relai Arus Lebih Berbasis Monitoring *Internet of Things* (IoT) dan Arduino Sebagai Proteksi Elektronik 1 Fasa” pada penelitian tersebut *overcurrent relay* dioperasikan dengan 3 karakteristik yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*, yang dapat sebagai acuan dalam penelitian khususnya pada karakteristik *standard inverse* [2]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Alfi Syahri dan Andik Bintoro yang berjudul “Monitoring dan Controlling Daya Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor PZEM-004T” pada penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004T yang sama juga digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh penulis [3]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Ali Abdulsattar Hameed dkk yang berjudul “Design and Implementation a New Real Time Overcurrent Relay Based on Arduino” pada penelitian ini menggunakan Arduino Nano sebagai mikrokontroler sensor arus ACS712 sebagai sensor utama untuk mengukur arus pada rangkaian dan diuji secara *real time* [4]. Dari penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fahreza yang berjudul “Desain Controlling Pengaman Arus Lebih Berbasis Arduino” pada penelitian tersebut menggunakan Modem Modul GSM SIM800A untuk

mengirim peringatan sebelumnya terjadi arus lebih dan indikator ketika terjadi arus lebih [5]. Pada beberapa referensi diatas menunjukkan bahwa rata rata penelitian hanya berfokus pada pengendalian untuk memutuskan aliran listrik saja tetapi kurang membahas kaidah proteksinya. Penelitian yang dilakukan penulis akan lebih membahas kaidah proteksinya yaitu tipe *inverse time*.

**B. Arduino Uno**

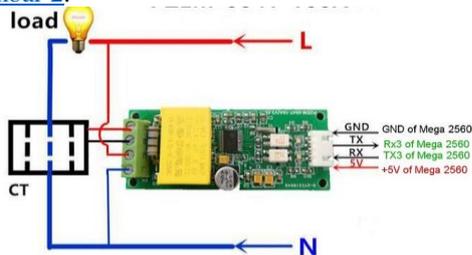
Arduino Uno merupakan papan rangkaian elektronik bersifat *open-source*, papan ini bekerja menggunakan chip mikrokontroler AVR. Papan ini dapat diprogram dengan bantuan bahasa pemrograman Arduino dan IDE (*Integrated Development Environment*). Papan ini dapat mendeteksi kondisi melalui *input* seperti sensor dan melakukan tindakan kontrol terhadap perangkat-perangkat seperti LED, ataupun pada perangkat aktuator. Bentuk fisik dan pin Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Board dan pinout Arduino Uno [6]

**C. PZEM-004T**

PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi dan faktor daya. Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama Peacefair [7]. Pada penelitian ini sensor PZEM-004T digunakan khususnya untuk mengukur arus. Dengan kemampuannya untuk mengukur dan memantau berbagai parameter daya listrik dengan akurasi tinggi, PZEM-004T dapat memberikan data yang berharga untuk analisis dan penelitian. Bentuk dan konfigurasi PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. PZEM-004T [8]

**D. Relay**

Relay dapat digunakan sebagai saklar untuk mengendalikan *ON/OFF* berbagai peralatan elektronik. Kendali *ON/OFF switch*, ditentukan dari nilai *output* sensor yang digunakan, setelah selesai diproses Mikrokontroler akan

memberikan instruksi kepada *relay* agar melakukan perintah *ON/OFF*. Modul *relay* ialah saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsipnya, relay merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya, ketika solenoid dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali keposisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. Bentuk fisik dari *relay* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Relay [5]

**E. Liquid Crystall Display (LCD) I2C 16x2**

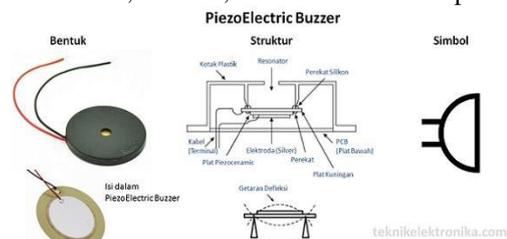
Dinamakan LCD I2C 16x2 karena LCD ini memiliki 16 karakter dengan dua baris. Lcd ini menggunakan koneksi data I2C untuk membuat pengkabelan menjadi lebih ringkas, LCD terhubung ke arduino hanya dengan menggunakan 4 kabel yaitu 2 kabel untuk *power*, satu untuk *clock* dan satu untuk data. LCD digunakan untuk menampilkan besaran nilai arus, tipe persamaan dan waktu trip. Gambar 4. Menunjukkan bentuk dari LCD 16x2 dan I2C.



Gambar 4. LCD 16x2 dan I2C [9]

**F. Buzzer**

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Seperti namanya *Piezoelectric Buzzer* adalah jenis Buzzer yang menggunakan efek Piezoelectric untuk menghasilkan suara atau bunyinya. Tegangan listrik yang diberikan ke bahan Piezoelectric akan menyebabkan gerakan mekanis, gerakan tersebut kemudian diubah menjadi suara atau bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia dengan menggunakan diafragma dan resonator [10]. *piezo buzzer* akan digunakan sebagai indikator saat *overcurrent relay* bekerja memutuskan aliran listrik. Gambar 5. Merupakan bentuk, struktur, dan simbol dari komponen *buzzer*.



Gambar 5. Buzzer [11]

G. Push Button

Push button adalah saklar elektronik yang dioperasikan dengan menekan tombol atau aktuatur mekanis lainnya. Ketika tombol ditekan, kontak internal saklar akan terhubung dan memungkinkan arus listrik mengalir. Saat tombol dilepaskan, kontak akan kembali ke posisi semula dan arus akan terputus. Push button digunakan untuk mereset overcurrent yang telah bekerja sehingga aliran listrik yang sudah tidak mengalami gangguan dapat terhubung kembali. Bentuk fisik dari push button dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Push button [11]

H. Perhitungan Waktu Kerja Relai Proteksi

Relai arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (inverse) ialah relai ini bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besar arus yang terukur oleh relai. Relai ini mempunyai karakteristik kerja yang dipengaruhi waktu dan arus. Semakin besar arus gangguan maka relai akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan semakin kecil maka waktu tunda operasi relai akan semakin lama. Hubungan antara arus terhadap waktu ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1}{\beta} \tag{1}$$

$$t = \beta \frac{TMS}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \tag{2}$$

Keterangan :

- TMS = Time Multiplier Setting
- I = Arus Gangguan (A)
- I<sub>s</sub> = Arus Setting (A)
- t = Waktu Tripnya Relai (s)

Standard karakteristik inverse sesuai IEC 60255, pada Tabel 1. menunjukkan besar karakteristik pada faktor alpha dan beta [12].

TABEL 1. STANDARD KARAKTERISTIK INVERSE SESUAI IEC 60255

Deskripsi Kurva	α	β
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1	13,5
Extremely Inverse	2	80
Long-Time Inverse	1	120

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

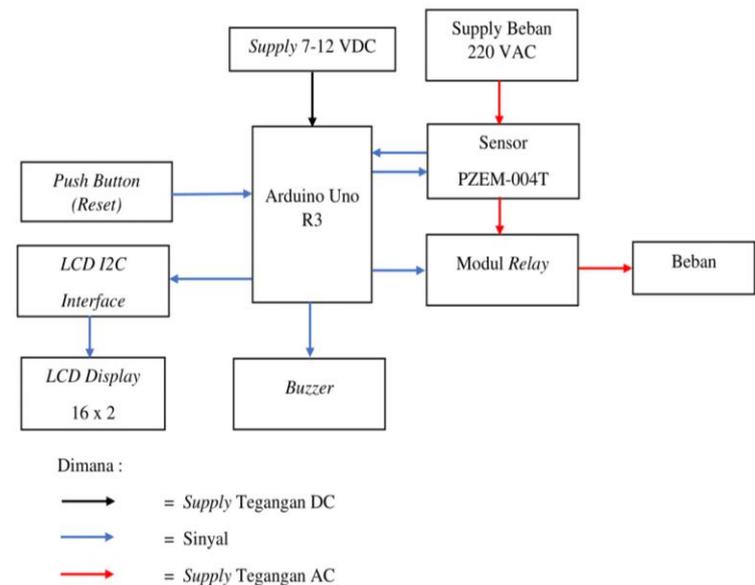
Waktu yang digunakan untuk penelitian ini adalah 4 bulan, yang dilaksanakan mulai bulan Februari 2024 sampai dengan bulan Mei 2024 yang dilakukan di Laboratorium Sistem Proteksi dan Laboratorium Mikroprosesor Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda.

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu perencanaan, pengerjaan dan pengujian. sumber data yang digunakan pada saat perencanaan dan pengerjaan didapatkan dari jurnal ilmiah, buku, situs web resmi arduino, laporan penelitian terkait, dan juga datasheet dari peralatan peralatan yang digunakan serta menggunakan juga software seperti ETAP dan Proteus untuk melakukan simulasi dari alat yang akan dikerjakan. Pada saat pengujian data diambil langsung dari hasil pengujian relai arus lebih di laboratorium politeknik negeri samarinda.

C. Gambaran Umum Sistem

Gambar 7. menunjukkan gambaran umum sistem dari relai arus lebih tipe inverse time berbasis arduino. Arduino uno mendapatkan sumber tegangan dari adaptor 5 v sedangkan beban mendapatkan sumber AC 220V yang telah melewati modul relay yang akan dikendalikan oleh sistem mikroprosesor. Pada arduino terdapat 2 input yaitu PZEM-004T yang merupakan sensor dan push button untuk reset serta memiliki 3 output yaitu relay, buzzer dan lcd, untuk penjelasan pin input dan output yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 7. Gambaran umum sistem relai arus lebih tipe inverse time berbasis Arduino

Berdasarkan gambaran umum sistem pada Gambar 7, proses pembuatan Prototype Overcurrent Relay berbasis Arduino dapat dijelaskan sebagai berikut. Sistem Arduino Uno R3 diaktifkan menggunakan catu daya 7-12 VDC, sedangkan

supply beban 220 VAC digunakan untuk mengaktifkan beban. Tegangan output dari Arduino Uno R3 dihubungkan ke papan PCB yang menyediakan supply tegangan 5 VDC untuk relai dan current sensor PZEM-004T. Saat sensor PZEM-004T mendeteksi arus yang melebihi setting arus yang ditentukan, sensor tersebut akan mengirimkan sinyal ke Arduino Uno R3. Setelah Arduino Uno R3 menerima sinyal dari sensor PZEM-004T, sinyal ini diproses dan dikirim ke relai, yang kemudian memutuskan arus listrik. Adapun push button digunakan untuk melakukan reset pada sistem ketika relai bekerja.

Adapun Tabel 2. menunjukkan komponen yang digunakan beserta fungsinya.

TABEL 2.  
PIN INPUT DAN OUTPUT YANG DIGUNAKAN

Pin Mode	No. Pin	Nama Pin	Deskripsi
Input	8 (RX) dan 9 (TX)	Sensor	berfungsi mengukur arus pada jaringan yang diamankan kemudian dikirimkan ke Arduino
Input	5	Tombol Reset	berfungsi sebagai tombol reset ketika relai proteksi telah bekerja
Output	6	Relay	Berfungsi untuk memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan arus lebih yang melebihi batas setting arus yang telah ditentukan
Output	7	Buzzer	Berfungsi sebagai indikator ketika relay bekerja dengan cara menghasilkan suara
Output	SDA dan SCL	LCD	Berfungsi sebagai penampil informasi informasi yang dibutuhkan seperti nilai arus, nilai tegangan, daya dan indikator ketika relay bekerja

D. Peralatan dan Material

Tabel 3. menunjukkan peralatan dan material yang digunakan untuk membuat dan sarana dalam membuat relai proteksi arus lebih.

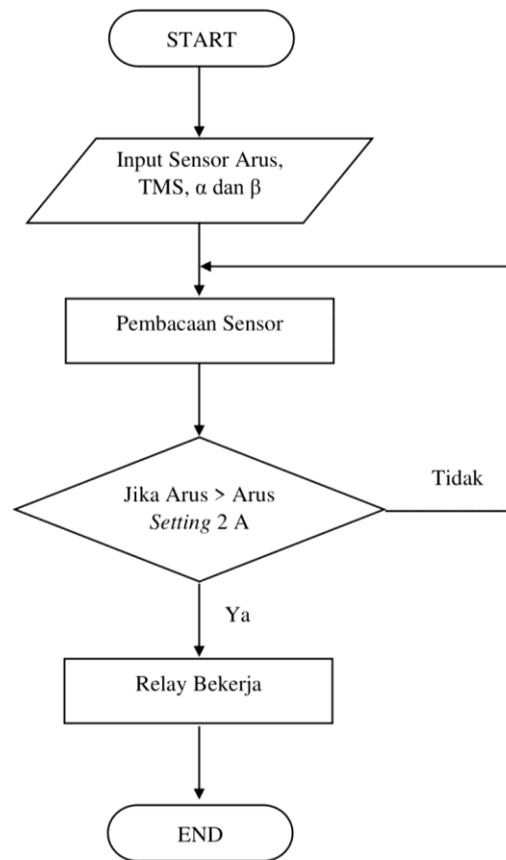
TABEL 3.  
DAFTAR ALAT DAN MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Peralatan	Material
Power Supply AC 220	Arduino Uno R3
Ampere Meter	Modul Relay 5V Active LOW
Adaptor 7-12 V	PZEM-004T
Laptop	Push Button
Gerinda	Piezoelectric Buzzer
Bor	Papan PCB

Solder	Akrilik
Power Supply DC 7-25 V	Mur
Variable Reistor	Spacer
	Kabel (Female-Female), (Male-Male), (Female-Male) dan Kabel 1,5 mm Banana Plug
	Skun Ring

E. Flowchart Sistem Over Current Relay (OCR)

Pada Gambar 8. menunjukkan Flowchart sistem over current relay

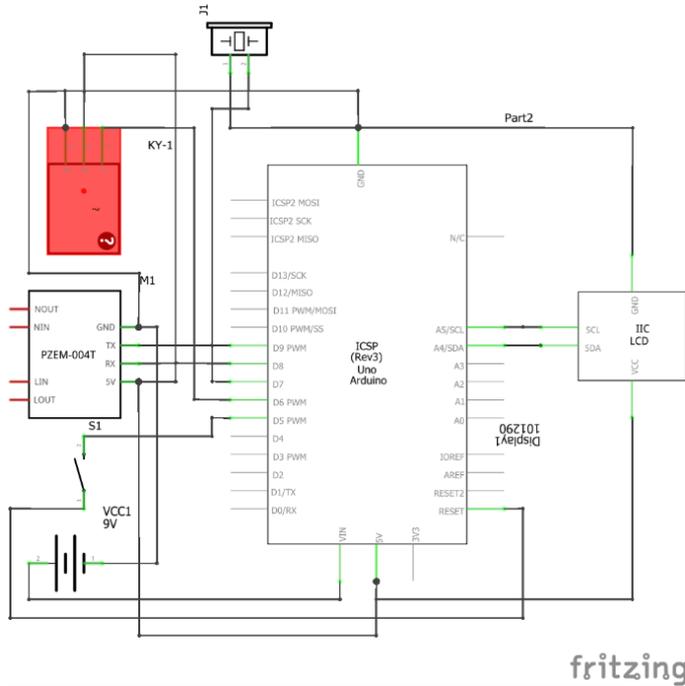


Gambar 8. Flowchart sistem over current relay

Dari flowchart pada Gambar 8. dapat memudahkan proses pemahaman terhadap cara kerja relay yang. Proses dimulai sistem memasukan data untuk kebutuhan perhitungan waktu kerja relay, dilanjutkan dengan sensor melakukan pembacaan arus pada rangkaian. Alat akan menghitung waktu kerja relay dari nilai pembacaan nilai arus dan nilai TMS, α & β. Jika nilai arus yang dibaca oleh sensor melebihi nilai arus setting yaitu 2 Ampere maka proses akan lanjut pada proses berikutnya, relay akan bekerja setelah menunggu waktu yang telah didapat dari perhitungan pada proses 4 dan proses berakhir. Jika arus tak melebihi arus setting terpenuhi maka sistem akan kembali menghitung waktu kerja relay.

F. Perencanaan Over Current Relay (OCR)

Sebelum melakukan perakitan terlebih dahulu melakukan perancangan pada *software* Fritzing, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. menentukan jalur pemasangan komponen dan menentukan pin pada kaki komponen yang akan dipasang.



Gambar 9. Schematic sistem over current relay

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

Pada proses pengujian ini menggunakan alat ukur *ampere meter* dan *volt meter* sebagai pembandingan nilai arus dan tegangan yang diberikan oleh sensor PZEM-004T. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak enam kali dengan arus yang berbeda-beda. Gambar 10. menunjukkan hasil pengukuran arus dan tegangan oleh sensor PZEM-004T pada salah satu sampel.



Gambar 10. Hasil pengukuran arus dan tegangan menggunakan PZEM-004T

Setelah itu pada Gambar 11. merupakan pengukuran arus menggunakan *ampere meter digital* dan pengukuran tegangan menggunakan *volt meter digital*.



Gambar 11. Hasil pengukuran arus dengan *ampere meter digital* dan hasil pengukuran tegangan dengan *volt meter digital*

Hasil perbandingan pengukuran menggunakan sensor dengan menggunakan alat ukur dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4. PERBANDINGAN PENGUKURAN SENSOR DENGAN ALAT UKUR

No.	Pengukuran Sensor		Pengukuran Alat Ukur		Error (%)	
	I	V	I	V	I	V
1	0,46	68,00	0,466	68,2	1.304	0.294
2	0,51	80,80	0,509	80,9	-0.196	0.123
3	0,55	93,20	0,548	93,3	-0.363	0.107
4	0,60	110,70	0,599	110,6	-0.167	-0.090
5	0,65	129,80	0,653	129,7	0.461	-0.077
6	0,71	152,60	0,711	152,1	0.140	-0.327
Rata-Rata Error					0,196	0,005

Dari hasil pengukuran nilai arus dan tegangan pada Tabel 4. didapat hasil pengukuran sensor PZEM-004T tidak jauh berbeda dengan yang didapat pada alat ukur sehingga memiliki nilai rata-rata *error* yang sangat kecil.

B. Pengujian Relay

Pengujian yang dilakukan adalah dengan memberikan yang sinyal atau data ke *relay*, untuk dilihat apakah *relay* dapat bekerja seperti pada Gambar 12., atau tidak seperti pada Gambar 13., hasil respon *relay* ketika diberi sinyal *LOW* dan *HIGH* ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 12. Relay bekerja



Gambar 13. Relay tidak bekerja

TABEL 5. HASIL RESPON RELAI

No.	Sinyal Perintah	LED Merah	Terminal NC	Terminal NO
1	LOW	Hidup	Terbuka	Tertutup
2	HIGH	Mati	Tertutup	Terbuka

Dari hasil respon *relay* yang didapat pada [Tabel 5](#), *relay* bekerja sesuai dengan informasi yang diberikan modul *relay* yakni akan aktif apabila diberi sinyal *LOW*, dimana terminal *normally closed* akan terbuka dan terminal *normally open* (NO) akan tertutup.

C. Pengujian Akurasi Relai Arus Lebih

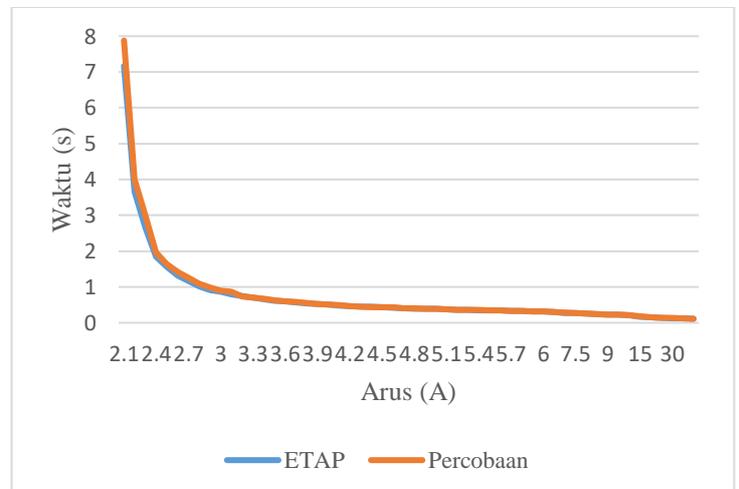
Sebelum dilakukan pengujian pada alat terlebih dahulu dibuat simulasi relai arus lebih dengan tipe inverse time menggunakan software etap untuk mengetahui bentuk kurva dan besaran besaran pada tipe inverse time. Pengujian akurasi relai arus lebih ini berdasarkan perbandingan antara hasil simulasi pada software etap yang dibandingkan langsung dengan hasil pengujian yang dilakukan. Pengujian ini dilakukan sebanyak 55 kali pada level arus yang berbeda beda, hasil pengujian dapat dilihat pada [Tabel 6](#).

TABEL 6. PERBANDINGAN ANTARA HASIL SIMULASI ETAP DAN HASIL PENGUJIAN

Nilai Arus (A)	Waktu Percobaan (s)	Waktu Pada ETAP (s)	Error (%)
2	702,29	700	-0,32608
2,1	7,88	7,17	-9,01015
2,2	4	3,66	-8,5
2,3	3,15	3	-11
2,4	1,97	1,85	-6,09137
2,5	1,64	1,56	-4,87805
2,6	1,42	1,31	-7,74648
2,7	1,25	1,17	-6,4
2,8	1,09	1,01	-7,33945
2,9	0,99	0,915	-7,57576
3	0,89	0,871	-2,13483
3,1	0,86	0,788	-8,37209
3,2	0,73	0,741	1,506849
3,3	0,7	0,7	0
3,4	0,67	0,654	-2,38806
3,5	0,63	0,615	-2,38095
3,6	0,6	0,6	0
3,7	0,59	0,57	-3,38983
3,8	0,56	0,543	-3,03571
3,9	0,53	0,523	-1,32075

4	0,51	0,504	-1,17647
4,1	0,49	0,485	-1,02041
4,2	0,47	0,47	0
4,3	0,45	0,456	1,333333
4,4	0,44	0,442	0,454545
4,5	0,44	0,431	-2,04545
4,6	0,43	0,418	-2,7907
4,7	0,41	0,407	-0,73171
4,8	0,4	0,395	-1,25
4,9	0,39	0,39	0
5	0,39	0,383	-1,79487
5,1	0,37	0,371	0,27027
5,2	0,36	0,365	1,388889
5,3	0,36	0,355	-1,38889
5,4	0,36	0,351	-2,5
5,5	0,34	0,342	0,588235
5,6	0,34	0,34	0
5,7	0,33	0,332	0,606061
5,8	0,33	0,324	-1,81818
5,9	0,32	0,322	0,625
6	0,32	0,314	-1,875
6,5	0,3	0,298	-0,66667
7	0,28	0,277	-1,07143
7,5	0,27	0,264	-2,22222
8	0,25	0,25	0
8,5	0,24	0,239	-0,41667
9	0,23	0,232	0,869565
9,5	0,22	0,22	0
10	0,21	0,214	1,904762
15	0,18	0,171	-5
20	0,15	0,149	-0,66667
25	0,14	0,136	-2,85714
30	0,13	0,126	-3,07692
35	0,12	0,12	0
40	0,11	0,113	2,727273
Rata-Rata Error (%)			-2,07244

[Gambar 14](#), menunjukkan grafik perbandingan dari simulasi yang dilakukan pada ETAP dengan data hasil percobaan. Dari grafik dapat dilihat bahwa perbedaan dari simulasi dan dari data yang didapat pada [Tabel 6](#), data hasil percobaan waktu kerja *relay* sangatlah kecil dengan nilai *error* rata-rata hanya 2,07244%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik.



Gambar 14. Grafik perbandingan hasil percobaan dengan hasil simulasi ETAP

Dapat dilihat pada [Gambar 14](#), semakin besar arus maka semakin cepat waktu kerja *relay*. Serta perbedaan antara waktu kerja *relay* yang didapatkan dari simulasi *software* ETAP

dengan waktu kerja *relay* dari hasil percobaan sangatlah kecil. Kemudian dapat dilihat juga bahwa semakin besar arus yang diberikan maka akan semakin cepat waktu *relay* untuk bekerja.

#### V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang rancang bangun Relai Arus Lebih Tipe *Inverse Time* Berbasis Arduino Di Laboratorium Sistem Proteksi dan Laboratorium Sistem Mikroprosesor, dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan hasil pengujian alat ini bekerja dengan baik dalam memproteksi arus lebih dan karakteristik waktu kerja *inverse time* terpenuhi berdasarkan simulasi pada *software* ETAP.
2. Grafik pada [Gambar 14](#), menunjukkan nilai arus (A) pada sumbu horizontal (x). Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai arus maka waktu pengoperasian rele semakin cepat, seperti yang ditunjukkan oleh dua hasil pengujian (ETAP dan percobaan).
3. Waktu kerja relai ditampilkan pada sumbu vertikal (y). Grafik tersebut menunjukkan bahwa untuk nilai arus yang sama, waktu kerja relai yang ditentukan dari hasil percobaan lebih lama dibandingkan dengan hasil simulasi ETAP.
4. Waktu relai dari simulasi ETAP menunjukkan garis yang lebih rendah dan lebih konsisten, sedangkan hasil percobaan menunjukkan tren serupa, meskipun dengan garis yang sedikit lebih tinggi.
5. Alat ini memiliki akurasi yang baik, dan menghasilkan rata-rata *error* yang cukup rendah yaitu 2,07244%.
6. Hasil pengujian gangguan beban lebih menunjukkan bahwa semakin besar arus gangguan mengakibatkan semakin cepat waktu trip, maka prototipe OCR dengan karakteristik inverse pada penelitian ini dinilai responsif.

#### REFERENSI

- [1] G. Nazhrullah dan A. Kharisma, "Relay proteksi arus lebih berbasis mikrokontroler Arduino," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.9.
- [2] V. Frandhiyawan, I. Winarno, dan D. Rahmatullah, "Rancang bangun rele arus lebih berbasis monitoring internet of things (IoT) dan Arduino sebagai proteksi elektronik 1 fasa," *SNST*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2894>.
- [3] A. Syhari dan A. Bintoro, "Monitoring dan controlling daya berbasis Arduino Uno menggunakan sensor PZEM-004T," *JEE*, vol. 12, no. 1, p. 43, Apr. 2023, doi: 10.29103/jee.v12i1.9836.
- [4] A. A. Hameed, A. J. Sultan, dan M. F. Booneya, "Design dan implementation a new real time overcurrent relay based on Arduino Mega," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 881, no. 1, p. 012142, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/881/1/012142.
- [5] M. Fahreza, "Desain controlling pengaman arus lebih berbasis Arduino," *J.mesil*, vol. 2, no. 1, pp. 47-53, Jun. 2021, doi: 10.53695/jm.v2i1.248.
- [6] E. A. Prastyo, "Pinout Arduino UNO R4 Minima," *Arduino Indonesia | Tutorial Lengkap Arduino Bahasa Indonesia*, Jan. 30, 2024. [Online] <https://www.arduinoindonesia.id/2023/07/pinout-arduino-uno-r4-minima.html> (accessed Apr. 22, 2024).
- [7] R. Riza Ibrahim dan B. Yulianti, "Rancang bangun monitoring pemakaian arus listrik PLN berbasis IoT," *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 43-51, 2022, doi: <https://doi.org/10.35968/jti.v11i2.953.g926>.
- [8] "New PZEM004T v3.00 and power flow direction," *Arduino Forum*, Jun. 17, 2019. [Online] <https://forum.arduino.cc/t/new-pzem004t-v3-00-and-power-flow-direction/597264/3> (accessed Apr. 22, 2024).

- [9] "LCD 16x2 1602 alphanumeric display and IIC/I2C serial interface adapte," *Robotbanao.com*, 2024. [Online] <https://www.robotbanao.com/products/arduino-uno-r3-with-jumper-wires-female-to-female-breadboard-jumper-wires-ff-40> (accessed Apr. 22, 2024).
- [10] A. Rohmanu dan D. Widiyanto, "Sistem sensor jarak aman pada mobil berbasis mikrokontroler Arduino ATMEGA328," *Jurnal Informatika SIMANTIK*, vol. 3, no. 1, pp. 7-14, Mar. 2018.
- [11] "Push to on - circular - momentary switch - non locking - 250V / 3A," *indiamart.com*, 2024. [Online] <https://www.indiamart.com/proddetail/push-to-on-circular-momentary-switch-non-locking-250v-3a-19701455091.html> (accessed Jun. 02, 2024).
- [12] A. K. Amrulloh, "Rancang bangun prototipe relai arus lebih dengan karakteristik inverse berbasis Arduino pada Laboratorium Sistem Daya Elektrik," Skripsi, Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Elektrik, Universitas Brawijaya, Malang, 2018.