

Rancang Bangun Simulator *Overcurrent Relay Type Standard Inverse* dan *Constant Time* Berbasis Arduino

Priyo Handoko Chusnama Ali¹, Leonardo Ferdy Widayanto², Marcelino Pakorong³, Fazri Catur Bagaskara⁴,
Rizky Aprilyanto Susilo⁵, Prihadi Murdiyat⁶
^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
Priyoh2003@gmail.com

Abstrak- *Overcurrent relay* sebagai salah satu sistem proteksi dalam jaringan distribusi listrik telah ditingkatkan performanya melalui implementasi mikrokontroler. Untuk mensimulasikan kerja *overcurrent relay*, modul Arduino yang berbasis Atmega328P dapat digunakan untuk mempelajari algoritma kerja *overcurrent relay*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun simulator *overcurrent relay* berbasis Arduino dengan dua karakteristik waktu kerja, yaitu *standard inverse* dan *constant time*. Simulator ini dilengkapi dengan sensor arus berbasis CT dan modul PZEM-004T untuk membaca arus, serta menggunakan LCD I2C 20x4 dan Keypad 4x4 sebagai antarmuka pengguna. Setelah simulator dirancang, langkah berikutnya adalah pengujian untuk mengukur akurasi pembacaan sensor dan kinerja *relay* pada berbagai variasi arus dan pengaturan waktu. Pengujian dilakukan pada tegangan 220 Volt *Alternating Current* (AC) dan pada berbagai variasi arus yaitu, arus 0,5 A, 1 A dan 1,5 A. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan *relay* beroperasi sesuai dengan karakteristik yang ditentukan pada berbagai variasi arus. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan karakteristik *standard inverse* dan *constant time* dengan rata-rata error pengukuran waktu kerja *relay* di bawah 2% untuk *standard inverse* dan 0% untuk *constant time*. Hal ini membuktikan bahwa sistem proteksi arus lebih yang dirancang berbasis Arduino ini akurat dan responsif.

Kata kunci: *Overcurrent Relay, Arduino, Standard Inverse, Constant Time*

I. PENDAHULUAN

Proteksi sistem tenaga listrik merupakan aspek penting untuk menjamin keamanan dan keandalan operasional jaringan distribusi. Salah satu bentuk gangguan yang umum terjadi adalah arus lebih, yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan listrik serta menimbulkan risiko kebakaran jika tidak segera ditangani. Untuk itu, digunakan *overcurrent relay* yang berfungsi memutus aliran listrik secara otomatis saat arus melebihi batas aman.

Overcurrent relay memiliki beberapa karakteristik kerja, dua di antaranya yang paling umum digunakan adalah *standard inverse* dan *constant time*. Pada karakteristik *standard inverse*, semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu pemutusannya. Sebaliknya, pada *constant time*, waktu pemutusan bersifat tetap selama arus melebihi batas yang telah ditentukan. Kombinasi kedua karakteristik ini memungkinkan sistem proteksi yang lebih fleksibel sesuai dengan kebutuhan instalasi listrik.

Seiring berkembangnya teknologi, penggunaan mikrokontroler dalam sistem proteksi telah menjadi solusi yang banyak digunakan. Mikrokontroler seperti Arduino menawarkan fleksibilitas pemrograman, kemudahan integrasi dengan berbagai sensor, serta kemampuan untuk merespons kondisi sistem secara *real-time*. Hal ini memberikan keuntungan dalam merancang sistem proteksi yang efisien, adaptif, dan mudah dikembangkan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mencoba mengimplementasikan sistem proteksi arus lebih berbasis mikrokontroler. Salah satu penelitian oleh Becky Arya Wijaya, dkk., mengembangkan sistem proteksi arus lebih karakteristik *standard inverse* menggunakan Arduino serta dilengkapi pengaturan *Time Multiplier Setting* (TMS) [1]. Penelitian lain oleh Arbain, Rizky Aprilyanto Susilo, dkk., merancang *relay* dengan karakteristik *very inverse* menggunakan Arduino Uno dan sensor PZEM-004T, serta memverifikasinya melalui simulasi ETAP dan pengujian eksperimental [2]. Adapun Rusdiansyah, dkk., mengembangkan sistem proteksi arus lebih satu fasa dengan karakteristik *constant time* yang difokuskan pada aplikasi rumah tangga [3].

Namun demikian, seluruh penelitian tersebut hanya berfokus pada satu karakteristik waktu kerja saja. Belum ada penelitian yang secara eksplisit menggabungkan dua mode karakteristik, yaitu *standard inverse* dan *constant time*, ke dalam satu sistem terpadu berbasis mikrokontroler dengan antarmuka interaktif. Padahal, integrasi kedua karakteristik ini akan memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi bagi pengguna untuk menyesuaikan pengaturan proteksi sesuai kebutuhan sistem.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki nilai kebaruan karena menggabungkan dua *mode* kerja proteksi arus lebih dalam satu perangkat simulator berbasis Arduino. Simulator ini dirancang tidak hanya untuk aplikasi proteksi praktis, tetapi juga sebagai media pembelajaran dan pengujian teknis. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun simulator *overcurrent relay* berbasis Arduino yang dapat beroperasi dalam dua *mode* proteksi, yaitu *standard inverse* dan *constant time*. Sistem ini menggunakan sensor arus CT dan modul PZEM-004T untuk pembacaan arus, serta dilengkapi LCD I2C dan keypad sebagai antarmuka pengguna. Komponen pendukung lainnya yaitu LED sebagai indikator dan *Solid State Relay* (SSR) untuk pemutusan arus. Simulator ini menguji algoritma kerja *overcurrent relay* sesuai variasi arus dan waktu *setting* tertentu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik merupakan mekanisme otomatis yang dirancang untuk mendeteksi gangguan atau kondisi abnormal pada jaringan listrik, lalu dengan cepat mengisolasi bagian yang terkena dampak. Sistem ini bertujuan menjaga kontinuitas penyaluran listrik secara andal dan stabil, serta melindungi peralatan listrik dari potensi kerusakan akibat gangguan. Dengan demikian, risiko kerugian dapat diminimalkan, waktu pemadaman berkurang, keselamatan operasional meningkat, dan kualitas serta kontinuitas daya listrik kepada pengguna akhir tetap terjaga [4].

B. Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik, proteksi berfungsi untuk melindungi atau mengisolasi bagian yang mengalami gangguan. Tujuannya adalah mencegah, menghentikan, dan membatasi dampak gangguan dengan hanya memutus bagian yang terganggu tanpa mengganggu sistem lain. Deteksi dilakukan dengan mengukur besaran listrik untuk membedakan kondisi normal dan abnormal [5].

Dalam penerapannya, terdapat beberapa kriteria penting yang harus diperhatikan saat memasang sistem proteksi pada rangkaian sistem tenaga listrik, yaitu:

1) Kepekaan (sensitifitas)

Sensitivitas adalah kemampuan *relay* proteksi untuk merespons secara tepat terhadap gangguan dalam area perlindungannya. Tingkat kepekaan ditentukan oleh seberapa kecil besaran penggerak yang dapat memicu operasi proteksi. Semakin kecil nilai tersebut, semakin tinggi sensitivitas, dan ini berkaitan erat dengan arus gangguan minimum di wilayah yang dilindungi [5].

2) Kecepatan

Sistem proteksi harus memiliki kecepatan kerja yang sesuai untuk menjamin kualitas pelayanan, keselamatan, perlindungan peralatan, dan stabilitas operasi. Namun, karena sistem tenaga memiliki batas stabilitas dan gangguan sering bersifat sementara, *relay* meskipun dirancang cepat, kadang perlu diberi penundaan waktu (*time delay*) agar tidak merespons secara prematur [5].

3) Selektifitas dan diskriminatif

Selektivitas berarti sistem proteksi mampu mengisolasi hanya bagian yang terganggu tanpa memengaruhi bagian lain yang masih normal. Diskriminasi adalah kemampuan sistem membedakan antara kondisi normal dan tidak normal, serta menentukan apakah gangguan terjadi di dalam atau luar area perlindungan. Dengan keduanya, tindakan proteksi dapat dilakukan secara tepat dan efisien [5].

4) Keandalan (*reliability*)

Sistem proteksi dikatakan andal apabila mampu beroperasi sesuai dengan yang diharapkan dalam setiap kondisi yang memerlukannya. Sebaliknya, sistem tersebut dianggap tidak andal apabila gagal berfungsi ketika diperlukan atau justru aktif pada saat tidak dibutuhkan [5].

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;

Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66>

5) Ekonomis

Perencanaan teknis yang baik tentunya harus mempertimbangkan aspek ekonomi. Oleh karena itu, pemilihan *relay* proteksi sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi biaya, namun tetap menjaga fungsi dan tingkat keandalannya [5].

C. Overcurrent Relay

Overcurrent relay (OCR) adalah *relay* proteksi yang bekerja berdasarkan besarnya arus yang melewati sistem. OCR memiliki parameter penting seperti nilai *pickup current* dan waktu operasi. Jika arus lebih dari nilai *pickup*, maka *relay* akan mengaktifkan sinyal *trip* setelah selang waktu tertentu. Terdapat beberapa jenis OCR berdasarkan karakteristik waktunya, seperti *inverse time* dan *constant time relay*. Pada tipe *inverse time*, semakin besar arus gangguan maka semakin cepat *relay* bekerja, sedangkan *type constant time* memiliki waktu kerja yang tetap tanpa bergantung pada besar arus [6].

D. Karakteristik Inverse Time

Karakteristik *inverse time* atau waktu terbalik adalah karakteristik operasi di mana waktu kerja *relay* berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan yang terdeteksi. Dapat diartikan bahwa semakin besar arus gangguan yang terjadi, maka semakin cepat waktu *trip* yang dihasilkan oleh sistem proteksi untuk memutus aliran arus dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan atau jaringan listrik [1]. Persamaan karakteristik *inverse time* dapat dilihat pada Persamaan (1).

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

Keterangan:

T = Waktu *Trip* (detik)

TMS = *Time Multiplier Setting*

I = Arus gangguan

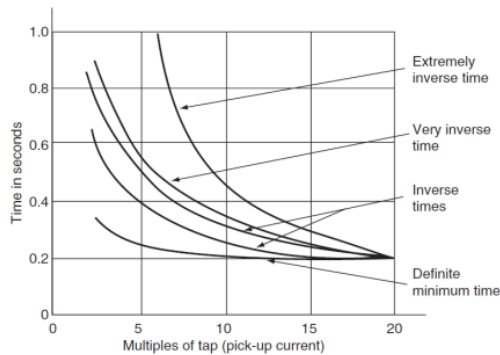
I_s = Arus *setting*

Karakteristik *inverse time* sesuai dengan IEC 60255 memuat nilai parameter α (alpha) dan β (beta) sebagai faktor penentu dalam persamaan waktu kerja *relay*. Nilai-nilai tersebut bisa dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1 [1]
STANDARD KARAKTERISTIK *INVERSE* SESUAI IEC 60255

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

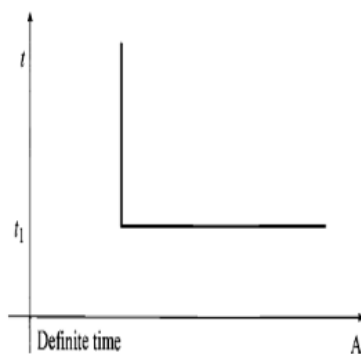
Tabel 1 menunjukkan *standard karakteristik inverse* sesuai IEC 60255. Terdapat 4 kurva yaitu *standard*, *very*, *extreme*, dan *long time inverse*. Setiap kurva memiliki nilai parameter α (alpha) dan β (beta) yang berbeda, yang menentukan kecepatan respon *relay* terhadap berbagai tingkat arus gangguan yang terukur. kurva karakteristik *inverse time* bisa dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Kurva karakteristik *inverse time* [7]

Gambar 1 menunjukkan kurva karakteristik *inverse time*. Kurva tersebut memiliki 2 Sumbu, yaitu sumbu x dan sumbu y. sumbu x menunjukkan arus dan sumbu y menunjukkan waktu *trip* dalam satuan waktu detik. Kurva karakteristik *inverse time* menunjukkan bahwa semakin besar arus gangguan yang terukur maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi.

E. Karakteristik Constant Time (Definitive Time)

Karakteristik *constant time* atau *definitive time* adalah operasi *relay* proteksi dengan waktu *trip* yang tetap sesuai dengan *setting*, tanpa dipengaruhi besarnya arus lebih. Setelah arus melebihi ambang batas (*pickup*), *relay* menghitung waktu tunda sesuai pengaturan dan memutus rangkaian setelah waktu tersebut tercapai [8]. Kurva karakteristik *constant time* atau *definitive time* bisa dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Kurva karakteristik *constant time* atau *definitive time* [8]

Gambar 2 menunjukkan kurva karakteristik *constant time* atau *definitive time*. Kurva tersebut memiliki 2 sumbu, yaitu sumbu x dan sumbu y. Sumbu x menunjukkan arus dalam satuan Ampere dan sumbu y menunjukkan waktu *trip* yang terjadi.

F. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian komponennya terintegrasi dalam satu chip IC, sehingga sering dikenal sebagai komputer mikro satu chip (*single chip microcomputer*). Mikrokontroler juga berfungsi sebagai sistem komputer yang dirancang untuk

menjalankan satu atau beberapa tugas khusus, terutama dalam menangani fungsi *input*, pemrosesan, dan *output* [9].

G. Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler *open-source* berbasis ATmega328P yang diprogram menggunakan bahasa Arduino melalui komputer. Papan ini dapat membaca *input*, memproses data, dan menghasilkan *output* untuk mengendalikan perangkat elektronik. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 mendukung PWM), 6 input analog, serta mendukung komunikasi serial, I2C, dan SPI untuk koneksi modul eksternal [10]. Arduino Uno bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Arduino Uno [10]

H. PZEM-004Tv30

PZEM-004Tv30 adalah modul sensor untuk mengukur arus, tegangan, daya, dan energi pada sistem AC satu fasa. Modul ini menggunakan komunikasi serial TTL dan dapat dihubungkan dengan mikrokontroler seperti Arduino secara langsung. Umumnya, modul ini dilengkapi dengan CT bawaan berdiameter 3 mm yang mampu mendeteksi arus hingga 100A secara *real-time* dan akurat [11]. PZEM-004Tv30 bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. PZEM-004Tv30 [11]

I. Solid State Relay (SSR)

Solid State Relay (SSR) adalah *relay* elektronik yang berbeda dari *relay* elektromagnetik karena tidak memiliki bagian bergerak dan tidak menghasilkan suara saat beroperasi. Menggunakan komponen elektronik, SSR dapat dikendalikan dengan tegangan rendah dari mikrokontroler namun mampu mengendalikan beban dengan arus *output* yang besar. [12]. *Solid State Relay* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Solid State Relay (SSR) [12]

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

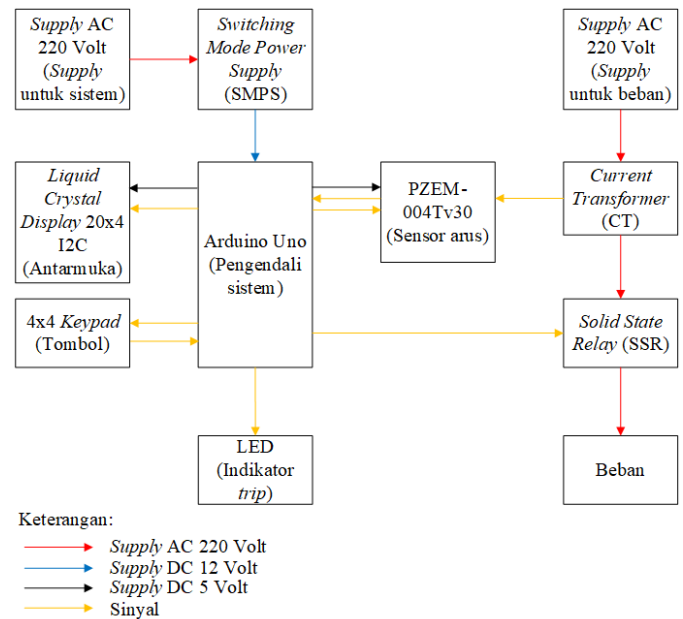
Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu 16 minggu. Kegiatan penelitian dimulai pada bulan Februari 2025 dan berakhir pada bulan Mei 2025. Rentang waktu tersebut digunakan untuk seluruh tahapan, mulai dari perencanaan hingga evaluasi hasil penelitian. Adapun tempat pelaksanaan penelitian adalah di Laboratorium Proteksi dan Mikroprosesor, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda.

B. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan dan pengujian langsung terhadap sistem *overcurrent relay* yang dirancang, mencakup pembacaan arus oleh sensor PZEM-004T, waktu kerja *relay*, serta respons sistem terhadap variasi arus dan *mode* kerja, yang dikumpulkan melalui eksperimen di Laboratorium Proteksi dan Mikroprosesor, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda. Data sekunder berasal dari berbagai jurnal ilmiah yang membahas prinsip kerja *overcurrent relay*, karakteristik *inverse time* dan *constant time*, serta penerapan mikrokontroler Arduino, dan digunakan untuk memperkuat landasan teori serta analisis hasil pengujian.

C. Gambaran Umum Sistem

Gambaran umum sistem dari rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino adalah untuk melindungi beban listrik dari arus berlebih menggunakan dua jenis karakteristik, yaitu *standard inverse* dan *constant time*, dengan Arduino sebagai pengendali sistem. Diagram blok sistem rancang bangun *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Diagram blok sistem rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

Gambar 6 menunjukkan diagram blok sistem simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino. Sensor arus dan tegangan PZEM-004T menerima sinyal dari *Current Transformer* (CT) pada jalur beban, kemudian mengirim data ke Arduino yang memproses dan menampilkan informasi pada LCD 20x4 I2C, serta mengatur *mode* kerja melalui keypad 4x4; LED indikator *trip* menyala saat mendeteksi arus lebih dan memutus beban lewat *Solid State Relay* (SSR).

Sistem mendapat daya dari *Switching Mode Power Supply* (SMPS) yang mengubah tegangan AC 220 Volt menjadi DC 12 Volt stabil untuk komponen elektronik, dengan kode warna pada diagram untuk memudahkan identifikasi jalur listrik dan sinyal: merah untuk AC 220V, biru untuk DC 12V, dan kuning untuk sinyal/data.

Sistem ini dirancang untuk mendeteksi arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu sesuai standar proteksi, menampilkan informasi *real-time* untuk memantau kondisi operasional, dan secara otomatis memutus beban saat arus berlebih guna mencegah kerusakan serta meningkatkan keselamatan dan keandalan instalasi listrik.

D. Peralatan dan Material

Peralatan dan material yang digunakan pada rancang bangun *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis arduino dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
PERALATAN DAN MATERIAL

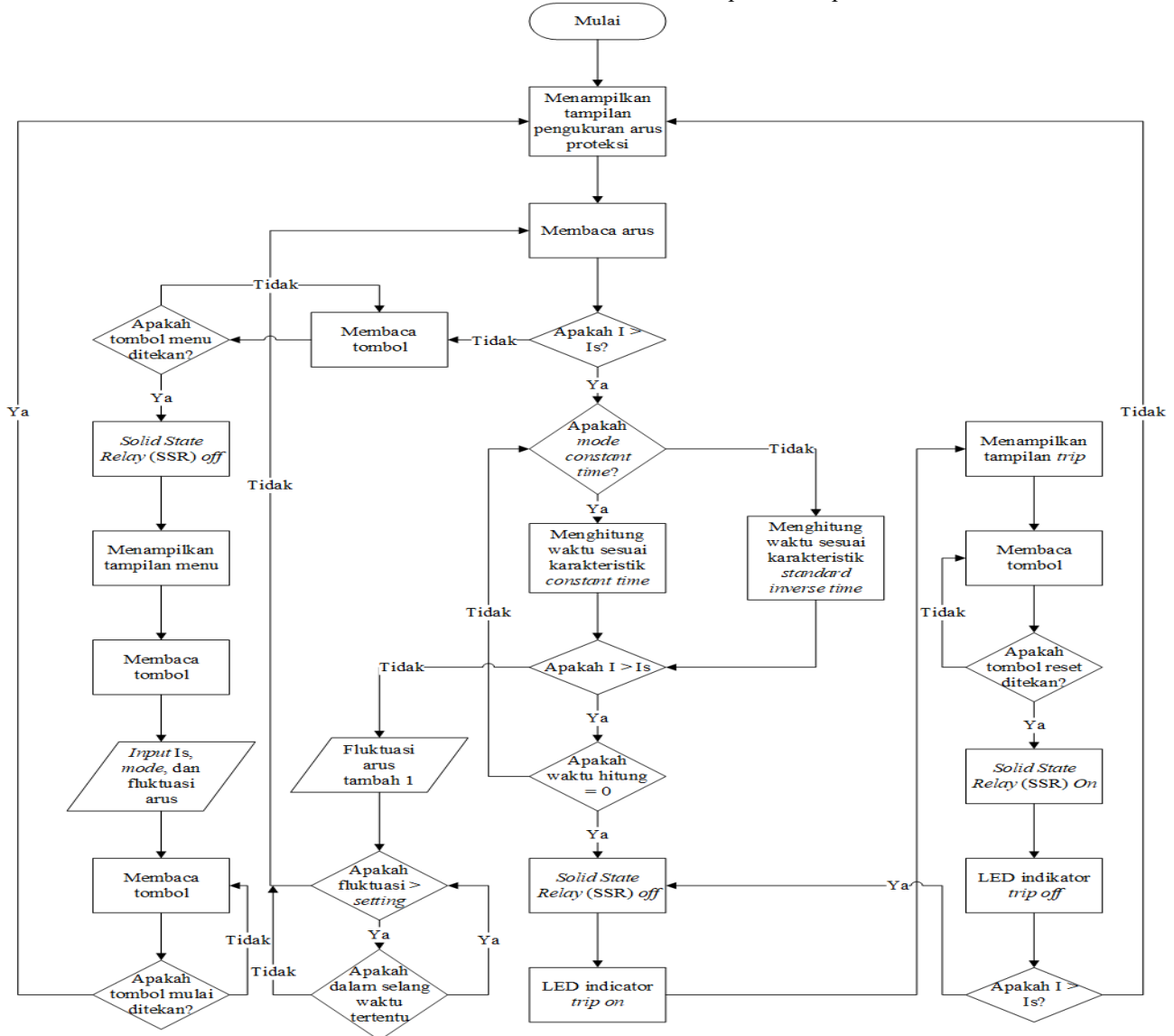
No.	Peralatan	Material
1	Power Supply AC	Arduino Uno
2	Ampere meter	PZEM-004Tv30
3	Variable resistor	Solid State Relay (SSR)
4	Laptop	Liquid Crystal Display 20x4 I2C
5	Tang pengupas kabel	Ligh Emitting Diode (LED)
6	Solder	Resistor 220 Ω
7	Obeng Plus	Keypad 4x4
8	Tang kombinasi	Switching Mode Power Supply (SMPS)
9	Bor	Female banana socket

No.	Peralatan	Material
10	Gerinda	Kabel NYAF 1,5 mm
11		Kabel jumper male to female
12		Kabel jumper male to male
13		Kabel jumper female to female
14		Timah
15		Double layer Printed Circuit Board (PCB)
16		Spacer
17		Baut spacer
18		Mur spacer
19		Baut 7 cm
20		Mur baut 7 cm
21		Akrilik 5 mm

E. Flowchart

Flowchart rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

berfungsi untuk mempermudah pemahaman terhadap alur kerja sistem proteksi yang dirancang. *Flowchart* ini merepresentasikan secara visual tahapan logika sistem, mulai dari pembacaan arus oleh sensor, pemilihan *mode* kerja oleh pengguna melalui *keypad*, hingga proses *trip* saat terjadi arus lebih dan proses reset setelah gangguan diatasi. Penyusunan *flowchart* bertujuan untuk memastikan setiap proses dan pengambilan keputusan dalam sistem teridentifikasi secara jelas, sistematis, dan mudah dipahami, sehingga dapat mempermudah proses perancangan, analisis, serta pengembangan sistem lebih lanjut. *Flowchart* lengkap dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. Flowchart rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

Gambar 7 menunjukkan *flowchart* dari rancang bangun simulator *overcurrent relay* berbasis Arduino. *Flowchart* ini berfungsi sebagai representasi visual dari alur kerja sistem, sehingga mempermudah pemahaman terhadap proses logika yang berlangsung di dalamnya. Tahapan dalam *flowchart* mencakup inisialisasi sistem, pembacaan arus oleh sensor, pemilihan *mode* kerja oleh pengguna (*inverse time* atau

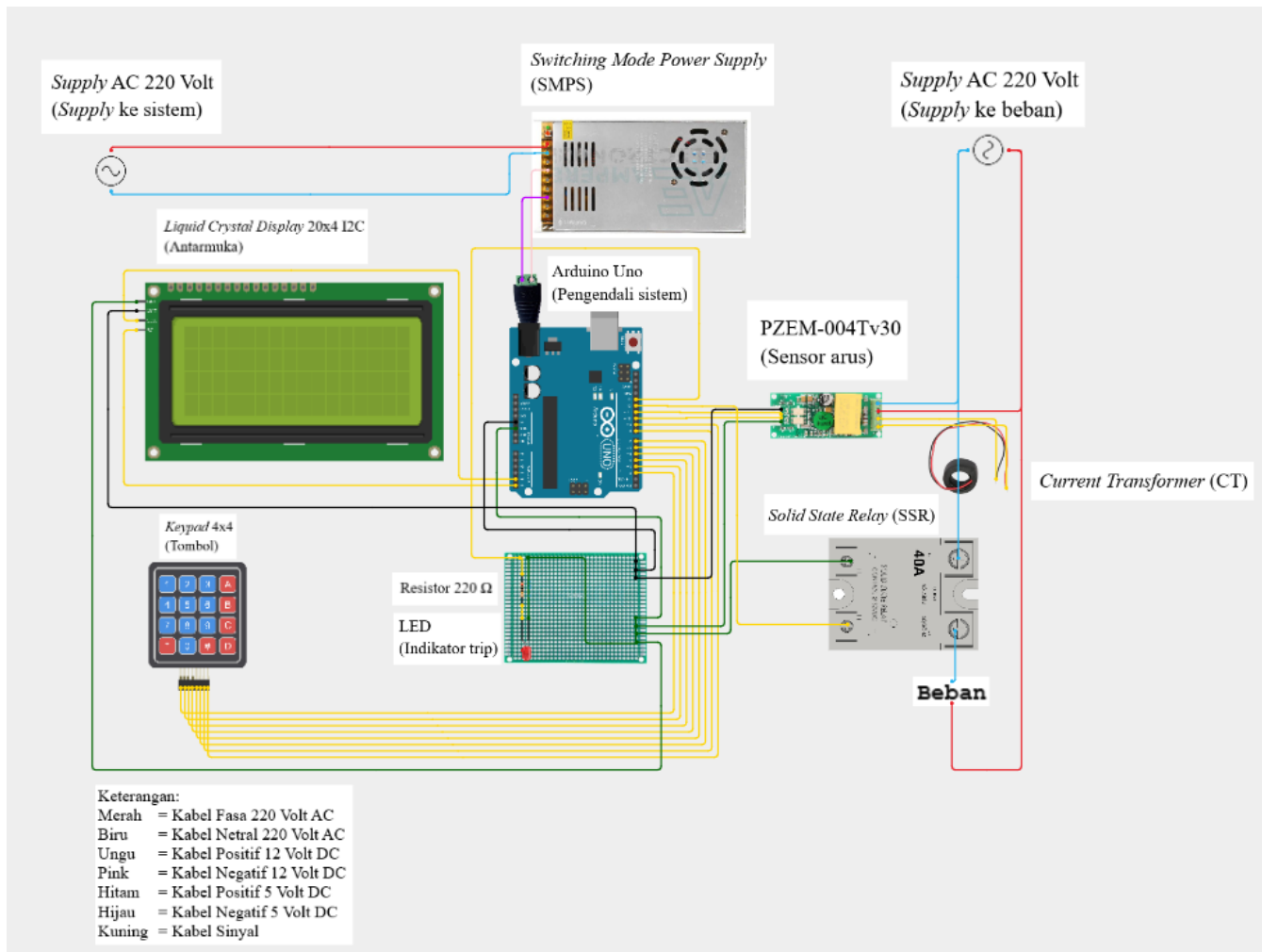
constant time), perhitungan waktu tunda berdasarkan *mode* yang dipilih, hingga proses *trip* saat terdeteksi arus lebih dan proses reset oleh pengguna. Setiap proses digambarkan secara runtut untuk memastikan bahwa alur kerja sistem dapat dipahami secara sistematis dan menyeluruh. *Flowchart* juga berguna dalam dokumentasi teknis sebagai acuan bagi pengembang atau teknisi lain yang terlibat dalam proyek.

Dengan perancangan *flowchart* yang baik, efektivitas dan keandalan sistem proteksi lebih terjamin. Selain itu, *flowchart* membantu mempercepat proses *debugging* saat terjadi kesalahan logika dalam sistem.

F. Wiring Diagram

Wiring diagram rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino berfungsi mempermudah pemahaman hubungan antar komponen dalam sistem proteksi yang dirancang. Diagram ini merepresentasikan sambungan kelistrikan antara modul utama seperti Arduino Uno, PZEM-004T, *Solid State Relay* (SSR),

LCD I2C 20x4, *keypad*, LED indikator, dan trafo arus (CT) secara menyeluruh dan sistematis. Penyusunan *wiring diagram* bertujuan memastikan koneksi antar komponen dilakukan dengan tepat dan aman, sehingga meminimalkan kesalahan perakitan serta memudahkan proses perawatan, modifikasi, dan pengembangan sistem ke depan. Diagram ini juga membantu mempercepat proses instalasi, menghindari kesalahan teknis, dan memastikan setiap sambungan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. *Wiring diagram* rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Wiring diagram* rancang bangun simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time* berbasis Arduino

Gambar 8 menunjukkan *wiring diagram* sistem proteksi arus lebih berbasis Arduino Uno yang terdiri dari PZEM-004T v3.0, SSR, LCD I2C 20x4, *keypad* 4x4, LED indikator, dan CT. Arduino Uno berperan sebagai pengendali utama yang membaca arus dari PZEM-004T, menerima input dari *keypad*, menampilkan data pada LCD, serta mengontrol SSR untuk memutus atau menyambung arus. LCD menampilkan informasi seperti arus beban, arus *setting*, *mode* kerja, dan status sistem. *Keypad* digunakan untuk memilih *mode*, mengatur *parameter*, dan mereset sistem jika terjadi kondisi *trip*. PZEM-004T membaca arus AC melalui CT dan mengirimkannya ke Arduino

secara serial. Jika terjadi arus lebih, Arduino mengaktifkan LED sebagai indikator visual dan memutus arus ke beban melalui SSR sebagai tindakan proteksi. Sistem menggunakan catu daya 12V DC untuk menyuplai Arduino dan *supply* 5 VDC dari arduino ke komponen digital lainnya. Setiap kabel pada diagram diberi kode warna untuk mempermudah identifikasi dan meminimalkan kesalahan instalasi. Pengkabelan antar komponen disusun dengan mempertimbangkan efisiensi ruang dan kemudahan dalam proses perakitan. Semua komponen digital terhubung ke Arduino melalui pin *input/output* yang

telah ditentukan secara sistematis. Pin *input* dan *output* yang digunakan bisa dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3
PIN *INPUT* DAN *OUTPUT* YANG DIGUNAKAN

No.Pin	Pin Mode	Komponen	Keterangan
2 sampai 9	<i>Input</i>	Keypad 4x4	Digunakan untuk memasukkan <i>input mode</i> dan parameter oleh pengguna
10 dan 11	<i>Input dan Output</i>	PZEM-004Tv30	Komunikasi serial dengan modul pengukur arus dan tegangan
12	<i>Input</i>	Solid State Relay (SSR)	Menerima sinyal kontrol <i>trip</i> untuk memutus arus beban
13	<i>Output</i>	LED	Indikator status sistem, menyala saat kondisi <i>trip</i>
SDA dan SCL	<i>Output</i>	LCD 20x4 I2C	Menampilkan informasi arus, <i>mode</i> kerja, waktu <i>trip</i> , dan status sistem

Tabel 3 menunjukkan pin input dan output pada simulator *overcurrent relay type standard inverse* dan *constant time*. Pin 2–9 digunakan untuk keypad 4x4 sebagai input pengguna dalam pengaturan *mode* dan parameter. Pin 11 digunakan untuk komunikasi dengan modul PZEM-004Tv30. Pin 12 mengontrol Solid State Relay (SSR) untuk memutus arus beban secara otomatis, dan pin 13 untuk LED indikator *trip*. Pin SDA dan SCL digunakan oleh LCD I2C 20x4 sebagai antarmuka utama tampilan sistem.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Akurasi Sensor Arus PZEM-004Tv30

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji akurasi hasil pembacaan arus pada sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur Ampere meter. Hasil pengujian sensor arus PZEM-004Tv30 bisa dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil pengujian sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur

Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur Ampere meter. Hasil pengujian tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur Ampere meter. Maka dilakukan pengujian sebanyak delapan belas kali untuk mengetahui berapa rata-rata error sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur. Hasil pengujian akurasi sensor arus PZEM-004Tv30 dengan alat ukur dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN AKURASI SENSOR ARUS PZEM-004TV30
DENGAN ALAT UKUR

No.	Alat ukur Ampere meter	Sensor arus PZEM- 004Tv30	Selisih	Error (%)
1	0,503	0,503	0	0
2	0,6	0,6	0	0
3	0,705	0,706	0,001	0,14
4	0,805	0,807	0,002	0,25
5	0,902	0,905	0,003	0,33
6	1,004	1,007	0,003	0,30
7	1,105	1,109	0,004	0,36
8	1,203	1,208	0,005	0,42
9	1,31	1,316	0,006	0,46
10	1,405	1,412	0,007	0,50
11	1,531	1,539	0,008	0,52
12	1,605	1,613	0,008	0,50
13	1,7	1,709	0,009	0,53
14	1,813	1,823	0,01	0,55
15	1,938	1,949	0,011	0,57
16	2,001	2,013	0,012	0,60
17	2,139	2,152	0,013	0,61
18	2,2	2,213	0,013	0,59
Rata-rata			0,006	0,40

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian akurasi sensor arus PZEM-004TV30 dengan membandingkan nilai arus yang terbaca oleh sensor dan alat ukur (Ampere meter). Pengujian dilakukan pada 18 titik dengan rentang arus 0,503 A hingga 2,213 A. Selisih pembacaan berkisar antara 0 hingga 0,013 A, dengan persentase error tertinggi 0,75% dan terendah 0%. Rata-rata selisih sebesar 0,006 A dan rata-rata error 0,40% menunjukkan bahwa sensor ini cukup akurat dan konsisten untuk aplikasi pemantauan arus dengan kebutuhan akurasi menengah. Oleh karena itu, sensor ini dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem proteksi berbasis mikrokontroler.

B. Pengujian Solid State Relay (SSR)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui Solid State Relay (SSR) ini masih dalam keadaan normal. Cara mengetahui Solid State Relay (SSR) ini masih dalam keadaan normal adalah dengan cara memberikan sinyal ke Solid State Relay (SSR). Apabila Solid State Relay (SSR) diberikan sinyal HIGH maka Solid State Relay (SSR) bekerja ditandai dengan lampu indikator Solid State Relay (SSR) yang menyala dan adanya arus yang mengalir ke beban. Sementara itu, apabila Solid State Relay (SSR) diberikan sinyal LOW maka Solid State Relay (SSR) tidak bekerja ditandai dengan lampu indikator yang tidak menyala dan terlihat arus yang mengalir sangat kecil atau bisa dibilang tidak adanya arus yang mengalir karena sangat kecil. Pengujian Solid State Relay (SSR) diberikan sinyal HIGH bisa dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian Solid State Relay (SSR) diberikan sinyal HIGH

Gambar 10 menunjukkan pengujian Solid State Relay (SSR) diberikan sinyal HIGH. Pengujian ini menunjukkan bahwa ketika Solid State Relay (SSR) diberikan sinyal HIGH

maka *Solid State Relay* (SSR) akan bekerja dapat dilihat dengan lampu indikator di *Solid State Relay* (SSR) yang menyala dan adanya arus yang mengalir ke beban. Selanjutnya, pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW*

Gambar 11 menunjukkan pengujian *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW*. Pengujian ini menunjukkan bahwa ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW* maka *Solid State Relay* (SSR) akan tidak bekerja dapat dilihat dengan lampu indikator di *Solid State Relay* (SSR) yang tidak menyala dan terlihat arus yang mengalir sangat kecil atau bisa dibilang tidak adanya arus yang mengalir karena arus yang mengalir sangat kecil yaitu 0,007 A. Hasil Pengujian *Solid State Relay* (SSR) dapat dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5
PENGUJIAN *SOLID STATE RELAY* (SSR)

Sinyal	Lampu indikator	Arus
<i>HIGH</i>	Hidup	Ada
<i>LOW</i>	Mati	Tidak ada

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian *Solid State Relay* (SSR). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Solid State Relay* (SSR) ini masih dalam keadaan normal. Hal ini terlihat pada Tabel 5, ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *HIGH*, maka SSR akan bekerja, yang ditandai dengan lampu indikator

menyala dan adanya arus yang mengalir ke beban secara stabil dan sesuai ekspektasi rangkaian yang telah dirancang sebelumnya untuk mendukung fungsi proteksi yang diharapkan dan menjaga kontinuitas *supply* daya ke beban tanpa gangguan berarti selama pengujian berlangsung. Kondisi ini menunjukkan bahwa sinyal logika dari mikrokontroler berhasil memicu kerja SSR secara responsif. Selain itu, nilai arus yang terdeteksi pada kondisi ini konsisten dengan kebutuhan beban yang diujikan. Sementara itu, ketika *Solid State Relay* (SSR) diberikan sinyal *LOW*, maka SSR tidak bekerja, yang ditandai dengan lampu indikator mati dan arus yang tidak ada atau sangat kecil, yaitu hanya sekitar 0,007 A. Pengujian ini membuktikan bahwa *Solid State Relay* (SSR) masih berfungsi dengan baik dan layak digunakan dalam rancang bangun sistem proteksi arus lebih ini.

C. Pengujian Akurasi *Overcurrent Relay Type Standard Inverse*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sudah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut. Pengujian dilakukan pada tegangan AC 220 V. Pengujian ini dilakukan dalam tiga tahapan, masing-masing menggunakan arus *setting* (Is) sebesar 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A. Pada setiap tahap, pengujian dilakukan dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) yaitu 0,05, 0,1, dan 0,2.

Pengujian tahap pertama yang dilakukan sebanyak lima puluh kali pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan antara Hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 dapat dilihat pada Tabel 6.

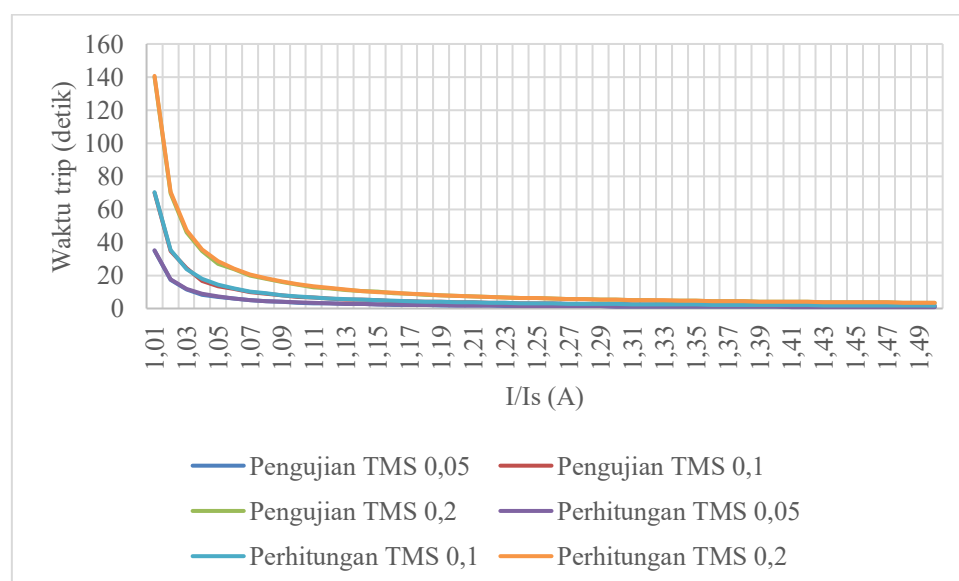
TABEL 6
PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *OVERCURRENT RELAY TYPE STANDARD INVERSE TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 0,5 A DENGAN VARIASI *TIME MULTIPLIER SETTING* (TMS) 0,05, 0,1, DAN 0,2

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2		
				Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)
1	0,5	0,505	1,01	35,17	35,02	0,43	70,34	70,04	0,43	140,68	140,08	0,43
2	0,5	0,51	1,02	17,67	17,4	1,53	35,34	34,8	1,53	70,68	69,6	1,53
3	0,5	0,515	1,03	11,84	11,47	3,12	23,67	24,5	3,51	47,35	45,88	3,10
4	0,5	0,52	1,04	8,92	8,32	6,73	17,84	16,64	6,73	35,68	34,86	2,30
5	0,5	0,525	1,05	7,17	7,04	1,81	14,34	13,56	5,44	28,68	27,12	5,44
6	0,5	0,53	1,06	6,00	5,91	1,50	12,01	11,83	1,50	24,01	23,65	1,50
7	0,5	0,535	1,07	5,17	4,97	3,87	10,34	9,94	3,87	20,68	19,87	3,92
8	0,5	0,54	1,08	4,54	4,49	1,10	9,09	8,99	1,10	18,18	17,98	1,10
9	0,5	0,545	1,09	4,06	3,94	2,96	8,12	8,04	0,99	16,23	16,08	0,92
10	0,5	0,55	1,1	3,67	3,57	2,72	7,34	7,14	2,72	14,67	14,55	0,82
11	0,5	0,555	1,11	3,35	3,27	2,39	6,70	6,65	0,75	13,40	12,86	4,03
12	0,5	0,56	1,12	3,08	3,06	0,65	6,17	6,03	2,27	12,34	12,25	0,73
13	0,5	0,565	1,13	2,86	2,8	2,10	5,72	5,53	3,32	11,44	11,21	2,01
14	0,5	0,57	1,14	2,67	2,65	0,75	5,34	5,24	1,87	10,67	10,47	1,87
15	0,5	0,575	1,15	2,50	2,46	1,60	5,00	4,91	1,80	10,00	10,2	2,00
16	0,5	0,58	1,16	2,35	2,29	2,55	4,71	4,53	3,82	9,42	9,37	0,53
17	0,5	0,585	1,17	2,23	2,19	1,79	4,45	4,43	0,45	8,90	8,77	1,46
18	0,5	0,59	1,18	2,11	2,08	1,42	4,22	4,16	1,42	8,44	8,24	2,37
19	0,5	0,595	1,19	2,01	1,98	1,49	4,02	4	0,50	8,03	8	0,37
20	0,5	0,6	1,2	1,92	1,88	2,08	3,83	3,78	1,31	7,66	7,57	1,17

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2			
				Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	
21	0,5	0,605	1,21	1,83	1,8	1,64	3,67	3,65	0,54	7,33	7,31	0,27	
22	0,5	0,61	1,22	1,76	1,73	1,70	3,51	3,47	1,14	7,03	6,89	1,99	
23	0,5	0,615	1,23	1,69	1,66	1,78	3,37	3,36	0,30	6,75	6,68	1,04	
24	0,5	0,62	1,24	1,62	1,59	1,85	3,25	3,24	0,31	6,49	6,48	0,15	
25	0,5	0,625	1,25	1,56	1,54	1,28	3,13	3,12	0,32	6,26	6,2	0,96	
26	0,5	0,63	1,26	1,51	1,47	2,65	3,02	2,97	1,66	6,04	5,99	0,83	
27	0,5	0,635	1,27	1,46	1,44	1,37	2,92	2,91	0,34	5,84	5,79	0,86	
28	0,5	0,64	1,28	1,41	1,39	1,42	2,83	2,82	0,35	5,66	5,61	0,88	
29	0,5	0,645	1,29	1,37	1,35	1,46	2,74	2,7	1,46	5,48	5,41	1,28	
30	0,5	0,65	1,3	1,33	1,32	0,75	2,66	2,64	0,75	5,32	5,25	1,32	
31	0,5	0,655	1,31	1,29	1,27	1,55	2,59	2,57	0,77	5,17	5,13	0,77	
32	0,5	0,66	1,32	1,26	1,24	1,59	2,51	2,5	0,40	5,03	4,94	1,79	
33	0,5	0,665	1,33	1,22	1,21	0,82	2,45	2,44	0,41	4,90	4,84	1,22	
34	0,5	0,67	1,34	1,19	1,17	1,68	2,38	2,37	0,42	4,77	4,74	0,63	
35	0,5	0,675	1,35	1,16	1,14	1,72	2,33	2,3	1,29	4,65	4,62	0,65	
36	0,5	0,68	1,36	1,13	1,12	0,88	2,27	2,24	1,32	4,54	4,53	0,22	
37	0,5	0,685	1,37	1,11	1,09	1,80	2,22	2,2	0,90	4,43	4,39	0,90	
38	0,5	0,69	1,38	1,08	1,06	1,85	2,17	2,14	1,38	4,33	4,29	0,92	
39	0,5	0,695	1,39	1,06	1,05	0,94	2,12	2,1	0,94	4,24	4,23	0,24	
40	0,5	0,7	1,4	1,04	1,03	0,96	2,07	2,06	0,48	4,15	4,11	0,96	
41	0,5	0,705	1,41	1,02	1,01	0,98	2,03	2,01	0,99	4,06	4,01	1,23	
42	0,5	0,71	1,42	0,99	0,98	1,01	1,99	1,98	0,50	3,98	3,95	0,75	
43	0,5	0,715	1,43	0,98	0,96	2,04	1,95	1,93	1,03	3,90	3,85	1,28	
44	0,5	0,72	1,44	0,96	0,94	2,08	1,91	1,9	0,52	3,83	3,81	0,52	
45	0,5	0,725	1,45	0,94	0,93	1,06	1,88	1,87	0,53	3,75	3,74	0,27	
46	0,5	0,73	1,46	0,92	0,91	1,09	1,84	1,83	0,54	3,69	3,67	0,54	
47	0,5	0,735	1,47	0,90	0,9	0,00	1,81	1,8	0,55	3,62	3,6	0,55	
48	0,5	0,74	1,48	0,89	0,88	1,12	1,78	1,76	1,12	3,56	3,53	0,84	
49	0,5	0,745	1,49	0,87	0,87	0	1,75	1,74	0,57	3,50	3,47	0,86	
50	0,5	0,75	1,5	0,86	0,85	1,16	1,72	1,71	0,58	3,44	3,4	1,16	
Rata-rata error						1,66				1,35			1,27

Tabel 6 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus setting (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error dibawah 2 persen. Rata-rata error untuk *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 adalah 1,66 persen, *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,1 sebesar 1,35 persen, dan *Time Multiplier Setting* 0,02 sebesar 1,27 persen. Nilai ini

menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus setting (Is) 0,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dengan rata-rata error dibawah 2 persen. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus setting (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1 dan 0,2 dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus setting (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2

Gambar 12 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I/Is dalam satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 6 kurva pada grafik ini, yaitu kurva pengujian dan perhitungan pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2. Warna kurva pengujian pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2 berwarna biru, merah, dan hijau. Sementara itu kurva perhitungan pada TMS 0,05, 0,1, dan 0,2 berwarna ungu, biru muda, dan jingga. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi. Sebaliknya, semakin besar nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) maka waktu

trip yang dihasilkan semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time*.

Pengujian tahap kedua dilakukan sebanyak 50 kali pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 dapat dilihat pada Tabel 7

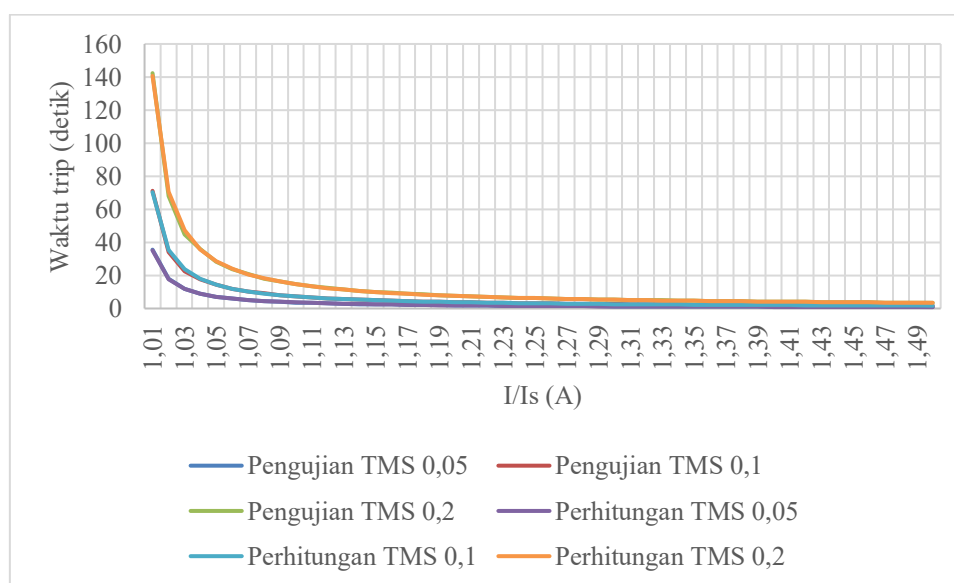
TABEL 7
PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *OVERCURRENT RELAY TYPE STANDARD INVERSE TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 1 A DENGAN VARIASI *TIME MULTIPLIER SETTING* (TMS) 0,05, 0,1, DAN 0,2

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2		
				Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)
1	1	1,01	1,01	35,17	35,59	1,19	70,34	71,18	1,19	140,68	142,36	1,19
2	1	1,02	1,02	17,67	17,84	0,96	35,34	33,99	3,82	70,68	67,98	3,82
3	1	1,03	1,03	11,84	11,94	0,84	23,67	22,4	5,37	47,35	44,81	5,36
4	1	1,04	1,04	8,92	8,99	0,78	17,84	17,55	1,63	35,68	35,97	0,81
5	1	1,05	1,05	7,17	7,09	1,12	14,34	14,45	0,77	28,68	28,31	1,29
6	1	1,06	1,06	6,00	6,05	0,83	12,01	11,72	2,41	24,01	23,81	0,83
7	1	1,07	1,07	5,17	5,14	0,58	10,34	10,27	0,68	20,68	20,83	0,73
8	1	1,08	1,08	4,54	4,58	0,88	9,09	9,38	3,19	18,18	18,09	0,50
9	1	1,09	1,09	4,06	4,09	0,74	8,12	8	1,48	16,23	16,35	0,74
10	1	1,1	1,1	3,67	3,63	1,09	7,34	7,32	0,27	14,67	14,92	1,70
11	1	1,11	1,11	3,35	3,43	2,39	6,70	6,69	0,15	13,40	13,61	1,57
12	1	1,12	1,12	3,08	3,13	1,62	6,17	6,12	0,81	12,34	12,53	1,54
13	1	1,13	1,13	2,86	2,84	0,70	5,72	5,72	0,00	11,44	11,61	1,49
14	1	1,14	1,14	2,67	2,65	0,75	5,34	5,34	0,00	10,67	10,67	0,00
15	1	1,15	1,15	2,50	2,53	1,20	5,00	5	0,00	10,00	10,07	0,70
16	1	1,16	1,16	2,35	2,37	0,85	4,71	4,74	0,64	9,42	9,48	0,64
17	1	1,17	1,17	2,23	2,23	0,00	4,45	4,43	0,45	8,90	8,87	0,34
18	1	1,18	1,18	2,11	2,11	0,00	4,22	4,25	0,71	8,44	8,5	0,71
19	1	1,19	1,19	2,01	2,02	0,50	4,02	4,02	0,00	8,03	8,05	0,25
20	1	1,2	1,2	1,92	1,92	0,00	3,83	3,86	0,78	7,66	7,65	0,13
21	1	1,21	1,21	1,83	1,83	0,00	3,67	3,64	0,82	7,33	7,38	0,68
22	1	1,22	1,22	1,76	1,75	0,57	3,51	3,52	0,28	7,03	6,99	0,57
23	1	1,23	1,23	1,69	1,69	0,00	3,37	3,34	0,89	6,75	6,74	0,15
24	1	1,24	1,24	1,62	1,62	0,00	3,25	3,24	0,31	6,49	6,51	0,31
25	1	1,25	1,25	1,56	1,57	0,64	3,13	3,16	0,96	6,26	6,28	0,32
26	1	1,26	1,26	1,51	1,52	0,66	3,02	3,03	0,33	6,04	6,04	0,00
27	1	1,27	1,27	1,46	1,46	0,00	2,92	2,94	0,68	5,84	5,88	0,68
28	1	1,28	1,28	1,41	1,42	0,71	2,83	2,83	0,00	5,66	5,66	0,00
29	1	1,29	1,29	1,37	1,38	0,73	2,74	2,76	0,73	5,48	5,5	0,36
30	1	1,3	1,3	1,33	1,34	0,75	2,66	2,67	0,38	5,32	5,31	0,19
31	1	1,31	1,31	1,29	1,29	0,00	2,59	2,59	0,00	5,17	5,15	0,39
32	1	1,32	1,32	1,26	1,25	0,79	2,51	2,52	0,40	5,03	5,03	0,00
33	1	1,33	1,33	1,22	1,22	0,00	2,45	2,45	0,00	4,90	4,93	0,61
34	1	1,34	1,34	1,19	1,19	0,00	2,38	2,38	0,00	4,77	4,76	0,21
35	1	1,35	1,35	1,16	1,16	0,00	2,33	2,32	0,43	4,65	4,66	0,22
36	1	1,36	1,36	1,13	1,13	0,00	2,27	2,28	0,44	4,54	4,55	0,22
37	1	1,37	1,37	1,11	1,11	0,00	2,22	2,23	0,45	4,43	4,41	0,45
38	1	1,38	1,38	1,08	1,08	0,00	2,17	2,15	0,92	4,33	4,33	0,00
39	1	1,39	1,39	1,06	1,05	0,94	2,12	2,12	0,00	4,24	4,18	1,42
40	1	1,4	1,4	1,04	1,03	0,96	2,07	2,07	0,00	4,15	4,14	0,24
41	1	1,41	1,41	1,02	1,02	0,00	2,03	2,03	0,00	4,06	4,07	0,25
42	1	1,42	1,42	0,99	0,99	0,00	1,99	1,99	0,00	3,98	3,97	0,25
43	1	1,43	1,43	0,98	0,98	0,00	1,95	1,95	0,00	3,90	3,89	0,26
44	1	1,44	1,44	0,96	0,96	0,00	1,91	1,9	0,52	3,83	3,83	0,00
45	1	1,45	1,45	0,94	0,94	0,00	1,88	1,88	0,00	3,75	3,76	0,27
46	1	1,46	1,46	0,92	0,92	0,00	1,84	1,84	0,00	3,69	3,69	0,00

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2			
				Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	
47	1	1,47	1,47	0,90	0,91	1,11	1,81	1,81	0,00	3,62	3,62	0,00	
48	1	1,48	1,48	0,89	0,89	0,00	1,78	1,78	0,00	3,56	3,55	0,28	
49	1	1,49	1,49	0,87	0,88	1,15	1,75	1,75	0,00	3,50	3,5	0,00	
50	1	1,5	1,5	0,86	0,86	0,00	1,72	1,73	0,58	3,44	3,43	0,29	
Rata-rata error						0,52				0,67			0,66

Tabel 7 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus setting (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error dibawah 1 persen. Rata-rata error untuk *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 adalah 0,52 persen, *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,1 sebesar 0,67 persen, dan *Time Multiplier Setting* 0,02 sebesar 0,66 persen. Nilai ini

menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus setting (Is) 1 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dengan rata-rata error dibawah 1 persen. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus setting (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1 dan 0,2 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus setting (Is) 1 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2

Gambar 13 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus setting (Is) dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I/Is dalam satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 6 kurva pada grafik ini, yaitu kurva pengujian dan perhitungan pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2. Warna kurva pengujian pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2 berwarna biru, merah, dan hijau. Sementara itu kurva perhitungan pada TMS 0,05, 0,1, dan 0,2 berwarna ungu, biru muda, dan jingga. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi. Sebaliknya, semakin besar nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) maka waktu *trip* yang dihasilkan semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa

alat yang dirancang bangun dengan arus setting (Is) 1 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time*.

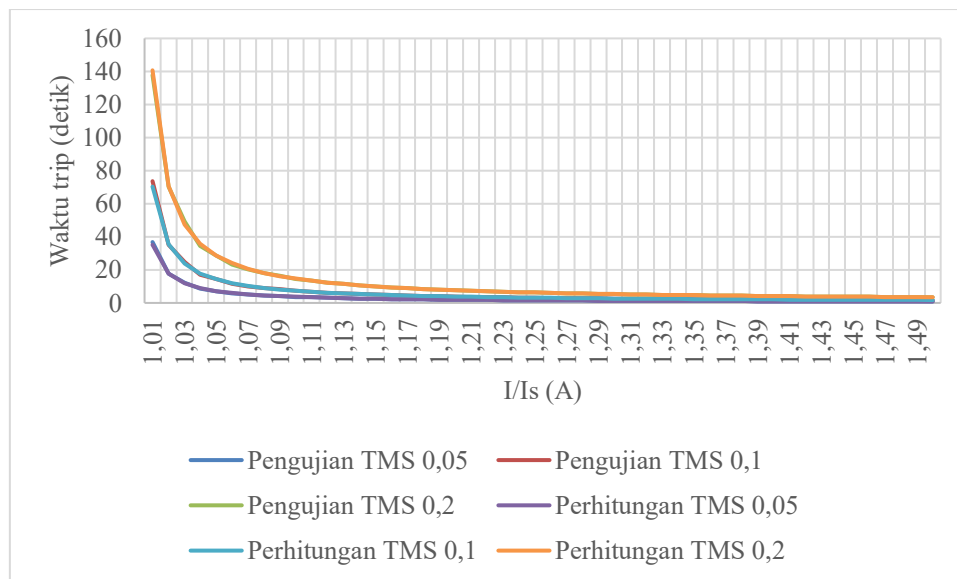
Pengujian tahap ketiga dilakukan sebanyak 50 kali pada arus setting (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dan keakuratan alat tersebut pada arus setting (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus setting (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 dapat dilihat pada Tabel 8.

TABEL 8
PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *OVERCURRENT RELAY TYPE STANDARD INVERSE TIME* PADA ARUS SETTING (IS) 1,5 A DENGAN VARIASI *TIME MULTIPLIER SETTING* (TMS) 0,05, 0,1, DAN 0,2

No.	Is (A)	I (A)	I/Is (A)	TMS 0,05			TMS 0,1			TMS 0,2		
				Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)	Waktu <i>trip</i> perhitungan (detik)	Waktu <i>trip</i> pengujian (detik)	Error (%)
1	1,5	1,515	1,01	35,17	36,82	4,69	70,34	73,63	4,68	140,68	137,76	2,08
2	1,5	1,53	1,02	17,67	17,54	0,74	35,34	35,09	0,71	70,68	70,18	0,71
3	1,5	1,545	1,03	11,84	12,34	4,22	23,67	24,68	4,27	47,35	49,36	4,24
4	1,5	1,56	1,04	8,92	8,58	3,81	17,84	17,16	3,81	35,68	34,32	3,81
5	1,5	1,575	1,05	7,17	7,18	0,14	14,34	14,36	0,14	28,68	28,72	0,14
6	1,5	1,59	1,06	6,00	5,89	1,83	12,01	11,54	3,91	24,01	23,08	3,87
7	1,5	1,605	1,07	5,17	5,05	2,32	10,34	10,1	2,32	20,68	20,2	2,32
8	1,5	1,62	1,08	4,54	4,42	2,64	9,09	8,84	2,75	18,18	17,95	1,27
9	1,5	1,635	1,09	4,06	4,1	0,99	8,12	8,2	0,99	16,23	16,4	1,05
10	1,5	1,65	1,1	3,67	3,59	2,18	7,34	7,23	1,50	14,67	14,37	2,04
11	1,5	1,665	1,11	3,35	3,36	0,30	6,70	6,73	0,45	13,40	13,46	0,45
12	1,5	1,68	1,12	3,08	3,08	0,00	6,17	6,23	0,97	12,34	12,27	0,57
13	1,5	1,695	1,13	2,86	2,83	1,05	5,72	5,66	1,05	11,44	11,49	0,44
14	1,5	1,71	1,14	2,67	2,66	0,37	5,34	5,34	0,00	10,67	10,53	1,31
15	1,5	1,725	1,15	2,50	2,49	0,40	5,00	4,96	0,80	10,00	9,97	0,30
16	1,5	1,74	1,16	2,35	2,35	0,00	4,71	4,68	0,64	9,42	9,43	0,11
17	1,5	1,755	1,17	2,23	2,24	0,45	4,45	4,41	0,90	8,90	8,85	0,56
18	1,5	1,77	1,18	2,11	2,09	0,95	4,22	4,19	0,71	8,44	8,34	1,18
19	1,5	1,785	1,19	2,01	2,01	0,00	4,02	4,01	0,25	8,03	8,05	0,25
20	1,5	1,8	1,2	1,92	1,92	0,00	3,83	3,84	0,26	7,66	7,63	0,39
21	1,5	1,815	1,21	1,83	1,82	0,55	3,67	3,64	0,82	7,33	7,28	0,68
22	1,5	1,83	1,22	1,76	1,75	0,57	3,51	3,5	0,28	7,03	7,01	0,28
23	1,5	1,845	1,23	1,69	1,68	0,59	3,37	3,37	0,00	6,75	6,73	0,30
24	1,5	1,86	1,24	1,62	1,63	0,62	3,25	3,24	0,31	6,49	6,45	0,62
25	1,5	1,875	1,25	1,56	1,56	0,00	3,13	3,12	0,32	6,26	6,25	0,16
26	1,5	1,89	1,26	1,51	1,51	0,00	3,02	3	0,66	6,04	6,02	0,33
27	1,5	1,905	1,27	1,46	1,45	0,68	2,92	2,92	0,00	5,84	5,85	0,17
28	1,5	1,92	1,28	1,41	1,42	0,71	2,83	2,83	0,00	5,66	5,64	0,35
29	1,5	1,935	1,29	1,37	1,37	0,00	2,74	2,73	0,36	5,48	5,47	0,18
30	1,5	1,95	1,3	1,33	1,32	0,75	2,66	2,66	0,00	5,32	5,32	0,00
31	1,5	1,965	1,31	1,29	1,29	0,00	2,59	2,57	0,77	5,17	5,15	0,39
32	1,5	1,98	1,32	1,26	1,25	0,79	2,51	2,5	0,40	5,03	5,02	0,20
33	1,5	1,995	1,33	1,22	1,22	0,00	2,45	2,44	0,41	4,90	4,88	0,41
34	1,5	2,01	1,34	1,19	1,19	0,00	2,38	2,38	0,00	4,77	4,75	0,42
35	1,5	2,025	1,35	1,16	1,16	0,00	2,33	2,32	0,43	4,65	4,64	0,22
36	1,5	2,04	1,36	1,13	1,13	0,00	2,27	2,27	0,00	4,54	4,52	0,44
37	1,5	2,055	1,37	1,11	1,11	0,00	2,22	2,21	0,45	4,43	4,43	0,00
38	1,5	2,07	1,38	1,08	1,08	0,00	2,17	2,15	0,92	4,33	4,33	0,00
39	1,5	2,085	1,39	1,06	1,05	0,94	2,12	2,09	1,42	4,24	4,22	0,47
40	1,5	2,1	1,4	1,04	1,03	0,96	2,07	2,06	0,48	4,15	4,12	0,72
41	1,5	2,115	1,41	1,02	1,01	0,98	2,03	2,02	0,49	4,06	4,05	0,25
42	1,5	2,13	1,42	0,99	0,99	0,00	1,99	1,99	0,00	3,98	3,97	0,25
43	1,5	2,145	1,43	0,98	0,97	1,02	1,95	1,94	0,51	3,90	3,88	0,51
44	1,5	2,16	1,44	0,96	0,95	1,04	1,91	1,89	1,05	3,83	3,8	0,78
45	1,5	2,175	1,45	0,94	0,94	0,00	1,88	1,87	0,53	3,75	3,75	0,00
46	1,5	2,19	1,46	0,92	0,92	0,00	1,84	1,84	0,00	3,69	3,68	0,27
47	1,5	2,205	1,47	0,90	0,91	1,11	1,81	1,82	0,55	3,62	3,63	0,28
48	1,5	2,22	1,48	0,89	0,89	0,00	1,78	1,77	0,56	3,56	3,54	0,56
49	1,5	2,235	1,49	0,87	0,87	0,00	1,75	1,74	0,57	3,50	3,49	0,29
50	1,5	2,25	1,5	0,86	0,86	0,00	1,72	1,7	1,16	3,44	3,42	0,58
Rata-rata error				0,77			0,89			0,74		

Tabel 8 menunjukkan perbandingan antara hasil pengujian dan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata *error* dibawah 1 persen. Rata-rata *error* untuk *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05 adalah 0,77 persen, *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,1 sebesar 0,89 persen, dan *Time Multiplier Setting* 0,02 sebesar 0,74 persen. Nilai ini

menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 1,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time* dengan rata-rata *error* dibawah 1 persen. Grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1 dan 0,2 dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik hasil perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus setting (I_s) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2

Gambar 14 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian dengan perhitungan *overcurrent relay type standard inverse* pada arus setting (I_s) 1,5 A dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I/I_s dalam satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 6 kurva pada grafik ini, yaitu kurva pengujian dan perhitungan pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2. Warna kurva pengujian pada TMS 0,05, 0,1 dan 0,2 berwarna biru, merah, dan hijau. Sementara itu kurva perhitungan pada TMS 0,05, 0,1, dan 0,2 berwarna ungu, biru muda, dan jingga. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir maka semakin cepat waktu *trip* yang terjadi. Sebaliknya, semakin besar nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) maka waktu *trip* yang dihasilkan semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus setting (I_s) 1,5 A dan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,05, 0,1, dan 0,2 telah sesuai dengan karakteristik *standard inverse time*.

Berdasarkan hasil pengujian *overcurrent relay type standard inverse time* dari tahap pertama hingga ketiga, dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang bekerja sesuai karakteristik kurva *standard inverse* secara konsisten dan akurat. Hal ini dibuktikan melalui pengujian pada variasi arus setting (I_s) dan *Time Multiplier Setting* (TMS) yang menunjukkan error sangat rendah. Pada arus setting 0,5 A dengan variasi TMS 0,05, 0,1, dan 0,2, rata-rata error seluruhnya di bawah 2 persen. Sedangkan pada arus Setting 1 A

dan 1,5 A dengan variasi TMS sama, rata-rata error kurang dari 1 persen. Dengan demikian, alat yang dirancang berhasil memenuhi kriteria performa sesuai karakteristik *standard inverse time* serta menunjukkan stabilitas dan keandalan pada berbagai kondisi pengujian.

D. Pengujian Akurasi Overcurrent Relay Type Constant Time

Pengujian akurasi *overcurrent relay type constant time* dilakukan untuk mengetahui bahwa alat yang dirancang sudah sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut. Pengujian ini dilakukan pada tegangan AC 220 V. Pengujian dilakukan dalam empat tahap yaitu, tahap pertama pengujian dengan variasi arus setting (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu setting tetap 10 detik. Selanjutnya, tahap kedua hingga keempat dilakukan pengujian dengan masing masing pada arus setting (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan variasi waktu setting 5, 10, dan 15 detik.

Pengujian tahap pertama dilakukan sebanyak lima puluh kali pada variasi arus setting (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu setting 10 detik. Tujuan dari Pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada variasi arus setting (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu setting tetap 10 detik. Hasil pengujian *overcurrent relay overcurrent relay type constant time* pada arus setting (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu setting tetap 10 detik dapat dilihat pada Tabel 9.

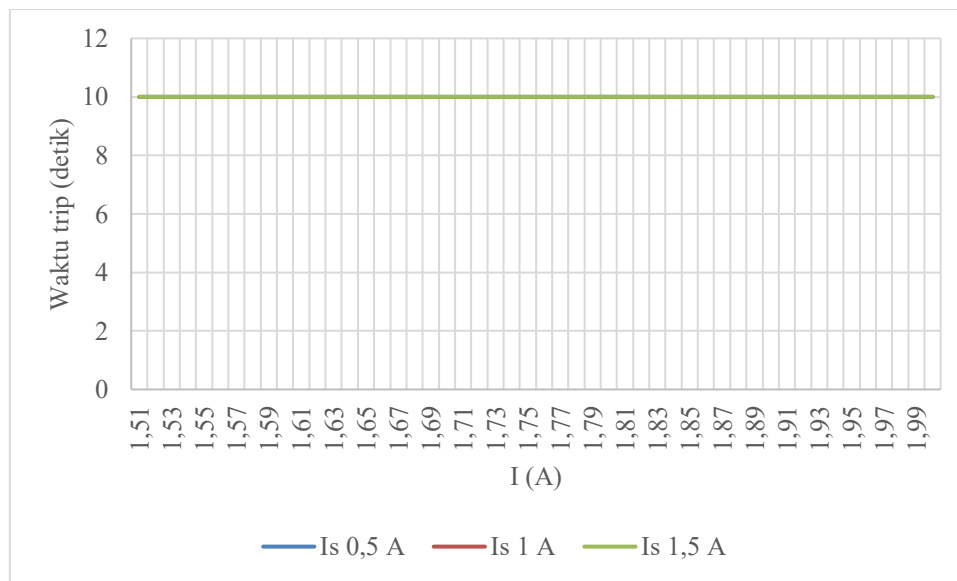
TABEL 9
HASIL PENGUJIAN *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA VARIASI ARUS SETTING (I_s) 0,5 A, 1 A, DAN 1,5 A DENGAN WAKTU SETTING TETAP 10 DETIK

No.	I (A)	Is 0,5 A			Is 1 A			Is 1,5		
		Waktu setting (detik)	Waktu <i>trip</i> (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu <i>trip</i> (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu <i>trip</i> (detik)	Error (%)
1	1,51	10	10	0	10	10	0	10	10	0
2	1,52	10	10	0	10	10	0	10	10	0
3	1,53	10	10	0	10	10	0	10	10	0

No.	I (A)	Is 0,5 A			Is 1 A			Is 1,5		
		Waktu setting (detik)	Waktu <i>trip</i> (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu <i>trip</i> (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu <i>trip</i> (detik)	Error (%)
4	1,54	10	10	0	10	10	0	10	10	0
5	1,55	10	10	0	10	10	0	10	10	0
6	1,56	10	10	0	10	10	0	10	10	0
7	1,57	10	10	0	10	10	0	10	10	0
8	1,58	10	10	0	10	10	0	10	10	0
9	1,59	10	10	0	10	10	0	10	10	0
10	1,6	10	10	0	10	10	0	10	10	0
11	1,61	10	10	0	10	10	0	10	10	0
12	1,62	10	10	0	10	10	0	10	10	0
13	1,63	10	10	0	10	10	0	10	10	0
14	1,64	10	10	0	10	10	0	10	10	0
15	1,65	10	10	0	10	10	0	10	10	0
16	1,66	10	10	0	10	10	0	10	10	0
17	1,67	10	10	0	10	10	0	10	10	0
18	1,68	10	10	0	10	10	0	10	10	0
19	1,69	10	10	0	10	10	0	10	10	0
20	1,7	10	10	0	10	10	0	10	10	0
21	1,71	10	10	0	10	10	0	10	10	0
22	1,72	10	10	0	10	10	0	10	10	0
23	1,73	10	10	0	10	10	0	10	10	0
24	1,74	10	10	0	10	10	0	10	10	0
25	1,75	10	10	0	10	10	0	10	10	0
26	1,76	10	10	0	10	10	0	10	10	0
27	1,77	10	10	0	10	10	0	10	10	0
28	1,78	10	10	0	10	10	0	10	10	0
29	1,79	10	10	0	10	10	0	10	10	0
30	1,8	10	10	0	10	10	0	10	10	0
31	1,81	10	10	0	10	10	0	10	10	0
32	1,82	10	10	0	10	10	0	10	10	0
33	1,83	10	10	0	10	10	0	10	10	0
34	1,84	10	10	0	10	10	0	10	10	0
35	1,85	10	10	0	10	10	0	10	10	0
36	1,86	10	10	0	10	10	0	10	10	0
37	1,87	10	10	0	10	10	0	10	10	0
38	1,88	10	10	0	10	10	0	10	10	0
39	1,89	10	10	0	10	10	0	10	10	0
40	1,9	10	10	0	10	10	0	10	10	0
41	1,91	10	10	0	10	10	0	10	10	0
42	1,92	10	10	0	10	10	0	10	10	0
43	1,93	10	10	0	10	10	0	10	10	0
44	1,94	10	10	0	10	10	0	10	10	0
45	1,95	10	10	0	10	10	0	10	10	0
46	1,96	10	10	0	10	10	0	10	10	0
47	1,97	10	10	0	10	10	0	10	10	0
48	1,98	10	10	0	10	10	0	10	10	0
49	1,99	10	10	0	10	10	0	10	10	0
50	2	10	10	0	10	10	0	10	10	0
Rata-rata error (%)				0			0			0

Tabel 9 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error semua variasi arus *setting* (Is) sebesar 0 persen. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1

A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error semua variasi sebesar 0 persen. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (Is) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 dengan waktu *setting* tetap 10 detik dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan waktu *setting* tetap 10 detik

Gambar 15 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada variasi arus *setting* (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan Ampere dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva I_s 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dengan warna kurva I_s 0,5 A biru, I_s 1 A merah dan I_s 1,5 A hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa berupa pun arus yang mengalir maka waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan variasi

arus *setting* (I_s) 0,5 A, 1 A, dan 1,5 A dan waktu *setting* tetap 10 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Pengujian tahap kedua dilakukan sebanyak lima puluh kali pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Tabel 10.

TABEL 10

HASIL PENGUJIAN *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA ARUS *SETTING* (I_s) 0,5 A DENGAN VARIASI WAKTU *SETTING* 5, 10, DAN 15 DETIK

No.	I_s (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)
1	0,5	1,51	5	5	0	10	10	0	15	15	0
2	0,5	1,52	5	5	0	10	10	0	15	15	0
3	0,5	1,53	5	5	0	10	10	0	15	15	0
4	0,5	1,54	5	5	0	10	10	0	15	15	0
5	0,5	1,55	5	5	0	10	10	0	15	15	0
6	0,5	1,56	5	5	0	10	10	0	15	15	0
7	0,5	1,57	5	5	0	10	10	0	15	15	0
8	0,5	1,58	5	5	0	10	10	0	15	15	0
9	0,5	1,59	5	5	0	10	10	0	15	15	0
10	0,5	1,6	5	5	0	10	10	0	15	15	0
11	0,5	1,61	5	5	0	10	10	0	15	15	0
12	0,5	1,62	5	5	0	10	10	0	15	15	0
13	0,5	1,63	5	5	0	10	10	0	15	15	0
14	0,5	1,64	5	5	0	10	10	0	15	15	0
15	0,5	1,65	5	5	0	10	10	0	15	15	0
16	0,5	1,66	5	5	0	10	10	0	15	15	0
17	0,5	1,67	5	5	0	10	10	0	15	15	0
18	0,5	1,68	5	5	0	10	10	0	15	15	0
19	0,5	1,69	5	5	0	10	10	0	15	15	0
20	0,5	1,7	5	5	0	10	10	0	15	15	0
21	0,5	1,71	5	5	0	10	10	0	15	15	0
22	0,5	1,72	5	5	0	10	10	0	15	15	0
23	0,5	1,73	5	5	0	10	10	0	15	15	0
24	0,5	1,74	5	5	0	10	10	0	15	15	0
25	0,5	1,75	5	5	0	10	10	0	15	15	0
26	0,5	1,76	5	5	0	10	10	0	15	15	0
27	0,5	1,77	5	5	0	10	10	0	15	15	0

Submitted: 10/06/2025; Revised: 16/06/2025;

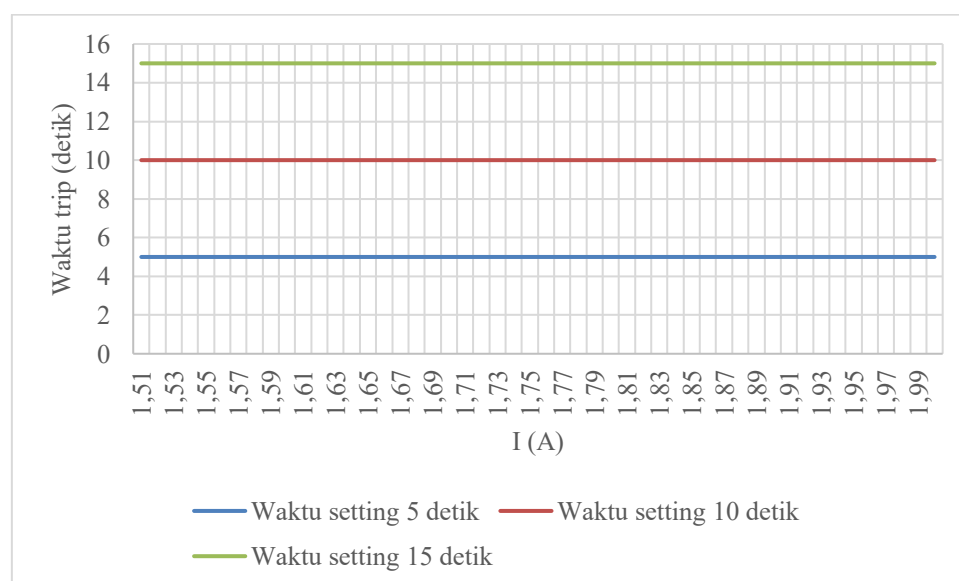
Accepted: 29/06/2025; Online first: 29/06/2025

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.66>

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)
28	0,5	1,78	5	5	0	10	10	0	15	15	0
29	0,5	1,79	5	5	0	10	10	0	15	15	0
30	0,5	1,8	5	5	0	10	10	0	15	15	0
31	0,5	1,81	5	5	0	10	10	0	15	15	0
32	0,5	1,82	5	5	0	10	10	0	15	15	0
33	0,5	1,83	5	5	0	10	10	0	15	15	0
34	0,5	1,84	5	5	0	10	10	0	15	15	0
35	0,5	1,85	5	5	0	10	10	0	15	15	0
36	0,5	1,86	5	5	0	10	10	0	15	15	0
37	0,5	1,87	5	5	0	10	10	0	15	15	0
38	0,5	1,88	5	5	0	10	10	0	15	15	0
39	0,5	1,89	5	5	0	10	10	0	15	15	0
40	0,5	1,9	5	5	0	10	10	0	15	15	0
41	0,5	1,91	5	5	0	10	10	0	15	15	0
42	0,5	1,92	5	5	0	10	10	0	15	15	0
43	0,5	1,93	5	5	0	10	10	0	15	15	0
44	0,5	1,94	5	5	0	10	10	0	15	15	0
45	0,5	1,95	5	5	0	10	10	0	15	15	0
46	0,5	1,96	5	5	0	10	10	0	15	15	0
47	0,5	1,97	5	5	0	10	10	0	15	15	0
48	0,5	1,98	5	5	0	10	10	0	15	15	0
49	0,5	1,99	5	5	0	10	10	0	15	15	0
50	0,5	2	5	5	0	10	10	0	15	15	0
Rata-rata error (%)					0						0

Tabel 10 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error pada semua variasi waktu *setting* sebesar 0 persen. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dan variasi waktu

setting 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error semua variasi waktu *setting* sebesar 0 persen. Gambar Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik

Gambar 16 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan A dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dengan warna kurva waktu *setting* 5 detik biru, 10 detik merah, dan 15 detik hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa

berapapun arus yang mengalir waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (I_s) 0,5 A dan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Pengujian tahap ketiga adalah pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (I_s) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Pengujian ini dilakukan untuk

menguji alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil

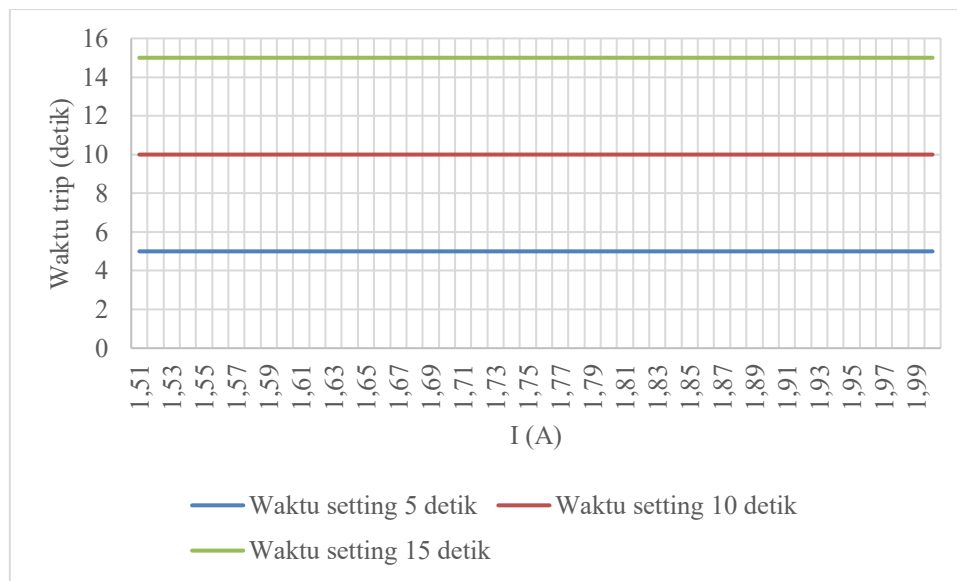
pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dapat dilihat pada Tabel 11.

TABEL11
HASIL PENGUJIAN AKURASI *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA ARUS *SETTING* (IS) 1 A DENGAN WAKTU *SETTING* 5, 10, DAN 15 DETIK

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	
1	1	1,51	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
2	1	1,52	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
3	1	1,53	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
4	1	1,54	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
5	1	1,55	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
6	1	1,56	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
7	1	1,57	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
8	1	1,58	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
9	1	1,59	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
10	1	1,6	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
11	1	1,61	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
12	1	1,62	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
13	1	1,63	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
14	1	1,64	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
15	1	1,65	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
16	1	1,66	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
17	1	1,67	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
18	1	1,68	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
19	1	1,69	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
20	1	1,7	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
21	1	1,71	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
22	1	1,72	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
23	1	1,73	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
24	1	1,74	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
25	1	1,75	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
26	1	1,76	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
27	1	1,77	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
28	1	1,78	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
29	1	1,79	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
30	1	1,8	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
31	1	1,81	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
32	1	1,82	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
33	1	1,83	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
34	1	1,84	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
35	1	1,85	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
36	1	1,86	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
37	1	1,87	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
38	1	1,88	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
39	1	1,89	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
40	1	1,9	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
41	1	1,91	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
42	1	1,92	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
43	1	1,93	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
44	1	1,94	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
45	1	1,95	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
46	1	1,96	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
47	1	1,97	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
48	1	1,98	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
49	1	1,99	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
50	1	2	5	5	0	10	10	0	15	15	0	
Rata-rata error (%)					0				0			0

Tabel 11 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya adalah 0 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi

waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya 0 persen. Gambar Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus setting (I_s) 1 A dengan variasi waktu setting 5, 10, dan 15 detik

Gambar 17 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus Setting (I_s) 0,5 A dengan variasi waktu setting 5, 10, dan 15 detik. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan A dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva waktu setting 5, 10, dan 15 detik dengan warna kurva waktu setting 5 detik biru, 10 detik merah, dan 15 detik hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa berapapun arus yang mengalir waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu settingnya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus setting (I_s) 1 A dan variasi waktu

setting 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Pengujian tahap keempat adalah pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus setting (I_s) 1 A dengan variasi waktu setting 5, 10, dan 15 detik. Pengujian ini dilakukan untuk menguji apakah alat yang dirancang bangun sesuai dengan karakteristik *constant time* dan keakuratan alat tersebut pada arus setting (I_s) 1,5 A dengan variasi waktu setting 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus setting (I_s) 1 A dengan variasi waktu setting 5, 10, dan 15 detik dapat dilihat pada Tabel 12.

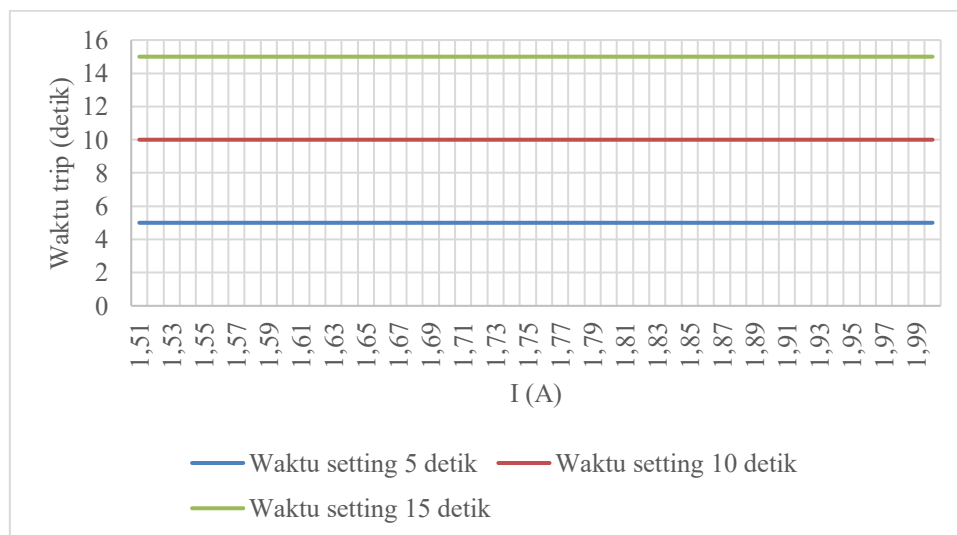
TABEL12
HASIL PENGUJIAN AKURASI *OVERCURRENT RELAY TYPE CONSTANT TIME* PADA ARUS SETTING (I_s) 1,5 A DENGAN WAKTU SETTING 5, 10, DAN 15 DETIK

No.	I_s (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)
1	1,5	1,51	5	5	0	10	10	0	15	15	0
2	1,5	1,52	5	5	0	10	10	0	15	15	0
3	1,5	1,53	5	5	0	10	10	0	15	15	0
4	1,5	1,54	5	5	0	10	10	0	15	15	0
5	1,5	1,55	5	5	0	10	10	0	15	15	0
6	1,5	1,56	5	5	0	10	10	0	15	15	0
7	1,5	1,57	5	5	0	10	10	0	15	15	0
8	1,5	1,58	5	5	0	10	10	0	15	15	0
9	1,5	1,59	5	5	0	10	10	0	15	15	0
10	1,5	1,6	5	5	0	10	10	0	15	15	0
11	1,5	1,61	5	5	0	10	10	0	15	15	0
12	1,5	1,62	5	5	0	10	10	0	15	15	0
13	1,5	1,63	5	5	0	10	10	0	15	15	0
14	1,5	1,64	5	5	0	10	10	0	15	15	0
15	1,5	1,65	5	5	0	10	10	0	15	15	0
16	1,5	1,66	5	5	0	10	10	0	15	15	0
17	1,5	1,67	5	5	0	10	10	0	15	15	0
18	1,5	1,68	5	5	0	10	10	0	15	15	0
19	1,5	1,69	5	5	0	10	10	0	15	15	0
20	1,5	1,7	5	5	0	10	10	0	15	15	0
21	1,5	1,71	5	5	0	10	10	0	15	15	0
22	1,5	1,72	5	5	0	10	10	0	15	15	0
23	1,5	1,73	5	5	0	10	10	0	15	15	0
24	1,5	1,74	5	5	0	10	10	0	15	15	0
25	1,5	1,75	5	5	0	10	10	0	15	15	0

No.	Is (A)	I (A)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)	Waktu setting (detik)	Waktu trip (detik)	Error (%)
26	1,5	1,76	5	5	0	10	10	0	15	15	0
27	1,5	1,77	5	5	0	10	10	0	15	15	0
28	1,5	1,78	5	5	0	10	10	0	15	15	0
29	1,5	1,79	5	5	0	10	10	0	15	15	0
30	1,5	1,8	5	5	0	10	10	0	15	15	0
31	1,5	1,81	5	5	0	10	10	0	15	15	0
32	1,5	1,82	5	5	0	10	10	0	15	15	0
33	1,5	1,83	5	5	0	10	10	0	15	15	0
34	1,5	1,84	5	5	0	10	10	0	15	15	0
35	1,5	1,85	5	5	0	10	10	0	15	15	0
36	1,5	1,86	5	5	0	10	10	0	15	15	0
37	1,5	1,87	5	5	0	10	10	0	15	15	0
38	1,5	1,88	5	5	0	10	10	0	15	15	0
39	1,5	1,89	5	5	0	10	10	0	15	15	0
40	1,5	1,9	5	5	0	10	10	0	15	15	0
41	1,5	1,91	5	5	0	10	10	0	15	15	0
42	1,5	1,92	5	5	0	10	10	0	15	15	0
43	1,5	1,93	5	5	0	10	10	0	15	15	0
44	1,5	1,94	5	5	0	10	10	0	15	15	0
45	1,5	1,95	5	5	0	10	10	0	15	15	0
46	1,5	1,96	5	5	0	10	10	0	15	15	0
47	1,5	1,97	5	5	0	10	10	0	15	15	0
48	1,5	1,98	5	5	0	10	10	0	15	15	0
49	1,5	1,99	5	5	0	10	10	0	15	15	0
50	1,5	2	5	5	0	10	10	0	15	15	0
Rata-rata error (%)					0						0

Tabel 12 menunjukkan hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 dengan waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya adalah 0 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun pada arus *setting* (Is) 1 A dengan variasi

waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time* dengan rata-rata error pada semua variasi waktu *setting*nya 0 persen. Gambar Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik bisa dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 1,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik

Gambar 18 menunjukkan grafik hasil pengujian *overcurrent relay type constant time* pada arus *setting* (Is) 0,5 A dengan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik. Grafik tersebut memiliki 2 sumbu yaitu, sumbu x I dengan satuan A dan sumbu y yang menunjukkan waktu *trip* dalam satuan detik. Terdapat 3 kurva yaitu, kurva waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik dengan warna kurva waktu *setting* 5 detik biru, 10 detik merah, dan 15 detik hijau. Kurva-kurva tersebut menunjukkan bahwa

berapapun arus yang mengalir waktu *trip* yang terjadi sesuai dengan waktu *setting*nya. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang bangun dengan arus *setting* (Is) 0,5 A dan variasi waktu *setting* 5, 10, dan 15 detik telah sesuai dengan karakteristik *constant time*.

Berdasarkan pengujian *overcurrent relay type constant time* pada tahap pertama hingga tahap keempat, dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang dan dibangun telah

berfungsi sesuai dengan karakteristik *constant time* yang diharapkan dengan baik. Hasil pengujian secara menyeluruh menunjukkan bahwa *relay* memberikan respon waktu tetap meskipun nilai arus *overcurrent* berbeda, yang merupakan ciri utama dari tipe *constant time* tersebut. Selain itu, pengukuran dan analisis data menunjukkan rata-rata error sebesar 0 persen, yang menandakan akurasi tinggi dan konsistensi dalam performa alat selama pengujian berlangsung.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rancang bangun *overcurrent relay* berbasis Arduino yang dirancang mampu bekerja dengan dua *mode* proteksi, yaitu *Standard Inverse* dan *Constant Time*. Pengujian akurasi menunjukkan bahwa sistem memiliki rata-rata *error* waktu *trip* di bawah 2% pada pengujian *standard inverse* dan 0% pada pengujian *constant time*, yang berarti sangat akurat dan sesuai dengan perhitungan *teoretis*. Selain itu, penggunaan modul PZEM-004T terbukti memberikan pembacaan arus yang akurat dengan rata-rata *error* hanya 0,40% dibanding alat ukur Ampere meter.

REFERENSI

- [1] B. A. Wijaya, A. Ihsandi, O. Nainggolan, dan P. Murdiyat, "Rancang bangun rele arus lebih tipe inverse time dengan time multiplier setting 0,05 detik berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 1, hlm. 27–33, Jun 2024, doi: 10.46964/poligrid.v5i1.38.
- [2] Arbain, R. A. Susilo, A. S. Akbar, M. Wahyu, dan M. Risky, "Arduino-based overcurrent relay design with very inverse type," *International Journal of Current Science Research and Review*, vol. 07, no. 11, hlm. 8547–8558, Nov 2024, doi: 10.47191/ijcsrr/V7-i11-41.
- [3] Rusdiansyah, R. A. Susilo, A. S. Kadang, S. M. Setiaji, dan A. Ihsandi, "Design of constant time overcurrent relay single phase based on arduino uno," *International Journal of Current Science Research and Review*, vol. 07, no. 11, hlm. 8559–8565, Nov 2024, doi: 10.47191/ijcsrr/V7-i11-42.
- [4] E. Fauziyah dan I. Irwanto, "Analisis sistem proteksi generator menggunakan over current relay di PT. Indonesia Power," *Jurnal Ilmiah Information Technology d'Computare*, vol. 12 no. 2, hlm. 1–9, Jul 2022.
- [5] T. Aryanto dan S. Sunardiyo, "Frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi di gardu induk 150 kv jepara," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, hlm. 107–115, Jul 2013.
- [6] A. Azis, D. Irine, dan K. Febrianti, "Analisis sistem proteksi arus lebih pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang," *Jurnal Ampere*, vol. 4, no. 2, hlm. 332–344, Des 2019.
- [7] M. Pujiantara *dkk.*, "Perhitungan TDS overcurrent relay menggunakan adaptive modified firefly algorithm," *Intake*, vol. 10, no. 2, hlm. 67–72, Okt 2019.
- [8] F. Sirait, A. Fernanda, I. S. D. Sebayang, dan A. W. Dani, "Desain yang efektif pada sistem koordinasi rele arus lebih menggunakan logika fuzzy," *Prosiding Seminar Teknoka*, vol. 7, pp. 1–7, Des 2022.
- [9] Susanna dan M. Murdianto, "Pengujian alat bantu ajar praktikum sensor dan aktuator berbasis internet of things (IoT) ESP8266 menggunakan aplikasi Blynk dan Thingspeak," *PoliGrid*, vol. 5, no. 2, hlm. 42–49, Nov 2024, doi: 10.46964/poligrid.v5i2.51.
- [10] A. Yuandika dan B. N. Jati, "Sistem monitoring level air, kelembaban, dan suhu di danau Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, hlm. 1–10, Okt 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.12.
- [11] M. I. Ibrahim, R. A. Wijaya, R. A. Susilo, dan P. Murdiyat, "Rancang bangun rele diferensial berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 1, hlm. 13–19, Jun 2024, doi: 10.46964/poligrid.v5i1.41.
- [12] A. H. Hardiansyah, R. S. Hartati, dan Y. Divayana, "Proteksi konsleting listrik dengan memutus jarak jauh arus 3 phasa beban

besar dengan kombinasi solid state relay (ssr) dan IoT Nodemcu 8266 menggunakan aplikasi blynk di sub panel Gedung Telkomsel Smart Office Renon Denpasar," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 1, hlm. 71, Jun 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p09.