

Rancang Bangun Rele Diferensial Berbasis Arduino

Muhammad Ismail Ibrahim¹, Rahmad Adi Wijaya², Rizky Apriyanto Susilo³, Prihadi Murdiyat⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo, Kampus Gunung Panjang 75121

muhammadismail216421021s1a@gmail.com

Abstrak- Rele diferensial adalah sebuah alat proteksi yang bekerja berdasarkan hukum Kirchoff arus. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan jumlah vektor arus yang masuk dan keluar dari rele. Jika jumlah antara vektor-vektor arus tersebut tidak sama dengan nol, maka rele akan bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang purwarupa proteksi kelistrikan menggunakan rele diferensial arus dengan metode arus bias yang berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Rele ini dirancang untuk bekerja pada sistem satu fase. Nilai arus yang terdeteksi oleh sensor PZEM-004T diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno untuk menentukan apakah terjadi gangguan atau masih dalam keadaan normal. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa Arduino Uno akan mengontrol kerja rele. Karakteristik tripping ANSI 87T digunakan sebagai acuan dalam kerja rele ini, dengan slope yang mengacu pada SIPROTEC 7UT6. Slope ini diatur guna mengantisipasi tripping pada diferensial arus yang masih dapat dimaklumi. Hasil dari penelitian ini adalah rele dapat memutuskan saluran rangkaian, bila arus diferensial dan arus *restrain* yang terdeteksi oleh Arduino Uno diluar dari persentase slope yang telah diatur. Selain itu, terdapat perbedaan waktu kerja rele yang didapatkan dari simulasi software ETAP dengan waktu kerja rele sebesar 19%.

Kata kunci: Rele diferensial, Arduino Uno, SIPROTEC 7UT6.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit tenaga listrik berperan untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan kepada konsumen yang artinya dapat menyediakan tenaga listrik secara kontinu dengan kualitas yang baik, sehingga untuk meningkatkan keandalan dan kontinuitas tersebut pelayanan pengoperasian sistem pembangkit memerlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi untuk mencegah terjadinya gangguan yang mengganggu sistem [1].

Keandalan sistem tenaga listrik untuk dapat menyalurkan listrik kepada konsumen mempunyai peranan yang sangat penting, keandalan tenaga listrik dapat terlihat ketika terjadi gangguan yang dapat menyebabkan terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen, oleh karena itu sistem proteksi harus memenuhi persyaratan diantaranya: sensitif, dapat diandalkan cepat dan selektif [2].

Untuk memberikan keandalan dan kualitas yang baik dalam pendistribusian tenaga listrik, suatu sistem tenaga listrik yang baik harus mempunyai sistem pengamanan yang memadai untuk melindungi dari gangguan-gangguan internal dan eksternal. Terutama untuk peralatan vital seperti transformator daya, agar tidak sampai menyebabkan kerusakan dan kerugian [3].

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ketegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan) [4]. Transformator daya harus dilengkapi dengan peralatan pengaman untuk mencegah setiap gangguan yang terjadi. Rele proteksi adalah susunan perangkat yang dimaksudkan untuk memungkinkan deteksi atau pengukuran gangguan pada perangkat atau komponen sistem tenaga, serta deteksi ketidakseimbangan dan anomaly [5]. Rele proteksi yang digunakan untuk mengamankan transformator terhadap gangguan adalah rele diferensial.

Rele diferensial adalah rele yang beroperasi ketika terdapat selisih antara dua atau lebih besaran listrik yang sejenis melebihi nilai yang telah ditentukan [6]. Rele diferensial memerlukan setting agar dapat melakukan kerja dengan kriteria sensitif, handal, selektif, dan cepat.

Rele proteksi diferensial yang tersedia di pasaran cenderung mahal jika digunakan dalam proyek berskala kecil. Oleh karena itu, untuk mengembangkan sebuah sistem rele diferensial yang lebih terjangkau dan fleksibel dalam penggunaan skala kecil. Penggunaan *platform* mikrokontroler yang populer dan terbuka seperti Arduino Uno dapat menjadi solusi yang menarik, karena memungkinkan pengembangan sistem proteksi yang lebih murah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem proteksi rele diferensial berbasis arduino dengan karakteristik *tripping* SIPROTEC 7UT6 yang digunakan untuk mengamankan transformator satu fase.

II. LANDASAN TEORI

A. Penelitian atau Proyek yang Sudah Ada Sebelumnya

Terdapat beberapa referensi yang digunakan dalam perancangan rele diferensial berbasis arduino uno ini.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Nur Sayyid Umar, Syukriyadin, dan Rakhmad Syafutra Lubis dengan judul “Rancang bangun purwarupa relai diferensial arus dengan metode arus bias menggunakan arduino uno” pada penelitian tersebut rele diferensial dirancang menggunakan sensor arus ACS712 30 A. Hasilnya alat dapat bekerja dengan baik dalam membedakan antara jenis gangguan internal dan jenis gangguan eksternal. Namun, sensor arus ACS712 30 A kurang baik untuk pembacaan arus dibawah 1 ampere [7].

Dari penelitian yang dilakukan oleh T. Pardha Saradhi, Ch. Bala Sai Vara Prasad, N. Raja, P. Nazeer, J. Sai Mounika, dan T. Bhagyasri. dengan judul “*Differential protection of transformer using arduino with gsm and voice circuit*” pada

penelitian ini rele diferensial dirancang untuk memberikan pengumuman suara ketika terjadi gangguan dan mengirimkan pesan kepada operator melalui modul GSM bahwa sedang terjadi gangguan [8].

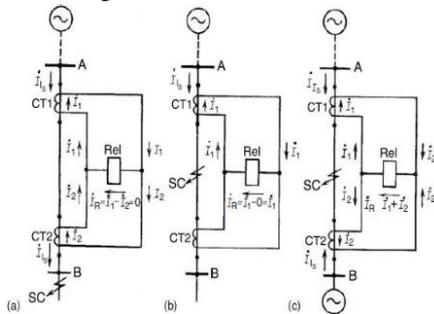
Dari penelitian yang dilakukan oleh Heri Budi Utomo, dan Muhammad Ilham R dengan judul “Analisa sistem proteksi rele deferensial pada trafo 60MVA di Gardu Induk Bandung Utara menggunakan software ETAP 12.6.0” pada penelitian tersebut sistem rele diferensial mengamankan transformator ketika terjadi gangguan di internal pada trafo. Dimana nilai arus setting yang digunakan adalah 0,397A, sehingga saat arus diferensial lebih besar dari arus setting maka rele diferensial akan bekerja [9].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Alfi Syahri dan Andik Bintoro Kolom dengan judul “Monitoring dan controlling daya berbasis arduino uno menggunakan sensor PZEM-004T” pada penelitian ini menunjukkan penerapan Sensor PZEM-004T sebagai sensor arus yang memiliki error yang kecil [10].

B. Prinsip Kerja Rele Diferensial

Proteksi rele diferensial bekerja dengan metode keseimbangan arus yakni sesuai dengan hukum arus kirchoff yaitu, arus yang menuju/masuk sama dengan arus yang meninggalkan/keluar pada titik sambungan/cabang [11].

Kerja rele diferensial ini dibantu oleh dua buah trasformator arus (CT) dimana dalam keadaan normal, trasformator arus yang pertama dan trasformator yang kedua dibuat suatu ratio sedemikian rupa, sehingga arus pada kedua trasformator arus tersebut sama besar [12]. Bagian sekunder dari kedua CT saling terhubung seperti yang terlihat pada gambar 1. Rele diferensial ditempatkan secara paralel terhadap interkoneksi dari bagian sekunder kedua CT [7].



Gambar 1. (a) Sirkulasi arus ketika gangguan eksternal; (b) Ketika gangguan internal dengan satu suplai; (c) Ketika gangguan internal dengan dua suplai [7].

Jika arus sekunder dari CT, CT1 dan CT2 dimisalkan berturut-turut dengan I1 dan I2, dan arus yang mengalir dari CT1 pada rele yaitu I1 berada pada polaritas positif, sehingga rangkaian AB dalam keadaan normal dapat dirumuskan sebagai berikut [7] :

$$I_d = I_1 - I_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Hubungan ini berdasarkan fakta bahwa impedansi belitan dari rele adalah jauh lebih kecil dari impedansi belitan sekunder

CT, dan karena itu maka arus sekunder dari kedua CT akan bertemu dalam arah yang berlawanan pada belitan rele. Dalam kasus yang ideal, selama kondisi kerja normal dan ketika terjadi gangguan eksternal (diluar area proteksi), arus sekunder CT, CT1 dan CT2 akan memiliki besar nilai yang sama dan berlawanan arah, karena itu tidak arus yang mengalir menuju belitan rele, atau [7] :

$$I_d = I_1 - I_2 = 0 \dots \dots \dots (2.2)$$

Ketika hubung singkat internal (terjadi didalam area yang diproteksi) dan suplai diberikan dari salah satu ujung rangkaian [7] :

$$I_d = I_1 - 0 = I_1 \dots \dots \dots (2.3)$$

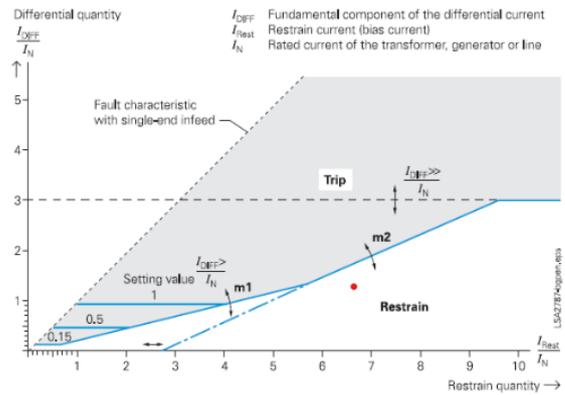
Rele akan beroperasi dan mengirimkan sinyal untuk trip pada *circuit breaker* [7] .

Ketika hubung singkat internal (terjadi didalam area yang diproteksi) dan suplai diberikan pada kedua ujung rangkaian seperti pada gambar 2.1c, penjumlahan arus yang mengalir pada belitan rele adalah [7] :

$$I_d = I_1 + I_2 \dots \dots \dots (2.4)$$

(secara umum arus akan berbeda dalam besar nilainya), rele akan beroperasi dan kemudian mengirimkan sinyal trip untuk mengaktifkan *circuit breaker*) [2] .

Pada gambar 2 terdapat grafik hubungan antara arus diferensial dan arus *restrain*, kurva ini menggambarkan karakteristik tripping yang digunakan oleh rele diferensial SIPROTEC 7UT6 berdasarkan ANSI 87T [2] .



Gambar 2. Karakteristik tripping dengan parameter transformator yang telah ditetapkan untuk gangguan tiga fase [7].

Daerah di atas kurva adalah zona operasi rele diferensial, sedangkan pada daerah di bawah kurva, rele diferensial tidak akan bekerja. Untuk proteksi rele diferensial arus dengan metode arus bias persamaan yang digunakan adalah [7] :

$$I_d = I_1 - I_2 \dots \dots \dots (2.5)$$

$$I_r = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$$I_d = \text{Arus diferensial}$$

I_r = Arus restrain

C. Arduino Uno

Papan mikrokontroler yang disebut Arduino didasarkan pada ATmega328. Arduino Uno hadir dengan semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, dan Anda dapat menggunakan kabel USB untuk menghubungkannya dengan cepat ke komputer, memasoknya dengan adaptor AC ke DC, atau menyalakannya dengan baterai [13].

Arduino uno dilengkapi *Static Random-Access Memory* (SRAM) berukuran 2KB untuk memegang data, *Flash memory* berukuran 32KB, dan *Erasable Programmable Read-Only Memory* (EPROM) untuk menyimpan program [14]. Tampilan board Arduino uno ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Board Arduino Uno [15].

D. PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah sensor yang digunakan untuk mengukur Arus, Tegangan, Power, dan Energy dari listrik AC. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengeluarkan output dengan komunikasi serial, sehingga dapat dihubungkan dengan perangkat seperti Arduino. Modul pzem-004t dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A [16]. Bentuk dan konfigurasi PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. PZEM-004T [16].

Modul ini terutama digunakan untuk mengukur tegangan AC, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya dan energi aktif, modul tanpa fungsi tampilan, data dibaca melalui interface TTL. Interface TTL dari modul ini adalah interface pasif, membutuhkan catu daya eksternal 5V, yang berarti ketika berkomunikasi, keempat port harus terhubung (5V, RX, TX, GND) jika tidak ia tidak dapat berkomunikasi (innovatorsguru, n.d.). PZEM-004T-10A: Rentang Pengukuran 10A (Built-in

Shunt). PZEM-004T-100A: Rentang Pengukuran 100A (*External Transformer*) [16].

E. Push Button

Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Sistem kerja unlock disini berarti saklar akan bekerja sebagai *device* penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali pada kondisi normal., bentuk fisik dari komponen ini dapat dilihat pada Gambar 5. berikut ini [17].



Gambar 5. Push Button [17].

F. Liquid Crystall Display (LCD) I2C 16x2

LCD merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, atau grafik. LCD membutuhkan tegangan dan daya yang kecil sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada kalkulator, arloji digital, dan instrumen elektronik seperti multimeter digital. LCD memanfaatkan silikon dan galium dalam bentuk kristal cair sebagai pemancar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom [18].

Untuk mengakses LCD 16x2 menggunakan Arduino, Anda dapat menggunakan library *LiquidCrystal_I2C* untuk mengontrol LCD melalui jalur I2C. Anda dapat menulis kode untuk mengatur posisi kursor, menulis teks, dan mengatur backlight pada LCD 16x2 [19].

Spesifikasi dari LCD 16x2. Adapun fitur – fitur yang tersedia antara lain:

1. Terdiri dari 16 kolom dan 2 baris
2. Dilengkapi dengan *backlight*
3. Mempunyai 192 karakter tersimpan
4. Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit
5. Terdapat karakter generator terprogram



Gambar 6. LCD 16X2 [18].

G. Relay

Relay adalah suatu alat elektromagnetik yang dioperasikan oleh perubahan kondisi suatu rangkaian listrik. Berguna untuk mengaktifkan peralatan lainnya dengan cara membuka atau menutup kontak dengan memberikan rangkaian relay tersebut logika 1 atau 0. Relay sendiri terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi [20]. Adapun fungsi relay pada rangkaian listrik diantaranya adalah menyambung dan memutuskan aliran listrik secara tidak langsung menyambung dan memutuskan aliran listrik secara bersamaan [21], Bentuk fisik dari relay dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Relay [20].

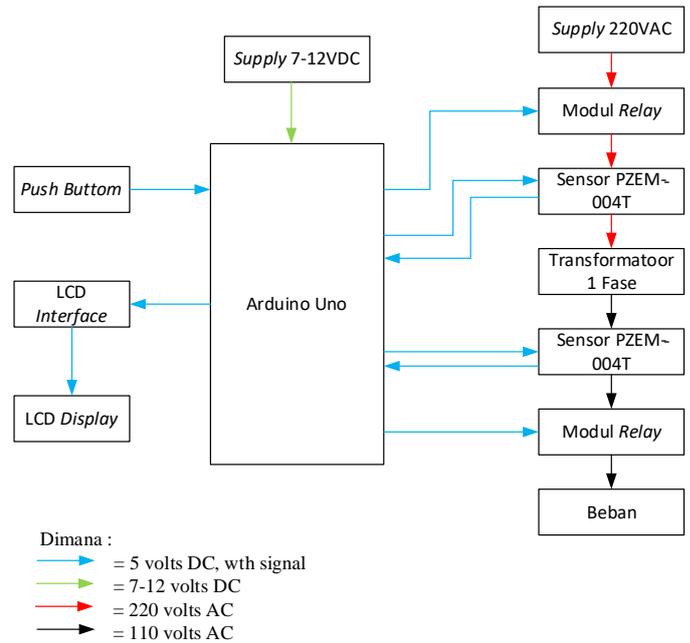
III. METODE PENELITIAN

A. 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 rele diferensial SIPROTEC 7UT6 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 di Laboratorium Politeknik Negeri Samarinda.

B. Gambaran Umum Sistem

Gambar 9. menunjukkan gambaran umum sistem dari rele diferensial berbasis arduino. Arduino uno mendapatkan sumber tegangan dari adaptor 7 – 12V sedangkan transformator pada sisi primer di suplai 220V dan beban terhubung dengan sisi sekunder transformator dengan tegangan 110V, pada sisi primer dan sekunder masing-masing terhubung dengan relay dan sensor PZEM-004T yang akan dikendalikan oleh sistem Arduino uno. Pada arduino terdapat 2 input yaitu PZEM-004T yang merupakan sensor dan Keypad 4x4 untuk memasukkan nilai faktor pengali rasio trafo serta memiliki 2 output yaitu relay dan LCD, untuk penjelasan pin input dan output yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 8. Gambaran umum sistem rele diferensial berbasis Arduino.

TABEL 1
PIN INPUT DAN OUTPUT YANG DIGUNAKAN

| Pin Mode | Nama Pin | Keterangan |
|----------|------------------|---|
| Input | Sensor PZEM-004T | berfungsi mengukur arus pada jaringan yang diamankan kemudian dikirimkan ke Arduino |
| Input | Push button | berfungsi sebagai tombol untuk mereset Arduino |
| Output | Relay | berfungsi untuk memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan arus yang melebihi batas setting arus yang telah ditentukan |
| Output | LCD | berfungsi sebagai penampil ketika menginput nilai faktor pengali rasio CT |

C. Peralatan dan Material

Tabel 2. menunjukkan peralatan dan material yang digunakan untuk membuat dan sarana dalam membuat rele diferensial:

TABEL 2
DAFTAR ALAT DAN MATERIAL YANG DIGUNAKAN

| Alat | Material |
|---------|------------------|
| Bor | Arduino Uno |
| Gerinda | Sensor PZEM-004T |
| Solder | Rele |

| | |
|-------------------|-------------|
| Laptop | Akrilik |
| Variable Resistor | LCD 16x2 |
| Lampu Pijar 15W | Papan PCB |
| Ampere Meter | Timah |
| Jepit Buaya | Kabel |
| | Sekun |
| | Push button |



Gambar 9. Karakteristik tripping rele diferensial.

D. Perancangan Proteksi Diferensial pada Relay

Perancangan karakteristik diferensial dilakukan untuk mengatur sistem kerja antara sensor arus, relay, dan Arduino. Mikrokontroler Arduino dapat memilih kapan waktu yang tepat dalam memberikan sinyal trip kepada relay untuk memutuskan beban.

Grafik pada gambar 2 merupakan karakteristik tripping yang digunakan oleh rele diferensial SIPROTEC 7UT6. Grafik yang terdapat pada gambar 2 dibagi menjadi tiga bagian dengan mengasumsikan arus diferensial (Id) sebagai (y) dan arus restrain (Ir) sebagai (x). Bagian yang pertama adalah grafik yang dinamakan dengan setting value, kemudian bagian yang kedua adalah grafik yang dinamakan slope (m1), dan bagian yang ketiga adalah grafik yang dinamakan slope (m2). Grafik bagian dua dan tiga merupakan garis yang memiliki kemiringan (slope) tertentu, sehingga fungsi (x) dan (y) untuk bagian dua atau bagian tiga dari grafik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan mengasumsikan bahwa slope(m1) adalah garis penghubung antara dua titik (2.1,0.5), dan (4.1,1), maka didapatkan persamaan untuk grafik bagian kedua adalah:

$$x = 4 * y + (0,1) \dots\dots\dots (3.2)$$

Kemudian mengasumsikan bahwa slope(m2) adalah garis penghubung antara dua titik (4.1,1), dan (9.6,3), maka didapatkan persamaan untuk grafik bagian ketiga adalah:

$$x = \left(\frac{39}{16}\right) * y - \left(\frac{183}{80}\right) \dots\dots\dots (3.3)$$

Dari persamaan (3.2) dan (3.3) didapatkan empat koordinat titik yaitu (0,0.5), (2.1,0.5), (5.7,1.4) dan (9.6,3). Kemudian berdasarkan empat titik tersebut akan dilakukan plotting sehingga membentuk sebuah diagram karakteristik diferensial yang diterapkan pada kerja purwarupa seperti pada Gambar 10.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

Pada tahap ini, hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan amperemeter akan dibandingkan dengan hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan sensor arus PZEM-004T. Hasil pembacaan arus menggunakan sensor arus PZEM-004T dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN PEMBACAAN SENSOR ARUS PZEM-004T

| Sensor Arus (A) | Ampere Meter (A) | Error (%) |
|-----------------|------------------|-----------|
| 0,253 | 0,250 | 0,988 |
| 0,304 | 0,300 | 0,986 |
| 0,355 | 0,350 | 0,985 |
| 0,406 | 0,400 | 0,985 |
| 0,455 | 0,450 | 0,989 |
| 0,506 | 0,500 | 0,988 |
| 0,556 | 0,550 | 0,989 |
| 0,607 | 0,600 | 0,988 |
| 0,658 | 0,650 | 0,987 |
| 0,708 | 0,700 | 0,988 |

B. Pengujian Rele diferensial

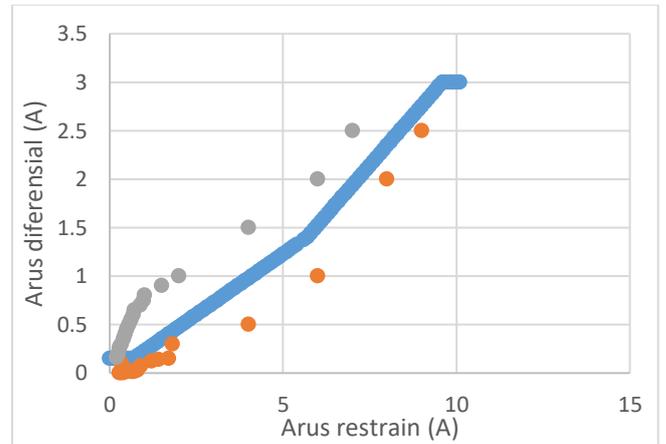
Pada pengujian rele diferensial dilakukan dengan cara memasang resistor variabel pada daerah proteksi dan diluar daerah proteksi sebagai arus gangguan.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN RELE DIFERENSIAL ARUS GANGGUAN DI LUAR DAERAH PROTEKSI

| No. | Id | Ir | Kondisi rele |
|-----|------|------|---------------|
| 1 | 0 | 0,27 | Tidak Bekerja |
| 2 | 0 | 0,32 | Tidak Bekerja |
| 3 | 0 | 0,38 | Tidak Bekerja |
| 4 | 0,01 | 0,43 | Tidak Bekerja |
| 5 | 0,01 | 0,50 | Tidak Bekerja |
| 6 | 0,02 | 0,56 | Tidak Bekerja |
| 7 | 0,02 | 0,62 | Tidak Bekerja |
| 8 | 0,01 | 0,66 | Tidak Bekerja |
| 9 | 0,02 | 0,73 | Tidak Bekerja |
| 10 | 0,03 | 0,80 | Tidak Bekerja |
| 11 | 0,07 | 0,9 | Tidak Bekerja |
| 12 | 0,10 | 0,34 | Tidak Bekerja |
| 13 | 0,12 | 1,2 | Tidak Bekerja |
| 14 | 0,14 | 1,4 | Tidak Bekerja |
| 15 | 0,15 | 1,7 | Tidak Bekerja |
| 16 | 0,3 | 1,8 | Tidak Bekerja |
| 17 | 0,5 | 4 | Tidak Bekerja |
| 18 | 1 | 6 | Tidak Bekerja |
| 19 | 2 | 8 | Tidak Bekerja |
| 20 | 2,5 | 9 | Tidak Bekerja |

| | | | | |
|----|------|------|---------|---------|
| 14 | 0,75 | 0,97 | Bekerja | 2 detik |
| 15 | 0,8 | 1 | Bekerja | 2 detik |
| 16 | 0,9 | 1,5 | Bekerja | 2 detik |
| 17 | 1 | 2 | Bekerja | 2 detik |
| 18 | 1,5 | 4 | Bekerja | 2 detik |
| 19 | 2 | 6 | Bekerja | 2 detik |
| 20 | 2,5 | 7 | Bekerja | 2 detik |

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa rele diferensial akan bekerja ketika arus diferensial melebihi arus setting diferensial dan waktu trip rele ketika terjadi gangguan adalah 2 detik.



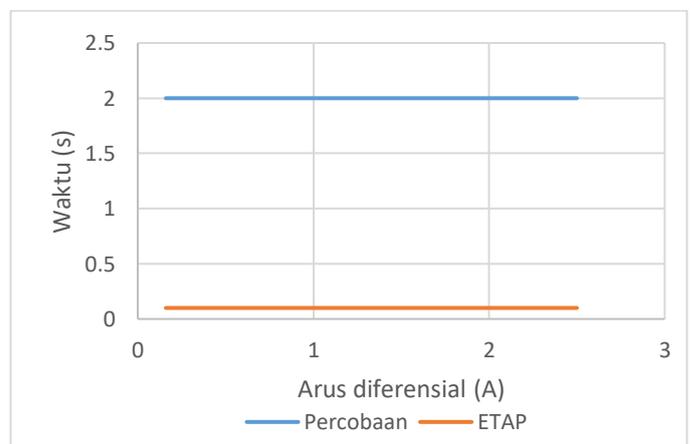
Gambar 10. Karakteristik tripping pada pengujian rele diferensial.

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa rele diferensial tidak akan bekerja ketika arus diferensial dibawah arus setting dan apabila arus diferensial melebihi arus setting namun, arus *restrain* cukup besar maka rele tidak akan bekerja.

Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa rele diferensial akan bekerja ketika arus diferensial dan arus *restrain* berada diatas grafik karaktristik tripping dan rele tidak akan bekerja ketika arus diferensial dan arus *restrain* berada dibawah grafik karaktristik tripping.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN RELE DIFERENSIAL ARUS GANGGUAN DI DAERAH PROTEKSI

| No. | Id | Ir | Kondisi rele | Waktu trip |
|-----|------|------|--------------|------------|
| 1 | 0,16 | 0,2 | Bekerja | 2 detik |
| 2 | 0,2 | 0,25 | Bekerja | 2 detik |
| 3 | 0,25 | 0,28 | Bekerja | 2 detik |
| 4 | 0,27 | 0,3 | Bekerja | 2 detik |
| 5 | 0,3 | 0,34 | Bekerja | 2 detik |
| 6 | 0,35 | 0,4 | Bekerja | 2 detik |
| 7 | 0,4 | 0,44 | Bekerja | 2 detik |
| 8 | 0,45 | 0,5 | Bekerja | 2 detik |
| 9 | 0,5 | 0,56 | Bekerja | 2 detik |
| 10 | 0,55 | 0,61 | Bekerja | 2 detik |
| 11 | 0,6 | 0,68 | Bekerja | 2 detik |
| 12 | 0,65 | 0,71 | Bekerja | 2 detik |
| 13 | 0,7 | 0,88 | Bekerja | 2 detik |



Gambar 11. Grafik perbandingan waktu trip rele diferensial hasil percobaan dengan hasil simulasi ETAP.

Dapat dilihat pada Gambar 11. Berapapun besar arus diferensial, jika melebihi arus setting maka waktu trip rele sama atau konstan. Serta perbedaan waktu kerja rele yang didapatkan

dari simulasi *software* ETAP dengan waktu kerja rele dari hasil percobaan sebesar 19%.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T yang digunakan sebagai sensor arus telah memberikan hasil pembacaan arus dengan baik pada pembacaan arus dengan nilai dibawah 1 ampere. Dalam pengujian yang telah dilakukan rele diferensial dapat bekerja saat terjadi gangguan internal dan tidak bekerja saat terjadi gangguan eksternal. Rele diferensial berbasis Arduino Uno telah bekerja mengikuti standar ANSI 87T. Berdasarkan hasil pengujian alat ini terdapat perbedaan waktu kerja rele antara simulasi *software* ETAP dengan hasil percobaan sebesar 19%. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan pembacaan sensor PZEM-004T cukup rendah yaitu sekitar dua kali per detik.

B. Saran

Menambahkan fitur minimum pick up yang dapat diatur dari 0.15 – 1 ampere. Pada rele diferensial ini arus yang dapat mengalir pada saluran adalah 10A disebabkan rating rele. Oleh karena itu, Perlu ditingkatkan rating rele pengaman pada rele diferensial ini agar dapat digunakan pada transformator daya. Menggunakan sensor arus yang memiliki kecepatan yang tinggi untuk meningkatkan kecepatan waktu trip rele.

REFERENSI

- [1] M. F. Jafar dan A. Budiman, "Studi setting rele differensial pada trafo daya PT. PLN TARAKAN," *Elektrika Borneo (JEB)*, vol. 9, no. 2, Oct. pp. 104-108, 2023. DOI: <https://doi.org/10.35334/eb.v9i2.3466>.
- [2] M. M. Lasiyono, "Setting relai differensial pada transformator daya 150kV Gardu Induk Pondok Indah menggunakan protocol communications modbus," *Jurnal Ekonomi - Teknik*, vol. 1, no. 3, p. 204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.54543/etnik.v1i3.25>.
- [3] M. A. Firnanda, I. Effendi dan Dyah. Utari. Y.W., "Perencanaan setting relay differential sebagai proteksi utama transformator 500 MVA GITET 500/275 kV Muara Enim PT. PLN (Persero) UIP sumbagsel," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 9, no 2, pp. 121-129, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.52333%2Fdestek.v9i2.782>.
- [4] R. Syahputra, Y. R. Nasution dan Yusniati., "Pengoperasian transformator dengan menggunakan tap changer aplikasi Gardu Induk Denai," *Journal of Electrical Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 53-60, 2020.
- [5] S. Y. Nugraha dan A. T. Triyanto, "Prototipe proteksi motor 3 fasa menggunakan rele PFR NJYB315". *Jurnal Ilmu Komputer dan Science*, vol. 2, no 5, pp. 1281-1287, Juni 2023.
- [6] C. A. Ramadhan, M. Pujiantara dan A. Priyadi, "Evaluasi proteksi sistem kelistrikan pembangkit jenis gas turbine generator 3X18 pada PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri)," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 11, no 2, pp. 76-83, 2022. DOI: 10.12962/j23373539.v11i2.87919.
- [7] N. S. Umar, S. dan R. S. Lubis, "Rancang bangun purwarupa relai diferensial arus dengan metode arus bias menggunakan Arduino Uno," *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 84-89, 2018.
- [8] T. P. Saradhi, C. B. S. V. Prasad, N. Raja, P. Nazeer, J. S. Mounika dan T. Bhagyasri, "Differential protection of transformer using arduino with gsm and voice circuit," *Journal of Engineering Sciences*, vol. 11, no. 5, pp. 83-91, 2020. DOI: 10.15433.JES.2020.V11I05.43P.16.
- [9] H. B. Utomo dan M. I. R., "Analisa sistem proteksi rele deferensial pada trafo 60MVA Di Gardu Induk Bandung Utara menggunakan *software* ETAP 12.6.0," *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2021.
- [10] A. Syahri dan A. Bintoro, "Monitoring dan controlling daya berbasis arduino uno menggunakan sensor PZEM-004T," *Jurnal Energi Elektrik*, vol.12,no.1,pp.43-51,2023. DOI: <https://doi.org/10.29103/jee.v12i1.9836>.
- [11] E. S. Nasution., F. I. Pasaribu., Yusniati. dan M. Arfianda, "Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk," *Ready Start*, vol. 2, no. 1, pp. 179-186, 2019.
- [12] F. Ferdiansyah, S. Subhan, dan N. Nazaruddin, "Studi penggunaan rele diferensial type P642 sebagai proteksi pada transformator daya 30 MVA Gardu Induk Pantan Labu PT. PLN (Persero) Aceh Utara," *Jurnal Tektro*, vol. 7, no. 1, pp. 78-83, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.30811/tektro.v7i1.3865>.
- [13] M. I. Hafidhin, A. Saputra, Y. Ramanto dan S. Samsugi, "Alat penjemuran ikan asin berbasis mikrokontroler," *JTIKOM*, vol. 1, no. 2, pp. 59-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33365/jtikom.v1i2.210>.
- [14] A. Lestari dan O. Candra, "Sistem otomasi pensortiran barang berbasis arduino uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 7, no. 1, pp. 27-36, 2021.
- [15] A. Sari, N. Utami, S. Samsugi dan S. D. Ramdan, "Pengembangan koper pintar berbasis arduino," *Jurnal ICTEE*, vol. 1, no. 1, pp. 20-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33365/jictee.v1i1.699>.
- [16] S. Anwar, T. Artono, N. D. dan A. Fadli, "Pengukuran energi listrik berbasis PZEM-004T," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. 272-276, 2019.
- [17] Y. N. I. Fathulrohman dan A. Saepuloh, "Alat monitoring suhu dan kelembaban menggunakan arduino uno," *JUMANTAKA*, vol. 2, no. 1, pp. 161-171, 2019.
- [18] A. Furqon, A. B. Prasetyo dan E. D. Widiyanto, "Rancang bangun sistem monitoring dan kendali daya listrik pada rumah kos menggunakan nodeMCU dan firebase berbasis android," *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 18, no. 2, pp. 93-104, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31358/techne.v18i02.202>.
- [19] M. F. Bahmadani dan E. Fitriani, "Prototipe monitoring pengendalian rumah jamur tiram," *Jurnal Teliska*, vol. 16, no. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7820793>.
- [20] R. Sudrajat dan F. Rofifah, "Rancang bangun sistem kendali kipas angin dengan sensor suhu dan sensor ultrasonik berbasis arduino uno," *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, vol. 7, no. 1, pp. 555-564, 2023. DOI: 10.33395/remik.v7i1.12082.
- [21] I. S. Hudan dan T. Rijianto, "Rancang bangun sistem monitoring daya listrik pada kamar kos berbasis internet of things (iot)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 91-99, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26740/jte.v8n1.p%25p>.