

RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* ALAT *PROTEKSI OVER CURRENT* MENGUNAKAN KONTROL ARDUINO

Nur Salim
1412001
solola.as02@gmail.com

Dr. Eng. Aryanto Soetedjo, ST., MT.
Pembimbing 1

Ir. Ni Putu Agustini, MT.
Pembimbing 2

Abstract—Untuk melindungi peralatan listrik dari gangguan arus pendek atau *short circuit* (beban lebih) penyebab masalah yang harus diamankan dapat ditangani menggunakan metode pengaman arus lebih atau OCR (*Over Current Relay*). Didalam dunia industri relay proteksi yang sering digunakan ada beberapa, yaitu relay proteksi konvensional. Relay proteksi konvensional terdiri dari relay tipe elektromagnetik dan tipe statik. Kedua tipe relay ini memiliki banyak kekurangan dalam melindungi sistem tenaga listrik dan peralatan - peralatan listrik.

Dari keadaan diatas, muncul suatu ide untuk merancang alat proteksi arus lebih (OCR). Alat pengaman ini dapat bekerja dengan cepat, tidak mudah rusak, fleksibel, akurat dalam mengatasi gangguan dan alat ini dirancang dengan rangkaian elektronik berbasis mikrokontroler. Alat prototipe arus lebih (OCR) ini terdiri dari komponen seperti sensor arus SCT 013-000 dan mikrokontroler Arduino sebagai pengndali utama. Sebagai sistem pengontrolan dengan aksi On-Off dan menggunakan modul relay sebagai aktuator. Prototipe OCR ini dibuat dengan beberapa karakteristik yaitu *Instantaneous, definite time relay, invers*. Sensor arus SCT 013-000 digunakan untuk membaca nilai arus,serta LCD (*liquid crystal display*) di gunakan untuk membaca nilai arus yang terukur dan LED (*Light Emiting Diode*) di gunakan sebagai indikator.

Dari pengujian alat yang telah dilakukan, didapatkan apabila arus terbaca melebihi arus setting dari perangkat uji, maka relay sebagai output aktuator dari perangkat uji mengalami trip dengan waktu yang telah dihitung secara matematis oleh perangkat uji sesuai dengan persamaan. Hasil perbandingan selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan perhitungan manual, rata-rata selisih dalam hitungan (%).

Kata Kunci—Sensor arus SCT 013-000, mikrokontroler Arduino Atmega 328P, Relay.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dunia industri dalam memanfaatkan energi listrik semakin pesat. Jenis berbagai macam beban dalam industri pun semakin bervariasi karena itu membutuhkan relay proteksi yang handal untuk memproteksi peralatan-peralatan listrik yang diakibatkan oleh gangguan hubung singkat dan beban lebih. Gangguan hubung menimbulkan arus yang besar, jauh lebih besar dari arus pengenalan peralatan tersebut, sehingga dapat merusak peralatan listrik (Almanda Deni, Yusu Habil).

Didalam dunia industri relay proteksi yang sering digunakan ada beberapa, yaitu relay proteksi konvensional. Relay proteksi konvensional terdiri dari relay tipe elektromagnetik dan tipe statik. Kedua tipe relay ini memiliki banyak kekurangan dalam melindungi sistem tenaga listrik dan peralatan - peralatan listrik. Untuk mewujudkan hal tersebut dibutuhkan relay proteksi yang handal untuk mendeteksi arus gangguan dengan baik (Laksono Dibyo Heru, Dibyo M. Nasir. 2007).

Perancang prototipe OCR dengan terdiri dari relay tipe elektromagnetik dan menggunakan sensor arus SCT 013-000 dan mikrokontroler Arduino sebagai pengendali utama, sistem pengontrolan dengan aksi On-Off dan menggunakan modul relay sebagai aktuator. Prototipe OCR ini dibuat dengan beberapa karakteristik yaitu *Instantaneous, definite time relay, invers*. Sensor arus SCT 013-000 digunakan untuk membaca nilai arus,serta LCD (*liquid crystal display*) di gunakan untuk membaca nilai arus yang terukur dan LED (*Light Emiting Diode*) di gunakan sebagai indikator.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merancang *prototype* alat proteksi over current relay dengan menggunakan kontrol arduino.
2. Bagaimana cara membuat alat proteksi over current relay yang handal.

C. Tujuan

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Merancang sebuah *prototype* perangkat proteksi over current relay dengan menggunakan kontrol arduino.
2. Melakukan uji coba kinerja proteksi over current relay menggunakan kontrol arduino.
3. Membandingkan nilai selisih *error over current relay* dengan perhitungan manual.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proteksi

Proteksi/ pengamanan pada beban listrik, dapat diketahui dari pendeteksian arus lebih pada perangkat beban. Fungsi utama suatu sistem atau alat proteksi adalah sebagai berikut:

1. Mendeteksi adanya arus lebih pada beban terukur dan melakukan proteksi dengan pemutusan daya listrik terhadap beban.
2. Melakukan pengamanan beban lain diluar beban terproteksi yang mengalami arus lebih.

Berikut ini adalah beberapa kriteria sistem proteksi (pengamanan) :

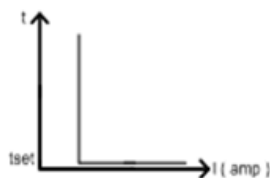
1. Sensitifitas (*sensitifity*)
Sensor sebagai komponen proteksi (pengaman) harus cukup sensitif dan mampu merasakan perubahan kondisi yang terjadi. Sensor harus mampu mendeteksi rangsangan / perubahan sekecil mungkin meski tidak dieksekusi.
2. Keandalan (*reliability*)
 - a. Suatu alat proteksi harus memiliki tingkat sensitivitas terhadap pembacaan gangguan dengan cepat dan baik.
 - b. Alat proteksi (pengaman) harus memiliki tingkat kinerja yang cepat dalam mengamankan beban, sehingga mampu menghindarkan kegagalan sistem dalam kinerja perangkat lain yang tidak mengalami gangguan.

B. Over Current Relay (OCR)

OCR atau *Over Current Relay* adalah suatu relay proteksi yang memiliki prinsip kerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai arus beban yang melebihi arus pengaturan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. *Over Current Relay* (OCR) berfungsi sebagai proteksi perangkat listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan arus beban lebih. Selain itu *Over Current Relay* (OCR) juga berfungsi untuk mengamankan transformator dari arus yang melebihi dari arus yang dibolehkan dari transformator tersebut. Metode pengamanan dari *Over Current Relay* (OCR) dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan karakteristik waktu kerja.
 - a) *Over Current Relay* (OCR) seketika (*instantaneous*)

Pada jenis *Over Current Relay* (OCR) seketika (*instantaneous*) metode proteksi ini akan memberikan perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui arus penyetelannya, maka PMT bekerja sangat singkat tanpa penundaan waktu (20 – 60 mdet).



Gambar 2.1: karakteristik Instantaneous

- b) *Over Current Relay* (OCR) dengan waktu tertentu (*definite*)

Over Current Relay (OCR) ini memberikan perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar arus beban melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu pemutusan sumber daya terhadap beban telah ditentukan besaran waktunya.

Sifat dari metode *definite* adalah relay akan bekerja bila arus beban melebihi arus setting (I_s) yang telah ditentukan, dan lamanya selang waktu relay bekerja untuk memberikan perintah trip adalah sesuai dengan waktu setting (T_s) yang ditentukan. Pada relay ini waktu bekerjanya ($T_{tripping} = T_s$) konstan.



Gambar 2.2: Karakteristik Definite

- c) *Over Current Relay* (OCR) dengan waktu kerja terbalik (*invers*)

Adalah *Over Current Relay* (OCR) yang waktu kerjanya tergantung dari arus gangguan. Relay ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya dan jangka waktu relay ini mulai pick up sampai kerja waktunya diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus.

Sifat atau karakteristik dari relay inverse adalah relay baru akan bekerja bila yang mengalir pada relay tersebut melebihi besarnya arus setting (I_s) yang telah ditentukan, dan lamanya waktu relay bekerja untuk memberikan komando tripping adalah paling lambat sesuai dengan waktu setting (T_s) yang dipilih. Pada relay ini waktu bekerjanya (T_{tripp}) tidak sama dengan waktu setting (T_s). Karena sangat tergantung dengan besarnya arus yang melewati beban, sehingga makin besar arus yang melewati beban maka makin cepat waktu kerja (T_{trip}) dari relay tersebut.



Gambar 2.3: Karakteristik Inverse

Tabel 2.1 Karakteristik Rele OCR standar Inverse IEC

60255 Kurva Arus

Kemiringan Waktu / Kurva Arus Seting	α	β
Normal Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1,0	13,5
Extremely Inverse	2,0	80,0
Long-Time Inverse	1,0	120,0

Persamaan :

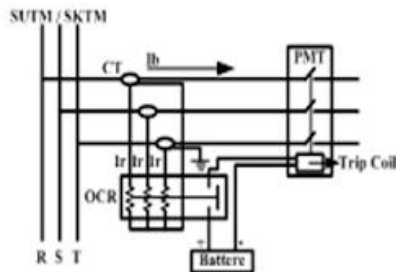
$$t_c (s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- I = Arus Terukur (A)
- I_s = Arus Seting (A)
- t = Waktu Oprasi (s)
- k = Time Multiplier (0,5)

C. Prinsip kerja Over Current Relay (OCR)

Prinsip kerja *Over Current Relay* (OCR) yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah *trip* ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.



Gambar 2.4: Prinsip Kerja over current relay
(Sumber: dayat-akmal.blogspot.com)

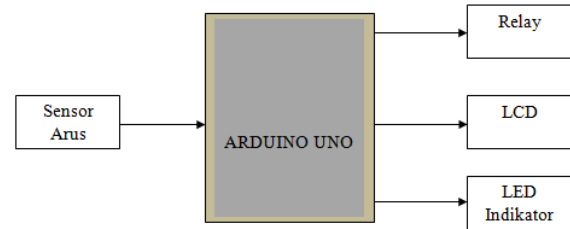
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pendahuluan

Pada bab ini membahas mengenai perancangan sistem. Dalam perancangan ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Maka dilakukan penggabungan dari tiap bagian sehingga menghasilkan suatu alat yang sesuai dengan yang direncanakan.

B. Diagram Blok perangkat Keras

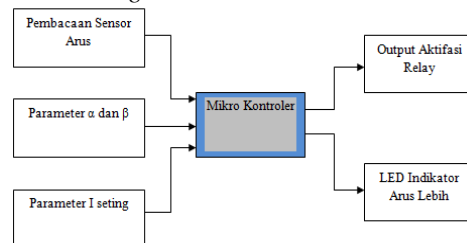
Dalam perancangan system ini, gambaran sensor dan actuator yang digunakan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Blok Perangkat Keras
Penjelasan diagram blok perangkat keras sebagai berikut:

1. Sensor arus berfungsi untuk membaca besarnya nilai arus yang mengalir pada saat terjadi gangguan.
2. Arduino sebagai mecrontroler yang digunakan untuk memproses nilai hasil pengukuran sensor dan kemudian dihitung secara matematik untuk menentukan waktu pemutusan daya oleh relay, berdasarkan perhitungan waktu dari persamaan Instantaneous, definite time, dan invers.
3. LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan nilai arus, tipe persamaan dan waktu trip.
4. Relay digunakan untuk pemutus arus sumber ke beban.
5. LED digunakan untuk mengetahui bahwa relay telah bekerja.

C. Perancangan sistem



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Penjelasan diagram blok sistem sebagai berikut:

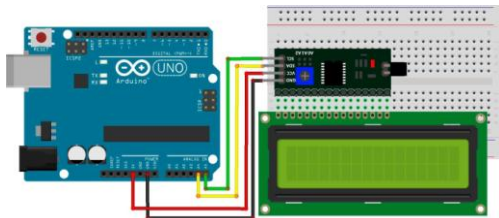
1. Sensor arus sebagai penguat sinyal analog yang selanjutnya diproses oleh mikrokontroller sebagai data arus hasil pembacaan beban yang terpasang.
2. Parameter alpha dan beta digunakan sebagai salah satu parameter yang akan digunakan selain parameter nilai arus hasil pembacaan, arus setting dan konstanta, yang kemudian akan diproses oleh mikrokontroller secara matematis sehingga didapatkan suatu nilai waktu yang akan digunakan sebagai pewaktu pemutus daya oleh relay apabila arus pembacaan melebihi arus setting, pada parameter alpha dan beta ini hanya berlaku untuk metode inverse, long time inverse dan extremely inverse.
3. Parameter I setting adalah parameter batasan arus yang dapat digunakan sebagai referensi arus maksimum yang aman bagi beban dan dibandingkan dengan pembacaan arus.
4. Relay digunakan sebagai pemutus daya antara sumber daya dan beban terpasang.

- LED indikator digunakan sebagai indikator trip relay.

D. Perancangan Perangkat Keras

1. Arduino UNO dan LCD 16x2 I2C

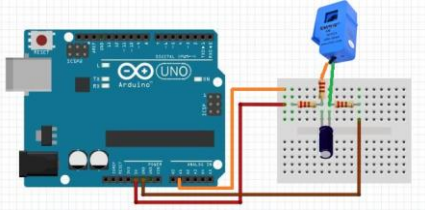
LCD 16x2 I2C digunakan untuk menampilkan besaran nilai arus, tipe persamaan dan waktu trip. LCD ini dihubungkan dengan modul I2C yang berfungsi sebagai komunikasi serial, sehingga dapat mengurangi pemakaian pin.



Gambar 3.3 Rangkaian LCD 16x2 I2C
Tabel 3.1 Konfigurasi Pin Modul LCD 16x2 I2C

LCD 16x2 I2C	Arduino UNO
GND	Pin GND
VCC	Pin 5V
SDA	Pin A4
SCL	Pin A5

- Arduino UNO Dan SCT013 (Sensor Arus)
SCT013 (Sensor Arus) berfungsi untuk membaca besarnya nilai arus yang mengalir.

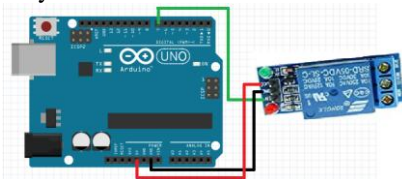


Gambar 3.4 Rangkaian SCT013 (Sensor Arus)
Tabel 3.2 Konfigurasi Pin SCT013 (Sensor Arus)

SCT013	Arduino UNO
GND	Pin GND
VCC	Pin 5V
Analog	Pin A1

3. Arduino UNO dan Relay

Relay digunakan untuk memutus sumber daya ke beban.



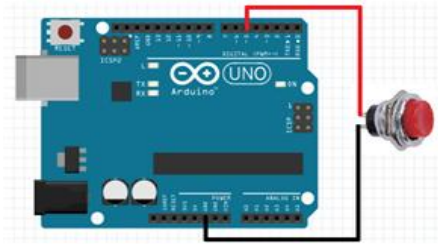
Gambar 3.4 Rangkaian Relay

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Relay

Relay	Arduino UNO
GND	Pin GND
VCC	Pin 5V

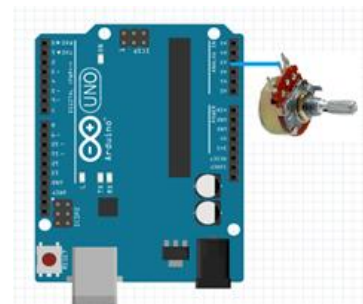
Digital	Pin D7
---------	--------

- Arduino UNO dan Push Butoon
Push Button digunakan sebagai pemilih metode atau menu.



Gambar 3.4 Rangkaian Push Button
Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Push Button

- Arduino UNO Dan Potensio
Potensio digunakan untuk meruba nilai I seting.

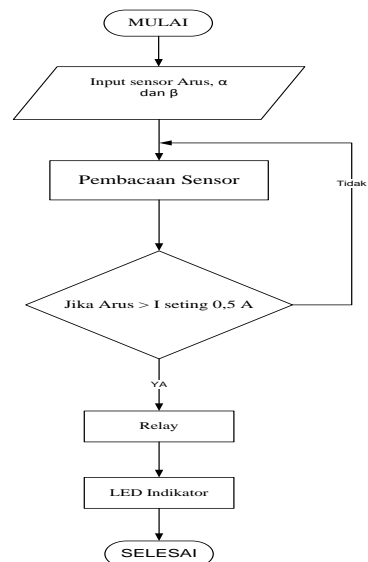


Gambar 3.5 Rangkaian Potensio Meter

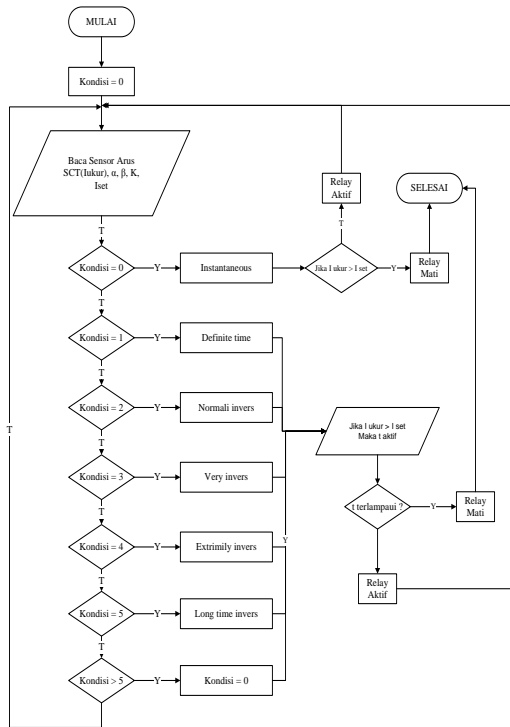
Tabel 3.3 Konfigurasi Pin Potensio

Potensio	Arduino UNO
Analog	Pin A3

E. Flowchart Sistem Over Current Relay (OCR)



3.1. Flowchart Program



Gambar 4.1 Pengujian *Liquid Crystal Display* (LCD 16x2 I2C)

Program untuk pengujian LCD 16x2 I2C berikut:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
```

```
void setup() {
  lcd.begin();
  Serial.begin(9600);
  lcd.clear();
}
```

```
void loop() {
  if (Serial.available()) {
    delay(100);
    lcd.clear();
    while (Serial.available() > 0) {
      lcd.write(Serial.read());
    }
  }
}
```

B. Pengujian SCT 013-000(Sensor Arus)

Sebelum melakukan pengujian pada SCT-013-000, perlu penambahan sebuah rangkaian karena sensor tersebut masih memiliki output berupa arus, sedangkan Arduino memiliki pin input analog berupa tegangan. Oleh karena itu perlu dikonversi terlebih dahulu dari arus ke tegangan menggunakan metode norton dan thevenin agar keluaran SCT-013-000 dapat dibaca oleh pin analog arduino.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang pengujian serta hasil perancangan yang telah di buat sebelumnya agar dapat diketahui dari kinerja masing-masing bagian alat. Dari hasil pengujian tersebut dapat dijadikan dasar untuk memperoleh kesimpulan. Setelah membuat perancangan alat selesai maka selanjutnya dilakukan pengujian dan kalibrasi terdahulu terhadap pembacaan nilai sensor dengan menggunakan tang amperem merek HIOKI tipe 3286-20 dan diperoleh hasil akurasi pembacaan hingga 98,7% maka selanjutnya dilakukan pengujian alat secara matematis dengan persamaan invers dan kemudian dibandingkan performa alat dengan perhitungan manual sehingga didapatkan hasil performa alat pada pembahasan pada sub bab dibawah ini.

A. Pengujian LCD 16x2 I2C

Pada pengujian LCD 16x2 I2C yaitu, untuk mengetahui apakah LCD bisa menampilkan karakter yang telah diprogram. Modul LCD 16x2 I2C ini memiliki dua baris dan di setiap barisnya dapat menampilkan maksimal 16 karakter.

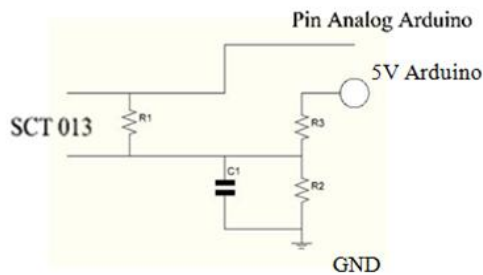
Peralatan yang digunakan :

1. Modul LCD 16x2 I2C
2. Arduino Uno
3. Software Arduino IDE
4. VCC 5V

Langkah pengujian :

1. Menghubungkan modul LCD 16x2 I2C ke pin A4 (SDA) dan A5 (SCL) pada Arduino.
2. Membuat program pada Arduino untuk menampilkan karakter yang diinginkan.
3. Mengamati tampilan pada LCD

Hasil pengujian :



Gambar (a)



Gambar (b)

Gambar 4.2 (a) (b) Rangkaian Tambahan Untuk SCT 013 (Sensor Arus)

Jika *output* sudah berupa tegangan maka sensor arus SCT 013-000 sudah dapat di pasang ke Arduino, dengan memakai 3 pin yaitu VCC (5V), Data (Pin A1) dan GND.

Sebelum sensor SCT013-000 digunakan untuk membaca nilai arus, diperlukan kalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi bertujuan untuk menyamakan nilai pembacaan alat ukur dengan nilai pembacaan arduino apakah nilai arus yang terukur oleh sensor sudah sesuai dengan alat ukur Tang Ampere dan menambah ketelitian dari sensor tersebut.



Gambar 4.3 Proses Kalibrasi SCT 013 (Sensor Arus)
Program untuk Proses Kalibrasi SCT 013 (Sensor Arus)

```
void deteksiArus() {
    Imax = emonS.calcIrms(5920); // perhitungan
    arus maksimum AC peak to peak 1480
    Irms = Imax; // perhitungan pembacaan arus
    maksimum ke arus rata-rata
    CalibrasiIrmsOut = (sqrt((Irms-0.16)*(Irms-
    0.16)));
    Serial.println(CalibrasiIrmsOut);
    Iukur = CalibrasiIrms;
    lcd.setCursor(0, 0);
}
```

```
    lcd.print("I:");
    if (CalibrasiIrmsOut<=0.05){
        CalibrasiIrms=0;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
        lcd.print(" ");
    }
    else if ((CalibrasiIrmsOut>0.05) and
    (CalibrasiIrmsOut<=0.15)){
        CalibrasiIrms=CalibrasiIrmsOut*1.27;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
        lcd.print(" ");
    }
    else if ((CalibrasiIrmsOut>0.15) and
    (CalibrasiIrmsOut<=0.3)){
        CalibrasiIrms=CalibrasiIrmsOut*0.8;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
        lcd.print(" ");
    }
    else if ((CalibrasiIrmsOut>0.3) and
    (CalibrasiIrmsOut<=0.4)){
        CalibrasiIrms=CalibrasiIrmsOut*0.78;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
        lcd.print(" ");
    }
    else if ((CalibrasiIrmsOut>0.4) and
    (CalibrasiIrmsOut<=0.8)){
        CalibrasiIrms=CalibrasiIrmsOut*0.69;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
        lcd.print(" ");
    }
    else if ((CalibrasiIrmsOut>0.8) and
    (CalibrasiIrmsOut<=1)){
        CalibrasiIrms=CalibrasiIrmsOut*0.68;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
        lcd.print(" ");
    }
    else if (CalibrasiIrmsOut>1){
        CalibrasiIrms=CalibrasiIrmsOut*0.65;
        lcd.print(CalibrasiIrms);
    }
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("A");
}
```

C. Data Hasil Pengujian Instantaneous

Pada metode pengujian ini, digunakan sebuah alat peraga berupa beban resistive dengan beban R, tang ampere merk HIOKI tipe 3286-20 sebagai parameter pengukuran arus, dan trafo arus tipe SCT 013-000 sebagai sensor arus perangkat arduino. Pada pengujian instantanouse hanya bdigunakan satu kali pengujian, dengan beban melebihi Isetting, dan kemudia dibandingkan arus terbaca dari arduino dengan tang ampere, dan didapatkan nominal pembacaan arus pada perangkat uji alat skripsi yang mendekati arus terbaca pada tang ampere. Berikut gambar hasil pengujian metode instantanouse.



Gambar 4.4 OCR Karakteristik *Instantaneous* kondisi Tanpa Beban



Gambar 4.5 OCR Karakteristik *Instantaneous* Kondisi Arus Lebih

Pada percobaan diatas, didapatkan apabila arus terbaca melebihi arus setting dari alat uji, maka relay sebagai output aktuator dari perangkat uji mengalami trip, dan percobaan instantanouse dianggap telah sesuai dengan hasil yang diharapkan. Berikut tabel hasil pengujian pembacaan arus perangkat uji dengan tang ampere dan kode program instantanouse berikut di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Alat Karakteristik Instantanouse Jika arus > Isetting t -1 detik

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	I ukur Tang Ampere
R0	0,5	0,00	0,00
R1		0,75	0,75

Kode program *Instantaneous* sebagai berikut :

```
void instantanous()
{
  Iset=outputValue/100;
  if (Iukur<=Iset){
    m=0;
    n=0;
  }
  else{
    digitalWrite(relayPin, HIGH);
    m=0;
    n=0;
  }
}
```

}
D. Data Hasil Pengujian Definit Time

Pada metode pengujian ini, digunakan sebuah alat peraga berupa beban resistive dengan beban R, tang ampere merk HIOKI tipe 3286-20 sebagai parameter pengukuran arus, dan trafo arus tipe SCT 013-000 sebagai sensor arus perangkat arduino. Pada pengujian definite time hanya digunakan tiga kali pengujian, dengan beban R1, R2, R3 yang telah disetting melebihi Isetting, dan kemudia dibandingkan arus terbaca dari arduino dengan tang ampere, dan didapatkan nominal pembacaan arus pada perangkat uji alat skripsi yang mendekati arus terbaca pada tang ampere. Berikut hasil pengujian metode definite time



Gambar 4.6 OCR Karakteristik *Definite Time* Kondisi Tanpa Beban



Gambar 4.6 OCR Karakteristik *Definite Time* Beban R1



Gambar 4.7 OCR Karakteristik *Definite Time* Beban R2



Gambar 4.8 OCR Karakteristik *Definite Time* Beban R3

Pada percobaan diatas, didapatkan apabila arus terbaca melebihi arus setting dari alat uji, maka relay sebagai output aktuatur dari perangkat uji mengalami trip dengan waktu yang telah didefinisikan dengan periode waktu sebesar 10 detik, pada percobaan diatas membuktikan alat uji mampu memutus daya listrik terhadap beban apabila melampaui batas I setting dari perangkat uji, dan percobaan definite time dianggap telah sesuai dengan hasil yang diharapkan. Berikut tabel hasil pengujian pembacaan arus perangkat uji dengan tang ampere dan kode program definite time.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Alat Karakteristik *Definite Time*

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	tm (Detik)	t Alat(Detik)	I ukur Tang Ampere
R1	0,5	0,75	10,69	10	0,75
R2		1,06	10,54	10	1,04
R3		1,46	10,53	10	1,45

Kode program *Definit Time* sebagai berikut :

```

void definitTime()
{
    t=10;
    timer1();
}

void normalInverse()
{
    // deklarasi parameter
    float alpha=0.02;
    float beta=0.14;
    float k=0.5; // Time multiplier

    // deklarasi persamaan
    t; //waktu operasi(S)
    Iset=outputValue/100; //arus setting(A)
    //long Iukur=CalibrasiIrms; //arus terukur(A)
    //Iukur=0.77;

    // persamaan inverse
    t=(k*beta)/((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
    //t=((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
    //Serial.println(t);
    //while(1);
    timer2();
}
    
```

}

Dari hasil perbandingan waktu diatas, didapatkan suatu selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan tm (Waktu Stopwatch), brikut tabel selisi pembacaan:

$$\% \text{ Selisi} = \frac{\text{Hasil Pengujian Setting Prangkat Uji} - \text{tm (Waktu Stopwatch)}}{\text{tm (Waktu Stopwatch)}} \times 100 \%$$

Tabel 4.3 Selisi Waktu Pengujian Alat dengan tm (Waktu Stopwatch)

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	tm (Detik)	t Alat(Detik)	Tang Ampere	Selis %
R1	0,5	0,75	10,69	10	0,75	6,6 %
R2		1,06	10,54	10	1,04	5,4 %
R3		1,46	10,53	10	1,45	5,3 %
Rata-Rata						5,7 %

Dari hasil perbandingan waktu diatas, didapatkan suatu selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan perhitungan manual, rata-rata selisi (5,7%).

E. Hasil Data Normaly Inverse

Pada metode pengujian ini, digunakan sebuah alat peraga berupa beban resistive dengan beban R, tang ampere merk HIOKI tipe 3286-20 sebagai parameter pengukuran arus, dan trafo arus tipe SCT 013-000 sebagai sensor arus perangkat arduino. Pada pengujian definite time hanya digunakan tiga kali pengujian, dengan beban R1, R2, R3 yang telah disetting melebihi Isetting, dan kemudia dibandingkan arus terbaca dari arduino dengan tang ampere, dan didapatkan nominal pembacaan arus pada perangkat uji alat skripsi yang mendekati arus terbaca pada tang ampere. Berikut hasil pengujian metode *Normaly Inverse*



Gambar 4.9 OCR Karakteristik *Normaly Inverse* Kondisi Tanpa Beban



Gambar 4.10 OCR Karakteristik *Normaly Inverse* Beban R1



Gambar 4.11 OCR Karakteristik *Normaly Inverse* Beban R2



Gambar 4.12 OCR Karakteristik *Normaly Inverse* Beban 3R

Pada percobaan diatas, didapatkan apabila arus terbaca melebihi arus setting dari alat uji, maka relay sebagai output aktuator dari perangkat uji mengalami trip dengan waktu yang telah dihitung secara matematis oleh perangkat uji sesuai dengan persamaan pada **Tabel 2.1**, pada percobaan diatas membuktikan alat uji mampu memutus daya listrik terhadap beban apabila melampaui batas I setting dari perangkat uji, dan percobaan *Normaly Inverse* dianggap telah sesuai dengan hasil yang diharapkan. Berikut tabel hasil pengujian pembacaan arus perangkat uji dengan tang ampere.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Alat Karakteristik *Normaly Inverse*

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	tm (Detik)	t Alat(Detik)	I ukur Tang Ampere
R1	0,5	0,71	10,67	10,16	0,74
R2		1,00	5,29	5,05	1,02
R3		1,44	3,26	3,28	1,44

Kode program *Normaly Inverse* sebagai berikut :

```
void normalInverse()
{
// deklarasi parameter
float alpha=0.02;
float beta=0.14;
float k=0.5; // Time multiplier

// deklarasi persamaan
t; //waktu operasi(S)
```

```
Iset=outputValue/100; //arus setting(A)
//long Iukur=CalibrasiIrms; //arus terukur(A)
//Iukur=0.77;

// persamaan inverse
t=(k*beta)/((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
//t=((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
//Serial.println(t);
//while(1);
timer2();
}
```

Pada tabel diatas didapatkan besaran nilai arus terukur pada tang ampere dan perangkat uji. Berdasarkan persamaan **Tabel 2.1** kemudia dilakukan suatu perhitungan manual, yang kemudia akan dibandingkan dengan waktu trip perhitungan manual dan waktu trip yang direkam oleh perangkat uji, dngan menggunakan parameter perhitungan dengan besaran sebagai berikut:

- Alpha (α) : 0,002
- Beta (β) : 0,14
- K : 0,5
- I_> : 0,5

Perhitungan percobaan 1 dengan I ukur = 0,71

$$t_c (s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{0,5 \times 0,14}{\left(\frac{0,71}{0,5}\right)^{0,002} - 1} = 9,94 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 2 dengan I ukur= 1,00

$$t_c (s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{0,5 \times 0,14}{\left(\frac{1,00}{0,5}\right)^{0,002} - 1} = 5,01 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 3 dengan I ukur= 1,44

$$t_c (s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{0,5 \times 0,14}{\left(\frac{1,44}{0,5}\right)^{0,002} - 1} = 3,27 \text{ Detik}$$

Berikut hasil perbandingan waktu trip alat uji dengan perhitungan manual:

$$\% \text{ Selisi} = \frac{\text{Hasil Pengujian Seting Prangkat Uji} - t \text{ Perhitungan manual}}{t \text{ Perhitungan manual}} \times 100 \%$$

Tabel 4.5 Perbandingan Selisi Waktu Perhitungan Prangkat Uji Dengan Perhitungan Manual.

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	t Alat(Detik)	t Manual	Selisi %
R1	0,5	0,71	10,16	9,94	2,21 %
R2		1,00	5,05	5,01	0,79 %
R3		1,44	3,28	3,27	0,3 %
Rata-Rata					1,1%

Dari hasil perbandingan waktu diatas, didapatkan suatu selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan perhitungan manual, rata-rata selisi (1,1%).

F. Data Hasil Pengujian Very Inverse

Pada metode pengujian ini, digunakan sebuah alat peraga berupa beban resistive dengan beban R, tang ampere merk HIOKI tipe 3286-20 sebagai parameter pengukuran arus, dan trafo arus

tipe SCT 013-000 sebagai sensor arus perangkat arduino. Pada pengujian definite time hanya digunakan tiga kali pengujian, dengan beban R1, R2, R3 yang telah disetting melebihi Isetting, dan kemudia dibandingkan arus terbaca dari arduino dengan tang ampere, dan didapatkan nominal pembacaan arus pada perangkat uji alat skripsi yang mendekati arus terbaca pada tang ampere. Berikut hasil pengujian metode *Very Inverse*.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Alat Karakteristik *Very Inverse*

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	tm (Detik)	t Alat(Detik)	I ukur Tang Ampere
R1	0,5	0,70	16,53	16,03	0,75
R2		1,01	6,04	6,64	1,02
R3		1,45	3,80	3,57	1,44

Kode program *Very Inverse* sebagai berikut :

```
void veryInverse()
{
  // deklarasi parameter
  float alpha=1.0;
  float beta=13.5;
  float k=0.5; // Time multiplier

  // deklarasi persamaan
  t; //waktu operasi(S)
  Iset=outputValue/100; //arus setting(A)
  //long Iukur=CalibrasiIrms; //arus terukur(A)
  //Iukur=0.77;

  // persamaan inverse
  t=(k*beta)/((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
  //t=((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
  //Serial.println(t);
  //while(1);
  timer2();
}
```

Pada tabel diatas didapatkan besaran nilai arus terukur pada tang ampere dan perangkat uji. Berdasarkan persamaan **Tabel 2.1** kemudia dilakukan suatu perhitungan manual, yang kemudia akan dibandingkan dengan waktu trip perhitungan manual dan waktu trip yang direkam oleh perangkat uji, dnngan menggunakan parameter perhitungan dengan besaran sebagai berikut:

Alpha (α) : 1,0
Beta (β) : 13,5
K : 0,5
 $I_{>}$: 0,5

Perhitungan percobaan 1 dengan I ukur = 0,70

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 13,5}{\left(\frac{0,70}{0,5}\right)^1 - 1} = 16,87 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 2 dengan I ukur= 1,01

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 13,5}{\left(\frac{1,01}{0,5}\right)^1 - 1} = 6,61 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 3 dengan I ukur= 1,45

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 13,5}{\left(\frac{1,45}{0,5}\right)^1 - 1} = 3,55 \text{ Detik}$$

Berikut hasil perbandingan waktu trip alat uji dengan perhitungan manual:

$$\% \text{ Selisi} = \frac{\text{Hasil Pengujian Setting Prangkat Uji} - t \text{ Perhitungan manual}}{t \text{ Perhitungan manual}} \times 100 \%$$

Tabel 4.7 Perbandingan Selisi Waktu Perhitungan Prangkat Uji Dengan Perhitungan Manual.

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	t Alat(Detik)	t Manual	Selisi %
R1	0,5	0,70	16,03	16,87	5,24 %
R2		1,01	6,61	6,61	0,45 %
R3		1,45	3,55	3,55	0,56 %
Rata-Rata					2,08%

Dari hasil perbandingan waktu diatas, didapatkan suatu selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan perhitungan manual, rata-rata selisi (2,08 %).

G. Data Hasil Pengujian *Xtremely Inverse*

Pada metode pengujian ini, digunakan sebuah alat peraga berupa beban resistive dengan beban R, tang ampere merk HIOKI tipe 3286-20 sebagai parameter pengukuran arus, dan trafo arus tipe SCT 013-000 sebagai sensor arus perangkat arduino. Pada pengujian definite time hanya digunakan tiga kali pengujian, dengan beban R1, R2, R3 yang telah disetting melebihi Isetting, dan kemudia dibandingkan arus terbaca dari arduino dengan tang ampere, dan didapatkan nominal pembacaan arus pada perangkat uji alat skripsi yang mendekati arus terbaca pada tang ampere. Berikut hasil pengujian metode *Extremely Inverse*.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Alat Karakteristik *Xtremely Inverse*

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	tm (Detik)	t Alat(Detik)	I ukur Tang Ampere
R1	0,5	0,71	40,71	41,01	0,74
R2		1,02	13,09	12,85	1,03
R3		1,45	5,81	5,37	1,44

Kode program *Extremely Inverse* sebagai berikut :

```
void extremelyInverse()
{
  // deklarasi parameter
  float alpha=2.0;
  float beta=80;
  float k=0.5; // Time multiplier

  // deklarasi persamaan
  t; //waktu operasi(S)
  Iset=outputValue/100; //arus setting(A)
  //long Iukur=CalibrasiIrms; //arus terukur(A)
  //Iukur=0.77;

  // persamaan inverse
  t=(k*beta)/((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
  //t=((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
}
```

```
//Serial.println(t);
//while(1);
timer2();
}
```

Pada tabel diatas didapatkan besaran nilai arus terukur pada tang ampere dan perangkat uji. Berdasarkan persamaan **Tabel 2.1** kemudia dilakukan suatu perhitungan manual, yang kemudia akan dibandingkan dengan waktu trip perhitungan manual dan waktu trip yang direkam oleh perangkat uji, dngan menggunakan parameter perhitungan dengan besaran sebagai berikut:

Alpha (α) : 2,0
Beta (β) : 80,0
K : 0,5
 I_s : 0,5

Perhitungan percobaan 1 dengan I ukur = 0,71

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 80,0}{\left(\frac{0,71}{0,5}\right)^{2,0} - 1} = 39,35 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 2 dengan I ukur= 1,02

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 80,0}{\left(\frac{1,02}{0,5}\right)^{2,0} - 1} = 12,65 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 3 dengan I ukur= 1,45

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 80,0}{\left(\frac{1,45}{0,5}\right)^{2,0} - 1} = 5,39 \text{ Detik}$$

Berikut hasil perbandingan waktu trip alat uji dengan perhitungan manual:

$$\% \text{ Selisi} = \frac{\text{Hasil Pengujian Seting Prangkat Uji} - t \text{ Perhitungan manual}}{t \text{ Perhitungan manual}} \times 100 \%$$

Tabel 4.7 Perbandingan Selisi Waktu Perhitungan Prangkat Uji Dengan Perhitungan Manual.

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	t Alat(Detik)	t Manual	Selisi %
R1	0,5	0,71	41,01	39,35	4,21 %
R2		1,02	12,85	12,65	1,58 %
R3		1,45	5,37	5,39	0,37 %
Rata-Rata					2,05%

Dari hasil perbandingan waktu diatas, didapatkan suatu selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan perhitungan manual, rata-rata selisi (2,05 %).

H. Data Hasil Pengujian Long Time Inverse

Pada metode pengujian ini, digunakan sebuah alat peraga berupa beban resistive dengan beban R, tang ampere merk HIOKI tipe 3286-20 sebagai parameter pengukuran arus, dan trafo arus tipe SCT 013-000 sebagai sensor arus perangkat arduino. Pada pengujian definite time hanya digunakan tiga kali pengujian, dengan beban R1, R2, R3 yang telah disetting melebihi I setting, dan kemudia dibandingkan arus terbaca dari arduino dengan tang ampere, dan didapatkan nominal pembacaan arus pada perangkat uji alat skripsi yang mendekati arus terbaca pada tang ampere. Berikut hasil pengujian metode Long Time Inverse.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Alat Karakteristik Long Time Inverse.

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	tm (Detik)	t Alat(Detik)	I ukur Tang Ampere
R1	0,5	0,71	143,64	141,2	0,75
R2		1,02	58,80	58,00	1,04
R3		1,45	32,76	31,27	1,45

Kode program *Extremely Inverse* sebagai berikut :

```
void long_timeInverse()
```

```
{
// deklarasi parameter
float alpha=1.0;
float beta=120;
float k=0.5; // Time multiplier

// deklarasi persamaan
t; //waktu operasi(S)
Iset=outputValue/100; //arus setting(A)
//long Iukur=CalibrasiIrms; //arus terukur(A)
//Iukur=0.77;

// persamaan inverse
t=(k*beta)/((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
//t=((pow((Iukur/Iset),alpha))-1);
//Serial.println(t);
//while(1);
timer2();
}
```

Pada tabel diatas didapatkan besaran nilai arus terukur pada tang ampere dan perangkat uji. Berdasarkan persamaan **Tabel 2.1** kemudia dilakukan suatu perhitungan manual, yang kemudia akan dibandingkan dengan waktu trip perhitungan manual dan waktu trip yang direkam oleh perangkat uji, dngan menggunakan parameter perhitungan dengan besaran sebagai berikut:

Alpha (α) : 1,0
Beta (β) : 120,0
K : 0,5
 I_s : 0,5

Perhitungan percobaan 1 dengan I ukur = 0,71

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 120,0}{\left(\frac{0,71}{0,5}\right)^{1,0} - 1} = 142,85 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 2 dengan I ukur= 1,02

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 120,0}{\left(\frac{1,02}{0,5}\right)^{1,0} - 1} = 57,69 \text{ Detik}$$

Perhitungan percobaan 3 dengan I ukur= 1,45

$$t_c(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,5 \times 120,0}{\left(\frac{1,45}{0,5}\right)^{1,0} - 1} = 31,57 \text{ Detik}$$

Berikut hasil perbandingan waktu trip alat uji dengan perhitungan manual:

$$\% \text{ Selisi} = \frac{\text{Hasil Pengujian Seting Prangkat Uji} - t \text{ Perhitungan manual}}{t \text{ Perhitungan manual}} \times 100 \%$$

Tabel 4.11 Perbandingan Selisi Waktu Perhitungan Prangkat Uji Dengan Perhitungan Manual.

Posisi Beban (R)	I set	I ukur alat	t Alat(Detik)	t Manual	Selisi %
R1	0,5	0,71	141,2	141,85	0,46%
R2		1,02	58,00	57,69	0,53%
R3		1,45	31,27	31,57	0,95%
Rata-Rata					0,64%

Dari hasil perbandingan waktu diatas, didapatkan suatu selisih kesalahan perhitungan waktu trip oleh perangkat uji dengan perhitungan manual, rata-rata selisi (0,64 %).

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perancangan, pengujian, dan analisa sistem, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kinerja dari over current relay menggunakan kontrol arduino dengan sensor SCT-013 dibandingkan dengan perhitungan manual didapatkan selisih waktu trip sebesar 2,27%.
2. Selisih pembacaan arus dan perhitungan waktu trip alat uji skripsi dikarenakan sifat sensor tidak linier untuk pembacaan dibawah 0,5A dan dilakukan beberapa kalibrasi hingga mendekati pembacaan sesuai dengan tang ampere sebagai parameter kalibrasi.

B. SARAN

Pada pembuatan skripsi ini tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kesalahan baik dari perancangan sistem maupun peralatan yang telah penulis buat, maka dari itu agar sistem dapat menjadi lebih baik maka dapat dikembangkan lebih sempurna, saran dari penulis yaitu sebagai berikut :

1. Penulis berharap *prototype* alat *Over Current Relay* proteksi arus gangguan hubung singkat dan arus lebih pada jaringan distribusi dapat dikembangkan untuk skala yang lebih besar dengan cara melakukan tinjauan langsung dan melakukan riset serta pengembangan pada sistem 20 kV yang sesungguhnya.
2. Dengan adanya alat Proteksi arus gangguan hubung singkat Dan arus lebih ini, pelayan distribusi dapat meningkatkan keamanan peralatan listrik dan ke handalan.
3. Alat proteksi arus gangguan hubung singkat dan arus lebih ini perlu dikembangkan lagi untuk kedepannya , misalnya dengan penambahan sistem Wireless, SMS dan GPS.
4. Pada pengembangan alat kali ini mode proteksi hanyadi kembangkan untuk mode satu fasa dan dapat dikembangkan lagi untuk tiga fasa.

REFERENSI

- [1] Almanda Deni, Yusu Habil. Perancangan *Prototype* Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrokontroller. Universitas Muhammadiyah Jakarta
- [2] Kshirsagar. V Gayatri, Mulay. N.G, Yeolekar Saket. 2014 *TMS320F28335 Based Single Phase Overcurrent Protection Implementation Using Numerical Relay*. Maharashtra Institute of Technology,pune .India. IEEE
- [3] Laksono Dibyo Heru, Dibyo M. Nasir. 2007 *PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI RELAY ARUS LEBIH SESAAT BERBASIS MICROCONTROLLER*. Univeristas Andalas Padang. Sumatera Barat
- [4] Mario, Lapanporo P. Boni, Muliadi *Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitorin Penggunaan Daya Listrik*. Universitas Tanjungpura
- [5] RAHMAN JUM'ATUR. 2017 *RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI ARUS LEBIH DAN TEMPERATUR PADA MOTOR INDUKSI 1 FASA BERBASIS ARDUINO UNO*. Politeknik Negri Padang
- [6] SYAHRIAL, TIRZA NOVA. 2013 Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan "X ". Institut Teknologi Nasional Bandung
- [7] Prayogo Hadi, Gusmedi Herri, Raharjo Yulliarito. 2014 *Prototype* Proteksi Arus Lebih Menggunakan Current Transformer Berbasis Mikrokontroller Atmega32. Universitas Lampung
- [8] Zoni Mirza, Cahaya hati. 2012 *PERANCANGAN RELE ARUS LEBIH DENGAN KARAKTERISTIK INVERS BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8535*. Universitas Bung Hata