

PROTOTYPE RELAI DETEKSI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU FASA DAN BEBAN LEBIH PADA TRANSFORMATOR DAYA BERBASIS ARDUINO

Yusril Izza Muhammad

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : yusrilizza33@gmail.com

Achmad Imam Agung

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : imamagung@yahoo.com

Abstrak

Perlindungan terhadap transformator diperlukan untuk menghindarkan transformator dari kerusakan akibat gangguan. Berdasarkan studi yang telah dilakukan EPRI (Burke and Lawrance, 1984) bahwa hampir 80 persen dari 222 rekaman gangguan pada suplai daya listrik distribusi terlibat gangguan satu fasa dengan detail presentasi gangguan satu fasa ke netral sebesar 63%. Disisi lain gangguan eksternal beban lebih pada transformator merupakan salah satu gangguan yang juga perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan prototipe relai arus lebih dan deteksi gangguan. Jenis penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Perancangan prototipe relai arus lebih dapat memantau arus listrik primer dan sekunder transformator satu fasa pada kondisi normal, dapat menampilkan jenis gangguan dan melindungi transformator dari gangguan berupa beban lebih dan hubung singkat fasa ke netral pada primer dan sekunder transformator. Dilengkapi indikator gangguan berupa *buzzer* dan LED pada sisi primer dan sekunder transformator. Hubung singkat fasa ke netral diuji coba menggunakan perantara resistor sedangkan beban lebih diuji coba menggunakan lampu pijar. Pada sisi sekunder relai arus lebih menggunakan standart IEEE Moderatly Inverse didapat *Multiple Setting* (TDM) 0,00968 detik dengan *setting* arus *pickup* 1,35A, dan arus *pickup* pada kondisi *high setting (instantaneous)* yaitu 1,6A, sedangkan pada sisi primer arus *pickup* pada kondisi *high setting (instantaneous)* yaitu 1,83A. Dari pengujian prototipe didapat hasil terdeteksi gangguan beban lebih pada arus sekunder 1,53A dengan *delay* pemutusan 0,2 detik, terdeteksi gangguan hubung singkat sekunder pada arus sekunder 1,86 A tanpa *delay* pemutusan dan terdeteksi gangguan hubung singkat primer pada arus primer 2,07 A tanpa *delay* pemutusan.

Kata Kunci : *Proteksi Transformator, Prototipe relai arus lebih, Deteksi Gangguan Listrik.*

Abstract

Protection against transformers is needed to avoid transformers from damage caused by interference. Based on studies conducted by EPRI (Burke and Lawrance, 1984) that nearly 80 percent of 222 recorded disturbances in the electrical power supply distribution involved a single-phase disturbance with details of one-phase to neutral interference with 63%. On the other hand, external interference overload on a transformer is one problem that also needs attention. The study aims to produce a prototype overcurrent relay and interference detection. The type of scientific research uses experimental research method. Designing prototypes relay overcurrent can monitor electrical current at primary and secondary transformer on normal conditions, can display the type of disorder and protect transformer from disturbances such as overload and short circuit phase to neutral at primary and secondary transformer. Equipped with buzzer and LED interference indicators on primary and secondary transformer. short circuit one phase to neutral is tested using an intermediate resistor while overload is tested using incandescent lamps. On secondary side, Overcurrent relay using a standard IEEE Moderately Inverse obtained multiple setting (TDM) 0,00968 seconds with pickup current setting is 1,35A, and pickup current on high setting condition (instantaneous) is 1,6A, while on primary side, pickup current on high setting condition (instantaneous) is 1,83A. Prototype test result obtained from overload fault is detected in secondary current of 1,53A with a disconnection delay 0.2 seconds, short circuit fault on transformer secondary is detected in a secondary current of 1.86 A without a disconnection delay and short circuit fault on transformer primary is detected in a primary current of 2.07 A without disconnection delay.

Keywords: *Transformer Protection, Overcurrent Relay Prototype, Electrical Fault Detector.*

PENDAHULUAN

Sektor kelistrikan mempunyai peran penting dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan tersebut salah satunya berupa

perkembangan berbagai macam industri sehingga menciptakan peluang kerja masyarakat untuk meningkatkan kesejahteraan. Seperti studi yang dilakukan Latif Adam (2016), menyimpulkan peran

listrik tidak hanya sebatas sebagai sarana produksi untuk memfasilitasi pembangunan sektor-sektor ekonomi lainnya (seperti industri pengolahan, pertanian, pertambangan, pendidikan, dan kesehatan), tetapi juga sebagai faktor yang bisa menyukseskan kebutuhan sosial masyarakat sehari-hari.

Pada era industri modern saat ini, suplai kelistrikan pada industri perlu diperhatikan untuk menjaga kontinuitas kerja sistem di industri karena sebagian besar mesin industri membutuhkan sumber energi listrik. Sehingga perlunya transformator sebagai media penyalur energi listrik pada industri.

Transformator adalah perangkat elektromagnetik yang mentransfer energi listrik dari belitan primer ke belitan sekunder melalui induktansi. Transformator merupakan salah satu perangkat yang penting dalam sistem tenaga listrik yang membutuhkan sedikit pemeliharaan. Dengan transformator memungkinkan suatu perusahaan pembangkit listrik untuk memasok energi listrik dari jarak jauh ke konsumen (Shultz, 1989:3). Transformator adalah alat penting dalam penyaluran energi listrik di era modern ini. sehingga diperlukan sistem proteksi untuk mencegah kerusakan transformator dari gangguan yang terjadi.

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan kesalahan yang terjadi dalam rangkaian listrik yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal (Stevenson, 1983: 7).

Gangguan dapat juga terjadi pada transformator, salah satu gangguan yang terjadi adalah gangguan eksternal. Gangguan tersebut dapat berupa beban lebih dan gangguan hubung singkat (Pandjaitan, 2012: 308-311).

Gangguan arus listrik berupa hubung singkat perlu diperhatikan untuk menjaga kestabilan sistem. Definisi gangguan hubung singkat yaitu saluran konduktif yang sengaja atau tidak sengaja antara dua atau lebih bagian dari konduktif memaksa beda potensial listrik antara bagian konduktif ini menjadi sama atau mendekati nol (IEC 6090-0, 2001).

Berdasarkan studi yang telah dilakukan EPRI (Burke and Lawrance, 1984) bahwa hampir 80 persen dari 222 rekaman gangguan pada suplai daya listrik distribusi hanya terlibat gangguan satu fasa dengan detail presentasi gangguan satu fasa ke netral sebesar 63%.

Disisi lain gangguan eksternal beban lebih pada transformator merupakan salah satu gangguan yang juga perlu diperhatikan dengan kondisi dimana meningkatnya permintaan penggunaan daya listrik oleh konsumen yang menyebabkan transformator bekerja melebihi nilai arus nominalnya.

Dari penjabaran tersebut pentingnya sistem proteksi arus lebih pada transformator. Sistem proteksi arus lebih telah ada dan digunakan untuk proteksi trafo pada saat ini seperti *over current relay*, sehingga penelitian ini dilakukan percobaan perancangan dan pembuatan prototipe relai arus lebih yang berfungsi sebagai proteksi dan deteksi gangguan arus lebih berupa beban lebih dan hubung singkat pada primer dan sekunder transformator satu fasa, dilengkapi dengan sistem pengukuran arus

listrik pada kondisi normal dan tombol untuk penutup balik pemutus daya.

KAJIAN TEORI

Pengaman Transformator

Pengaman transformator terhadap gangguan umumnya terdiri dari pengaman terhadap gangguan di luar transformator dan pengaman terhadap gangguan di dalam transformator. Gangguan luar pada transformator kemungkinan dapat terjadi karena gangguan di saluran penghantar. Gangguan karena petir merupakan jumlah gangguan yang tinggi, yang dapat menyambar saluran udara kemudian menjalar menuju transformator tetapi terlebih dahulu gelombang petir tersebut direkam oleh *lightning arrester*. Apabila *lightning arrester* bekerja kurang sempurna maka gelombang petir tersebut bisa lebih besar yang menuju ke transformator yang mengakibatkan gangguan didalam transformator berupa hubung singkat didalam lilitan transformator. Gangguan internal yang juga dapat terjadi adalah beban lebih sehingga beberapa transformator memiliki rele proteksi termis yang mensimulasikan arus listrik ke suhu untuk mengamankan transformator dari gangguan tersebut (Marsudi, 2006: 360-361).

Relai Proteksi

Menurut Samaullah (2004: 1-3) "Rele proteksi adalah susunan peralatan yang dirancang untuk dapat merasakan adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga melalui suplai tegangan baterai, untuk memisah peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya dengan besaran yang telah ditentukan kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga."

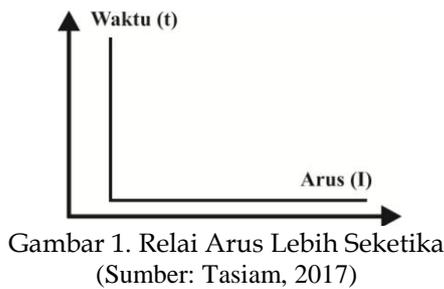
Relai Arus Lebih

Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya melebihi nilai setting, dengan bantuan trafo arus pada suatu jaringan. Dengan tujuan agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, maka proteksi relai arus lebih harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan (Tasiam, 2017: 174). Terdapat 3 macam jenis berdasarkan waktu kerjanya.

1. Relai Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

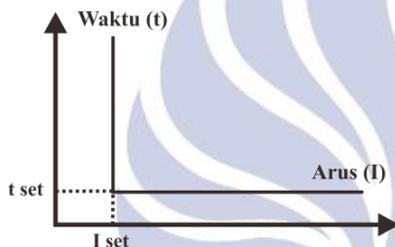
Relai arus lebih jenis ini merupakan jenis yang paling sederhana karena tanpa adanya penundaan waktu dimana jangka waktu kerja relai mulai dari pick-up sampai selesai sangat singkat yaitu sekitar 20 \approx 100 mili detik (Tasiam, 2017: 175). Pada gambar 1

menunjukkan kurva karakteristik relai arus lebih seketika (*instantaneus*).



2. Relai Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Relai arus lebih jenis ini memiliki jangka waktu kerja mulai pick-up sampai selesai kerja relai dapat diperpanjang dengan waktu tertentu. Dan tidak bergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (Tasiyam, 2017: 177). Pada gambar 2 menunjukkan kurva karakteristik relai arus lebih waktu tertentu (*definite time*).



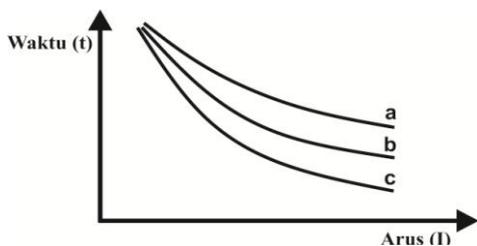
3. Relai Arus Lebih Berbanding Terbalik (*inverse*)

Relai arus lebih jenis ini memiliki jangka waktu kerja berdasarkan besar arus listrik dimana relai mulai pick-up sampai dengan selesai kerja relai bergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relainya (Tasiyam, 2017: 178). Pada gambar 3 bentuk kurva.

Relai arus lebih berbanding terbalik dapat digolongkan menjadi 3 golongan sebagai berikut :

- Berbanding terbalik biasa (*inverse*)
- Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
- Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)

Tasiyam, 2017: 179).



Arduino Mega

Arduino dapat digunakan sebagai kontrol pada suatu alat dengan kemampuan memproses pemrograman yang

telah dimasukan melalui *software IDE* dan menghasilkan *output* sesuai dengan perintah pada program tersebut (Syahwil, 2013). Pada rancangan ini Arduino Mega digunakan sebagai pengendali pemutus daya SSR (*Solid State Relay*) dan indikator gangguan dari parameter sensor arus YHDC SCT 013. Bentuk fisik pada gambar 4.



Gambar 4. Arduino Mega
(Sumber: www.microchip.lk, 2016)

METODE PENELITIAN

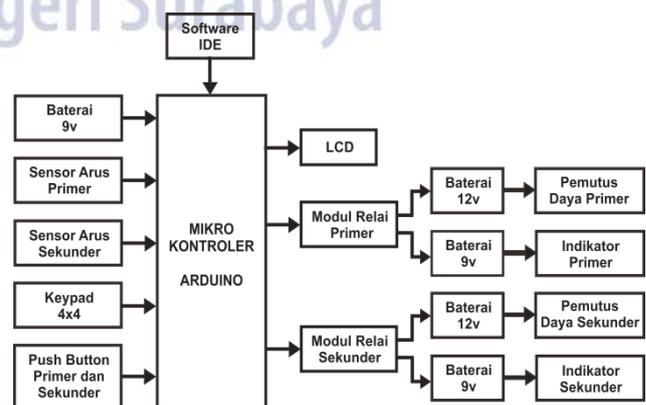
Tahapan Eksperimen

Tahapan eksperimen pada penelitian dilakukan beberapa tahap mulai dari perancangan hingga pengujian. Penjabaran setiap tahap dapat dilihat dibawah ini.

- Rancang sistem, dilakukan rancang sistem prototipe menggunakan mikro kontroler Arduino dan komponen pendukung seperti sensor arus, pemutus daya, *pushbutton* dan indikator berupa LCD dan *buzzer*.
- Rencana desain alat dan komponen, dilakukan desain *box* prototipe yang disesuaikan dengan skema koneksi komponen hardware yang digunakan agar desain prototipe sesuai dengan keinginan.
- Rancang software, dilakukan pembuatan *flowchart* untuk kerja *software IDE* yang menghubungkan Arduino dengan komponen-komponen lain yang digunakan.
- Pengujian *Hardware*, dilakukan pengujian komponen-komponen perangkat keras yang digunakan untuk mengetahui apakah perangkat keras bekerja dengan baik atau tidak agar bisa berlanjut ke tahap berikutnya.
- Pengujian sistem relai, dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem prototipe yang dibuat.

Rancang Sistem

Rancang sistem dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Input Output Arduino
(Sumber: Data Penelitian, 2019)

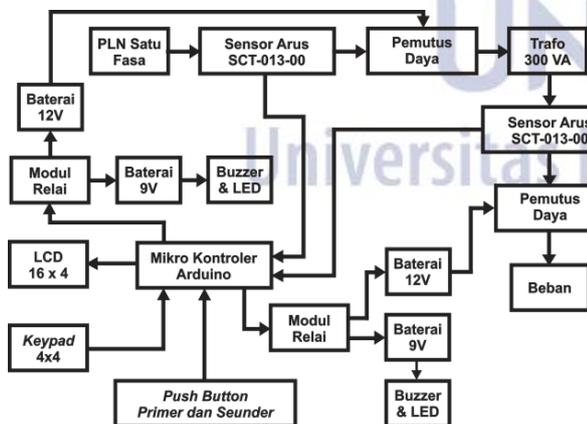
Dari gambar 5, didapat dimana tahap awal dalam penggunaan Arduino dilakukan *input* program melalui software IDE pada komputer yang dihubungkan dengan Arduino melalui kabel penghubung. Sistem menggunakan Arduino untuk memproses input berupa sensor arus YHDC SCT 013-000 pada sisi primer dan sekunder transformator yang digunakan sebagai parameter gangguan arus lebih dan pembacaan arus listrik, keypad 4x4 yang digunakan sebagai input arus *pickup* primer dan sekunder untuk menentukan waktu kerja pemutus daya pada sisi primer ataupun sekunder transformator dan dua *pushbutton* yang digunakan sebagai *switching* modul relai primer dan sekunder.

Sedangkan *output* berupa dua modul relai 5v untuk primer dan sekunder transformator yang berfungsi sebagai *switching*, apabila terdeteksi gangguan maka indikator buzzer dan LED akan terhubung dengan sumber baterai 9V sedangkan pemutus daya *solid state relay* akan terputus dengan sumber baterai 12V, dan LCD berfungsi menampilkan pengukuran arus listrik dan jenis gangguan beban lebih atau hubung singkat.

Modul relai yang terhubung dengan pemutus daya bekerja apabila nilai arus yang terbaca sensor arus SCT sisi primer trafo melebihi batas arus *pickup high setting* sisi primer maka pemutus daya pada sisi primer trafo akan berstatus *normaly open* (NO) dengan waktu seketika sedangkan apabila sensor arus SCT sisi sekunder trafo mendeteksi arus *pickup* karakteristik *inverse* maka pemutus daya pada sisi sekunder berstatus *normaly open* (NO) dengan waktu pemutusan sesuai besar arus gangguan melalui perhitungan karakteristik standart IEEE moderately inverse dan jika nilai arus yang terbaca sensor arus SCT sisi sekunder melebihi batas arus *pickup high setting* sekunder maka pemutus daya pada sisi sekunder akan berstatus *normaly open* (NO) dengan waktu seketika disertai aktifnya indikator.

Rancang Bangun Hardware

Pada Gambar 6 menunjukkan desain blok *hardware*.



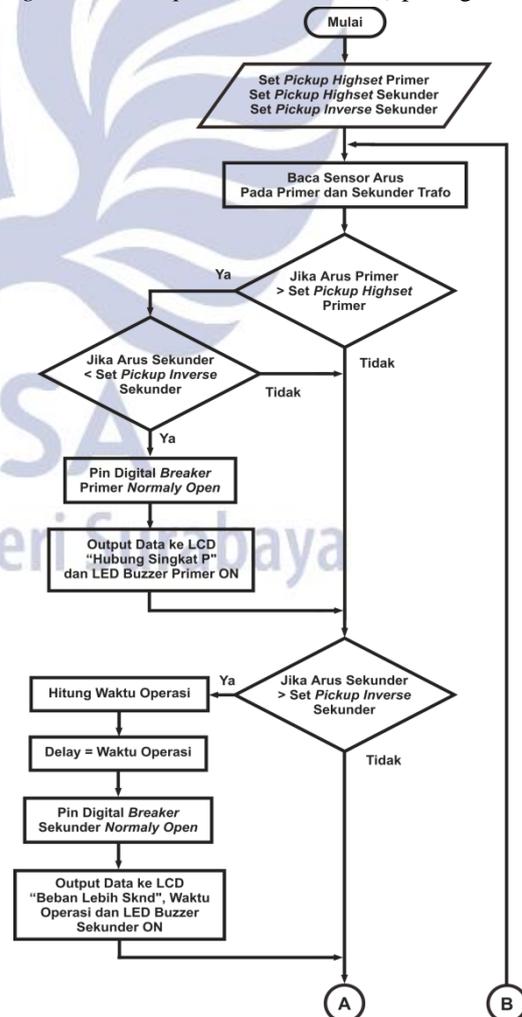
Gambar 8. Desain Blok Hardware (Sumber: Data Penelitian, 2019)

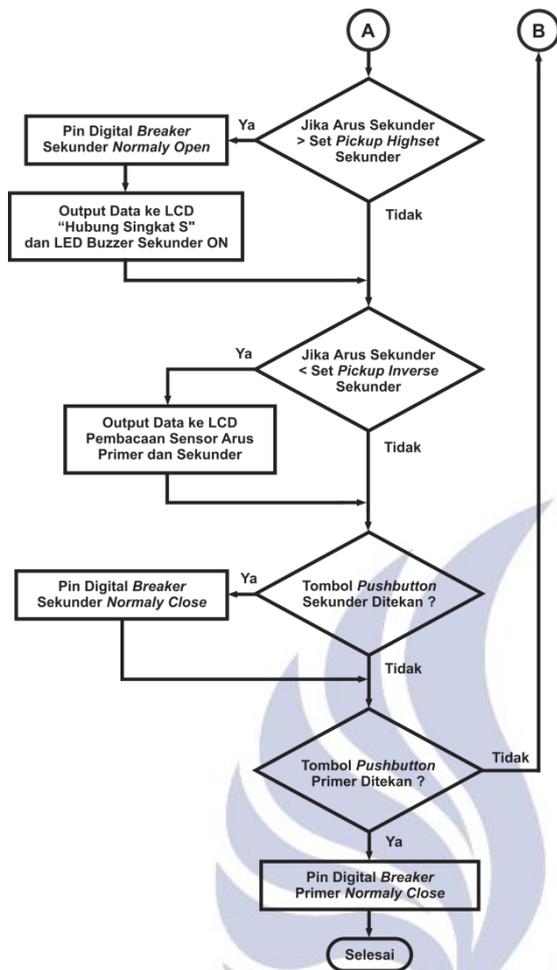
Dari gambar 6 merupakan desain blok *hardware* relai proteksi dan deteksi gangguan arus lebih berupa beban lebih dan hubung singkat. Prinsip kerja relai dan deteksi gangguan menggunakan parameter arus listrik yang telah

diberikan batas arus kerja menggunakan keypad 4x4, pada penelitian nilai arus didapat dari sensor arus YHDC SCT 013-000 pada sisi primer dan sekunder transformator 300VA. Prinsip kerja dari sistem relai ini adalah apabila sensor arus pada sisi primer atau sekunder telah melebihi batas arus *pickup* yang telah ditentukan maka aduino akan memproses inputan dari sensor arus tersebut untuk memberikan sebuah perintah kepada modul relai 5V untuk memutus sumber tegangan 12V pemutus daya SSR (*Solid State Relai*) dan menghubungkan sumber tegangan 9V untuk buzzer dan LED, sehingga pemutus daya akan berstatus *normaly open* (NO) sedangkan indikator gangguan berupa buzzer dan LED akan aktif. sedangkan LCD akan menampilkan status jenis gangguan berdasarkan posisi gangguan dan besar arus gangguan. Apabila gangguan pada sisi sekunder maka pemutus daya sisi sekunder akan berstatus *normaly open* (NO) dan indikator buzzer LED sisi sekunder aktif sedangkan apabila gangguan pada sisi primer maka pemutus daya sisi primer akan berstatus *normaly open* (NO) dan indikator buzzer LED sisi primer aktif. *Pushbutton* primer dan sekunder digunakan untuk mengubah kondisi *normaly open* (NO) ke *normaly close* (NC) pada pemutus daya.

Diagram Flowchart Software Arduino IDE

Flowchart pemrograman software arduino IDE (*Integrated Development Environment*) pada gambar 7.





Gambar 7. Flowchart Arduino IDE (Sumber: Data Penelitian, 2019)

Flowchart tersebut memaparkan perintah Arduino terhadap beberapa kondisi dengan parameter arus listrik dan tombol *pushbutton*, sensor arus pada sisi primer untuk deteksi gangguan primer sedangkan sensor arus pada sisi sekunder untuk deteksi gangguan sekunder.

Parameter arus listrik terlebih dahulu dimasukan menggunakan *keypad* dengan melakukan *setting* arus *pickup highset* primer, *setting* arus *pickup highset* sekunder dan *setting* arus *pickup inverse* sekunder. parameter arus *pickup* tersebut dilakukan pengecekan secara *looping* dengan pengkondisian, jika terdeteksi arus melebihi nilai *setting* arus *pickup* maka indikator aktif dan *breaker* berstatus *normaly open* sesuai letak gangguan.

Pada kondisi tanpa gangguan yaitu arus sekunder dibawah nilai *setting pickup* karakteristik *inverse* maka hasil pengukuran arus oleh snsor YHDC SCT-000 pada sisi primer dan sekunder ditampilkan ke LCD.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Langkah-langkah Pembuatan Prototipe

1. Pembuatan *Box* Prototipe

Hasil pembuatan *box* pada prototipe relai ini berupa *box* panel dan *box* distribusi menggunakan bahan *acrylic* dengan tampilan gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pembuatan *Box* Prototipe (Sumber: Data Penelitian, 2019)

2. Merakit *hardware*

Dalam merakit *hardware*, dilakukan penentuan komponen yang diletakan di *box* panel dan *box* distribusi. Dapat dilihat pada tabel 1 komponen pada prototipe.

Tabel 1. Komponen Prototipe

Komponen	Jumlah	Letak <i>Box</i>
LCD 16x4	1	Panel
Keypad 4x4	1	Panel
<i>Pushbutton</i>	2	Panel
LED	2	Panel
Modul Relai 5V	2	Panel
Rangkaian <i>Power Supply</i>	1	Panel
Rangkaian Pengkondisian Sinyal untuk SCT	2	Panel
Baterai 12V	1	Panel
SSR (<i>solid state relay</i>)	2	Distribusi
Sensor SCT	2	Distribusi
Trafo 300 VA	1	Distribusi
Indikator <i>Buzzer</i> LED	2	Distribusi
Baterai 9V	2	Distribusi
<i>Fitting Lampu</i>	4	Distribusi

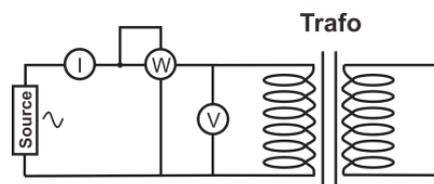
(Sumber: Data Penelitian, 2019)

3. Pengujian *Hardware*

Pengujian Transformator Tranformator yang digunakan dengan *nameplate* sebagai berikut :

- Daya = 300VA
- V_p = 220V
- V_s = 218 V

Pengujian transformator, pertama dilakukan pengujian tanpa beban, skema sesuai gambar 9.

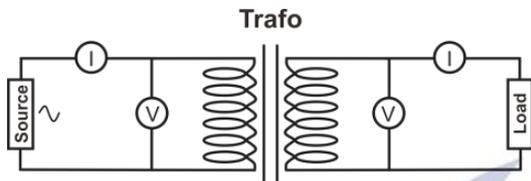


Gambar 9. Skema Pengujian Tanpa Beban (Sumber: Data Penelitian, 2019)

Dari pengujian tanpa beban (*open circuit*) didapat hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{LN} &= 0,08 \text{ A} \\ V_p &= 220 \text{ V} \\ P &= 13 \text{ W} \end{aligned}$$

Sedangkan pengujian beban penuh sesuai *nameplate* 300VA. Skema pengujian sesuai gambar 10.



Gambar 10. Skema Pengujian Tanpa Beban (Sumber: Data Penelitian, 2019)

Pengujian beban penuh didapat hasil data pengujian sisi primer dan sekunder sesuai *nameplate*. Hasil dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Data Pengujian Primer Berbeban (*nameplate*)

Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (VA)
0,44 A	219 V	96,36 VA
0,60 A	219 V	131,4 VA
0,82 A	218 V	178,7 VA
0,98 A	218 V	213,6 VA
1,20 A	217 V	260,4 VA
1,36 A	217 V	295,1 VA

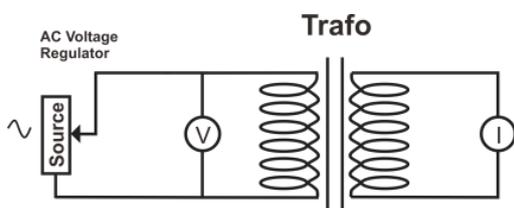
(Sumber: Data Penelitian, 2019)

Tabel 3. Data Pengujian Sekunder Berbeban (*nameplate*)

Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (VA)
0,38 A	213 V	80,94 VA
0,54 A	211 V	113,9 VA
0,77 A	210 V	161,7 VA
0,92 A	208 V	191,4 VA
1,15 A	206 V	236,9 VA
1,30 A	204 V	265,2 VA

(Sumber: Data Penelitian, 2019)

Sedangkan pengujian hubung singkat dilakukan dengan skema sesuai gambar 11.



Gambar 11. Skema Pengujian Hubung Singkat (Sumber: Data Penelitian, 2019)

Dari pengujian hubung singkat tersebut didapat hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_s &= 1,37 \text{ A} \\ V_p &= 18 \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil pengujian transformator dilakukan beberapa perhitungan, untuk mengetahui besar persentase tegangan primer dari nilai tegangan nominal pada pengujian hubung singkat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% V_{hs} = \frac{V_{hs}}{V_p} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

% V_{hs} = Persentase tegangan primer pada saat terjadi hubung singkat

V_{hs} = tegangan uji yang terdeteksi (V)

V_p = tegangan nominal primer (V)

Persentase tegangan primer pada pengujian hubung singkat ini sekitar 5-10% dari tegangan kerja 220V. Berdasarkan persamaan 1 didapat hasil :

$$\% V_{hs} = 8,18 \%$$

Pada uji coba tanpa beban didapat nilai arus primer $I_o = 0,08 \text{ A}$, sehingga rugi besi dapat diabaikan karena rugi besi sangat kecil, dengan nilai daya 13 watt pada tegangan 220 V. Sedangkan nilai efisiensi transformator diambil dari pengujian beban penuh sesuai *nameplate* yaitu 300 VA, Menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

η = Efisiensi trafo

V_s = Tegangan Sekunder (V)

I_s = Arus Sekunder (A)

V_p = Tegangan Primer (V)

I_p = Arus Primer (A)

Berdasarkan persamaan 2 didapat nilai efisiensi sebagai berikut :

$$\eta = 89,86 \%$$

Jika Efisiensi telah didapat, maka rating daya sebenarnya pada transformator dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \eta \times \text{Daya } S \text{ (nameplate)} \quad (3)$$

Dimana :

S = Daya Trafo (VA)

Dimana :

η = Efisiensi trafo

S (*nameplate*) = Daya sesuai *nameplate* trafo (VA)

Berdasarkan persamaan 3 didapat nilai daya semu sebenarnya pada transformator sebagai berikut:

$$S = 269,1 \text{ VA}$$

Hasil perhitungan rating daya tersebut didapat nilai arus pengenal sebenarnya pada transformator sisi primer (220V) dan sekunder (218V), menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_n = \frac{S}{V} \quad (4)$$

Dimana :

I_n = Arus nominal (A)

S = Daya semu transformatory (VA)

V = Tegangan transformator (V)

Berdasarkan persamaan 4 didapat nilai arus pengenal sebenarnya pada transformator sisi primer (220 V) dan sekunder (218 V):

$$I_n (220 \text{ V}) = 1,22 \text{ A}$$

$$I_n (218 \text{ V}) = 1,23 \text{ A}$$

4. Pembuatan Program Arduino

Pembuatan program ditulis menggunakan kode pemrograman pada software IDE (*Integrated Development Environment*) sesuai diagram *flowchart*.

Arus Kerja Relai Arus Lebih

Pada penelitian ini *setting* dari arus kerja relai diatur berdasarkan PUIL 2000 pada bab transformator dan gardu transformator sebagai berikut : bab 5.8 Transformator dan gardu transformator, pasal 5.8.1.9.2 berbunyi :

Transformator kering yang mempunyai gawai proteksi arus lebih pada sambungan sekunder, dengan kemampuan atau setelan tidak lebih dari 125% dari arus sekunder pengenal transformator, tidak perlu mempunyai gawai proteksi arus lebih tersendiri pada sambungan primer, asal gawai proteksi arus lebih dari saluran primer mempunyai kemampuan atau setelan untuk membuka pada suatu harga arus tidak lebih dari 250% dari arus pengenal transformator.

Pada saat gangguan beban lebih terjadi, pembebanan transformator melebihi nilai 110%, maka nilai arus *pickup* relai arus lebih sekunder adalah :

Arus *pickup* relai arus lebih sekunder berbeban :

$$= 1,1 \times \text{Arus pengenal sekunder trafo}$$

$$= 1,1 \times 1,23 \text{ A}$$

$$= 1,35 \text{ A}$$

Dengan arus *pickup* tersebut menggunakan karakteristik IEEE Moderatly Inverse sehingga semakin

besar arus gangguan akan semakin cepat pemutusan daya, maka untuk mempermudah proses kerja sistem prototipe dilakukan penetapan *setting* arus dengan karakteristik *instantaneous (highset)* sehingga kerja sistem bisa lebih cepat tanpa dilakukan perhitungan penetapan waktu pemutusan jika didapati arus yang besar, dengan penetapan 130% dari arus pengenal sekunder,

Setting Arus Highset pada Sekunder Transformator:

$$= 1,3 \times \text{Arus pengenal sekunder trafo}$$

$$= 1,3 \times 1,23 \text{ A}$$

$$= 1,6 \text{ A}$$

Dari hasil arus *highset* sekunder pada prototipe relai ini maka penggambaran sistem proteksi karakteristik *instantaneous* pada sisi primer ditetapkan diatas *setting* sekunder, dengan penetapan 150% dari arus pengenal primer.

Setting Arus Highset pada Primer Transformator:

$$= 1,5 \times \text{Arus pengenal sekunder trafo}$$

$$= 1,5 \times 1,22 \text{ A}$$

$$= 1,83 \text{ A}$$

Kinerja Relai Indikator Gangguan Beban Lebih dan Hubung Singkat

Pengujian dilakukan dengan beberapa kondisi sebagai berikut:

1. Kondisi Normal

Pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Kondisi Normal

Daya Sekunder (VA)	Arus Sekunder (Sensor)	Kondisi Breaker Primer	Kondisi Breaker Sekunder
131,4 VA	0,56 A	NC	NC
178,7 VA	0,75 A	NC	NC
213,6 VA	0,93 A	NC	NC
295,1 VA	1,30 A	NC	NC

(Sumber: Data Penelitian, 2019)

Dari tabel diatas dapat dilihat jika arus sekunder terdeteksi dibawah nilai Arus *pickup* relai arus lebih sekunder karakteristik *inverse* yaitu 1,35 A maka kondisi *breaker* sekunder dan primer adalah *Normaly Close* (NC) atau tidak bekerja memutuskan daya, namun LCD tetap beroperasi sebagai media untuk menampilkan hasil pengukuran arus listik oleh sensor SCT-103 pada sisi primer dan sekunder transformator, dengan tampilan pada gambar 12.



Gambar 12. LCD Kondisi Normal (Sumber: Data Penelitian, 2019)

2. Gangguan Beban Lebih

Pada kondisi beban lebih, pengujian dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Gangguan Beban Lebih

Daya Sekunder (VA)	Arus Sekunder (Sensor)	Kondisi Breaker Sekunder	Kondisi Indikator Sekunder	Delay
131,4 VA	0,56 A	NC	OFF	-
178,7 VA	0,75 A	NC	OFF	-
213,6 VA	0,93 A	NC	OFF	-
260,4 VA	1,12 A	NC	OFF	-
295,1 VA	1,30 A	NC	OFF	-
307,5 VA	1,53 A	NO	ON	0,2 s

(Sumber: Data Penelitian, 2019)

Pada pengujian beban lebih dapat dilihat ketika beban terukur arus dibawah nilai *setting* 1,35A *breaker* primer dan sekunder dalam kondisi *Normaly Close* (NC), namun ketika arus sekunder terukur 1,53A oleh sensor SCT-013 *breaker* sekunder dalam kondisi *Normaly Open* (NO) dengan *delay*. *Delay* ditentukan oleh sistem dengan melakukan perhitungan sesuai rumus karakteristik IEEE *Moderatly Inverse* sehingga didapat nilai waktu *delay* 0,2 detik. Indikator Gangguan berupa *buzzer* dan LED pada sisi sekunder transformator aktif dan LCD menampilkan karakter “Gangguan Beban Lebih Sknd” dengan tampilan pada gambar 13.



Gambar 13. LCD Beban Lebih Sekunder (Sumber: Data Penelitian, 2019)

3. Gangguan Hubung Singkat Sekunder

Pada kondisi gangguan ini merupakan gangguan arus yang besar sehingga pada sistem ditangani oleh *setting* arus *pickup* karakteristik *instantaneous* sekunder. Hubung singkat sekunder pada penelitian ini satu fasa yaitu menghubungkan fasa dengan netral melalui perantara resistor. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 6.

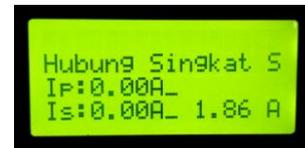
Tabel 6. Pengujian Gangguan Hubung Singkat Sekunder

Arus Sekunder (Sensor)	Kondisi Breaker Sekunder	Kondisi Breaker Primer	Indikator Sekunder	Delay
1,86 A	NO	NC	ON	-

(Sumber: Data Penelitian, 2019)

Pada sistem prototipe relai penelitian ini setiap pembacaan dilakukan *looping* untuk memastikan nilai arus yang terdeteksi, apabila nilai arus sekunder terus menerus meningkat secara cepat hingga melebihi nilai *highset* sekunder maka relai akan mendeteksi

gangguan hubung singkat sekunder. LCD juga tercantum arus terakhir yang dapat dibaca sensor sebelum saluran daya terputus yaitu 1,86 A pada kondisi tersebut *breaker* sekunder berstatus *Normaly Open* (NO) atau bekerja memutuskan daya dengan karakteristik *instantaneous* yaitu tanpa *delay* dan indikator gangguan berupa *buzzer* LED pada sisi sekunder transformator aktif, dan LCD menampilkan karakter “Hubung Singkat S”, dengan tampilan pada gambar 14.



Gambar 14. LCD Hubung Singkat Sekunder (Sumber: Data Penelitian, 2019)

4. Gangguan Hubung Singkat Primer

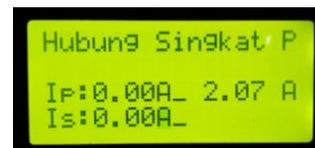
Pada kondisi gangguan ini merupakan gangguan arus yang besar sehingga pada sistem ditangani oleh *setting* arus *pickup* karakteristik *instantaneous* primer. Hubung singkat primer pada penelitian ini satu fasa yaitu menghubungkan fasa dengan netral melalui perantara resistor. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Pengujian Gangguan Hubung Singkat Primer

Arus Sekunder (Sensor)	Kondisi Breaker Sekunder	Kondisi Breaker Primer	Indikator Primer	Delay
2,07 A	NC	NO	ON	-

(Sumber: Data Penelitian, 2019)

Sistem relai penelitian ini apabila terdeteksi arus melebihi nilai *highset* primer maka sistem akan mengecek kondisi sisi sekunder terlebih dahulu. Dari hasil data pengujian didapat arus terakhir yang terbaca oleh sensor SCT-013 primer adalah 2,07A. Pada kondisi tersebut indikator primer aktif dan *breaker* primer berstatus *Normaly Open* (NO) atau bekerja memutuskan daya dengan karakteristik *instantaneous* yaitu tanpa *delay*. indikator gangguan berupa *buzzer* LED pada sisi primer transformator, dan LCD menampilkan karakter “Hubung Singkat P”, dengan tampilan pada gambar 15.



Gambar 15. LCD Hubung Singkat Primer (Sumber: Data Penelitian, 2019)

Dalam prototipe relai ini, *breaker* primer juga dapat berstatus *Normaly Open* (NO) atau memutuskan daya sisi primer transformator ketika *breaker* sekunder dalam kondisi *Normaly Open* (NO).

Analisis Relai Arus Lebih

Setting waktu kerja relai arus lebih standart IEE *Moderately Inverse* harus memperhatikan ketahanan trafo terhadap arus gangguan yang akan terjadi. Untuk percobaan gangguan beban lebih pada prototipe ini gangguan maksimum adalah 1,53 A pada setting arus pickup 1,35 A, dengan waktu kerja 0,2 detik. Karakteristik relai arus lebih menggunakan jenis standart IEEE Moderatly Inverse, sehingga nilai *setting time dial* didapat sebagai berikut.

$$T = TDM \times \left[\frac{A}{(I / I_{pickup})^P - 1} + B \right] \quad (5)$$

(Sumber: GE Industrial System, 2006)

Dimana :

T = Operate timer (s)

TDM = Multiple setting

I = Input current (A)

I_{pickup} = Pickup current setting (A)

A = Constant 0,0514

B = Constant 0,1140

P = Constant 0,02000

Berdasarkan persamaan 5 didapat nilai *multiple setting* sebagai berikut :

TDM = 0,00968 detik

Simpulan

Prototipe relai deteksi gangguan dapat memberikan perlindungan dari gangguan arus lebih, dilengkapi indikator jenis dan letak gangguan serta *metering* arus listrik pada sisi primer dan sekunder transformator. jenis gangguan berupa hubung singkat satu fasa dan beban lebih sedangkan letak gangguan pada sisi primer atau sekunder transformator.

Kinerja alat yaitu apabila tidak terjadi gangguan indikator LCD dapat menampilkan pengukuran arus listrik pada sisi primer dan sekunder transformator, namun apabila terjadi gangguan arus lebih maka sistem akan mengecek sisi terlebih dahulu, jika pada sisi sekunder sensor arus mendeteksi arus melebihi nilai arus pickup *Inverse* maka pemutus daya sisi sekunder akan bekerja sesuai besar arus gangguan, LCD menampilkan “Beban Lebih Sknd” namun jika arus terus menerus meningkat hingga melebihi nilai *highset* sekunder maka pemutus daya sisi sekunder akan bekerja secara seketika, LCD menampilkan “Gangguan hubung singkat S” dan indikator *buzzer* LED sisi sekunder aktif, namun jika sensor sisi sekunder tidak mendeteksi gangguan maka sistem akan mengecek sisi primer, jika pada sisi primer sensor mendeteksi arus melebihi nilai *highset* primer maka pemutus daya sisi primer akan bekerja secara seketika, LCD menampilkan “gangguan hubung singkat P” dan indikator *buzzer* LED sisi primer aktif.

Pada sisi sekunder, Dari persamaan 5 didapat *Multiple Setting* (TDM) 0,00968 detik pada relai arus lebih

standart IEEE Moderatly Inverse dengan setting arus pickup 1,35A, dan arus pickup pada kondisi *high setting* (*instantaneous*) yaitu 1,6A. Sedangkan pada sisi primer, arus pickup pada kondisi *high setting* (*instantaneous*) yaitu 1,83A. Pada pengujian relai didapat hasil terdeteksi gangguan beban lebih pada arus sekunder 1,53A dengan *delay* pemutusan 0,2 detik, terdeteksi gangguan hubung singkat sekunder pada arus sekunder 1,86 A tanpa *delay* pemutusan dan terdeteksi gangguan hubung singkat primer pada arus primer 2,07 A tanpa *delay* pemutusan. Sedangkan pada pengujian indikator gangguan, dapat bekerja dengan baik dimana indikator *buzzer* LED bekerja sesuai posisi gangguan dan LCD menampilkan jenis gangguan sesuai parameter setting arus pickup primer dan sekunder transformator.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran untuk penelitian mendatang yaitu menambahkan data logger untuk penyimpanan data gangguan dan penambahan sistem kontrol jarak jauh melalui *internet of things* (IOT).

DAFTAR PUSTAKA

- Burke, Jamis. J and Lawrence, David. J. 1984. “Characteristics of Fault Currents on Distribution Systems”. *Journal of IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. Vol. PAS-103 (1): pp. 1-6.
- GE Industrial System____. 2006. *F35 Multiple Feeder Management Relay*. Markham: GE Multiline.
- Hamid, M Syukur Budiawan. 2017. *Sistem Pengendali Beban Arus Listrik Berbasis Arduino*. Makasar: PPs Universitas Islam Alauddin.
- IEC 6090-0. *Short Circuit Current in Three Phase AC System*.2001.
- Latif, Adam. 2016. “Dinamika Kelistrikan di Indonesia: Kebutuhan dan Performa Penyediaan”. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*. Vol. 24 (1): hal. 29-41.
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sisitem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : ANDI.
- Samaullah, Hazairin. 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang: Unsri.
- Shultz, George Patrick. 1989. *Transformers and Motors*. Boston: Newnes.
- Stevenson, William D. 1983. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Terjemahan Kamal Idris. Jakarta: Erlangga.
- Syahwil, Muhammad. 2013. *Panduan Mudah Simulasi & Praktek Microcontroller Arduino*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Tasiam, F. J. 2017. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Teknosain.