SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada Program Diploma III Teknik Elektro Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Oleh :

Muazam Fakhri Suny

21060115083038

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI

SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2018

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)*

SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)

Diajukan Oleh:

Muazam Fakhri Suny

NIM 21060115083038

Telah disetujui pada tanggal: ……

Mengetahui, Ketua Program Studi Diploma III Teknik Elektro Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang,	Menyetujui, Dosen Pembimbing
Arkhan Subari, S.T, M.Kom NIP 197710012001121002	**Priyo Sasmoko,ST,M.Eng** NIP 197009161998021001

TUGAS AKHIR

SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)*

SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN

HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS

ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE*

***INTERFACE* (HMI)**

Oleh
Muazam Fakhri Suny
21060115083038

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal:

Hari :

Tanggal :

Penguji I	Penguji II	Penguji III
Drs.Heru Winarno, MT	**Dr. Drs.Iman Setiono, MSi**	**Ir. Saiful Manan, M.T**
NIP.195710091983031003	NIP. 195411301985031004	NIP.196104221987031001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro
Departemen Teknologi Industri
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Arkhan Subari,S.T,M.Kom
NIP 197710012001121002

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muazam Fakhri Suny

NIM : 21060115083038

Program Studi : Teknik Elektro Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Judul Tugas Akhir : **SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)**

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ini ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Semarang ,16 Agustus 2018

Yang membuat pernyataan,

Muazam Fakhri Suny

HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN

Moto

”Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan Akherat, maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya maka wajib baginya memiliki ilmu”.

(HR. Turmudzi)

”Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari suatu ilmu. Niscaya Allah memudahkannya ke jalan menuju surga”.

(HR. Turmudzi)

Persembahan

*Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua Orang Tua saya (**Suto Dekriatno dan Eny Khusnul Hartati**) dan adik- adik saya (**Naura Isma Suny dan Dainty Rahma Suny**) yang menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan studi saya.*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul "SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)"

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akhir studi di Program Studi Diploma III Teknik Elektro Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini penyusun banyak mengalami kesulitan dan hambatan baik yang bersifat teknis maupun non teknis. Oleh karena itu, penyusun bersyukur kepada Allah SWT dan banyak sekali pihak yang mendukung diantaranya :

1. Kedua Orang tua yang telah menjadi *support* penyusun untuk segera menyelesaikan laporan ini.
2. Prof Dr. Ir. Budiyono, M.Si selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Arkaan Subari, ST, M.Kom selaku Ketua Jurusan PSD III Teknik Elektro Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.

4. Bapak Priyo Sasmoko, S.T, M.Eng, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan memberi ilmu dengan sangat baik.
5. Teman kerja praktik dari Polines, UGM, dan Undip yang telah membantu penyusun dalam melaksanakan Kerja Praktek dan mendapat inspirasi pembuatan Tugas Akhir
6. Teman-teman D3K-PLN UNDIP – PT PLN angkatan 2015 yang selalu memberi dukungan dan berjuang bersama sama selama tiga tahun.
7. Teman-teman D3 Elektro angkatan 2015 yang telah bersama sama selama tiga tahun dalam mengikuti perkuliahan.
8. Mas Saeful Lukman yang telah meluangkan waktu untuk memberi ilmu dan inspirasi dalam pembuatan Tugas Akhir.
9. Teman – teman satu kontrakan Aan, Abu Dzar, Fajrul, Hamid, Rendy, Yoga,Wisnu, Faaiz yang selalu memberikan semangat dan dorongan.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penyusunsebutkan satu persatu.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar laporan kerja praktik ini menjadi lebih baik. Akhir kata penyusun memohon maaf yang setulus-tulusnya apabila ada kekeliruan dalam penulisan laporan ini.

Semarang, 25 Juli 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT ..... **iv**

HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN ..... **v**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **viii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR TABEL ..... **xvi**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xvii**

ABSTRAK ..... **xviii**

ABSTRACT ..... **xix**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.3 Tujuan 3

1.4 Batasan Masalah 4

1.5 Manfaat Tugas Akhir 4

1.6 Metodologi Penelitian 5

1.7 Sistematika Penyusunan 6

BAB II LANDASAN TEORI **9**

2.1 Tinjauan Pustaka 9

2.2 DasarTeori....10
2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi....10
2.2.2 Gangguan Pada Jaringan Distribusi....15
2.2.2.1 Gangguan Hubung Singkat....16
2.2.2.2 Gangguan Tegangan Lebih....17
2.2.3 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi....18
2.2.3.1 Syarat Sistem Proteksi....19
2.2.3.2 Peralatan proteksi Jaringan Distribusi....21
2.2.4 Pengertian *Sectionalizer* (SSO)....26
2.2.5 SCADA....28
2.2.5.1 Fungsi Dasar SCADA....28
2.2.6 Peralatan Simulasi....34
2.1.6.1 Mikrokontroler *Arduino Mega 2560*....35
2.2.6.2 Rangkaian Catu Daya....39
2.2.6.3 Transformator....40
2.2.6.4 Dioda....43
2.2.6.5 Filter Kapasitor....45
2.2.6.6 *Regulator* Tegangan....47
2.2.6.7 Resistor....48
2.3.6.5 Relai....49
2.2.5.8 *Driver Relay* ULN2803....51
2.2.5.9 Sensor Arus ACS712....53
2.2.5.10 Resistor sebagai Pembagi Tegangan....57

2.2.5.11 *Ethernet Shield* 57

BAB III SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER*) SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI).....60

3.1 Blok Diagram 60

3.2 Flowchart Kerja Alat 68

BAB IV PEMBUATAN SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER*) SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI).....71

4.1 Pembuatan Perangkat Keras 71

4.1.1 Rangkaian Penyearah 74

4.1.2 Rangkaian Sensor Tegangan 76

4.1.3 Rangkaian Driver Relay 77

4.1.4 Rangkaian *Push Button* 78

4.1.5 Langkah-langkah Perakitan Alat 82

4.2 Pembuatan Perangkat Lunak 85

4.2.1 Pemograman Arduino 85

4.2.2 Perangkat Lunak Aplikasi VT SCADA 89

BAB V PENGUKURAN DAN PENGUJIAN 96

5.1 Peralatan yang Digunakan 96
5.2 Prosedur Pengukuran dan Pengujian 97
5.3 Pengukuran Rangkaian 97
5.4 Pengujian Alat 99
5.4.1 Keadaan Beban Normal 100
5.4.2 Saat Tejadi Gangguan Hubung Singkat 102
BAB VI PENUTUP 107
6.1 Kesimpulan 107
6.2 Saran 108
DAFTAR PUSTAKA 110
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Sistem Jaringan Distribusi 11

Gambar 2- 2 Skema Saluran Sistem Radial 11

Gambar 2- 3 Skema Saluran Sistem Loop 12

Gambar 2- 4 Skema Saluran Sistem Spindel 14

Gambar 2- 5 Zona Proteksi 19

Gambar 2- 6 PMT 22

Gambar 2- 7 *Recloser*.....23

Gambar 2- 8 Rangkaian Relay OCR dan GFR 24

Gambar 2- 9 *Sectionalize* 25

Gambar 2- 10 Prinsip Kerja *Sectionalizer* 28

Gambar 2- 11 *Board* Arduino Mega 2560 35

Gambar 2- 12 Diagram Blok DC *Power Supply* 40

Gambar 2- 13 Rangkaian DC *Power Supply*.....40

Gambar 2- 14 Bagan Sederhana Transformator 41

Gambar 2- 15 Dioda Bridge Siklus Positif 43

Gambar 2- 16 Dioda Bridge Siklus Negatif 44

Gambar 2- 17 Gelombang yang Dihasilkan Penyearah Penuh 44

Gambar 2- 18 Jenis-Jenis Kapasitor 45

Gambar 2- 19 Rangkaian Penyearah Gelombang 46

Gambar 2- 20 Penstabil Tegangan 47

Gambar 2- 21 Susunan Kaki IC Regulator 7812 dan 7912.....48

Gambar 2- 22 Simbol Resistor 49
Gambar 2- 23 Konstruksi Relai 49
Gambar 2- 24 Pin-out Diagram ULN 2803 51
Gambar 2- 25 Pasangan Darlington Dalam ULN2803 52
Gambar 2- 26 Pin-out Diagram ACS712 54
Gambar 2- 27 Prinsip Kerja Efek Hall 55
Gambar 2- 28 Prinsip Kerja Sensor Arus ACS 712 56
Gambar 2- 29 Hubungan Tegangan Output dengan Arus 56
Gambar 2- 30 Rangkaian Resistor Sebagai Pembagi Tegangan 57
Gambar 2- 31 Ethernet Shield 58
Gambar 3- 1 Blok Diagram Alat 61
Gambar 3- 2 Rangkaian penyearah 12 VDC 63
Gambar 3- 3 Rangkaian penyearah 5 VDC 63
Gambar 3- 4 Rangkaian *Pull Down* 64
Gambar 3- 5 Rangkaian Sensor Tegangan 65
Gambar 3- 6 Rangkaian Driver Relay 66
Gambar 3- 7 Arduino Mega 2560 66
Gambar 3- 8 Flowchart Keseluruhan 70
Gambar 4- 1 Rangkaian Penyearah 75
Gambar 4- 2 Rangkaian Sensor Tegangan yang Telah Dirangkai 76
Gambar 4- 3 Rangkaian Driver Relay yang Telah Dirangkai 77
Gambar 4- 4 Rangkaian Pull Down yang Telah Dirangkai 78
Gambar 4- 5 Hasil Print Desain Menggunakan Printer Laser 79

Gambar 4- 6 Memotong PCB 79
Gambar 4- 7 Proses Menggosok Kertas.....80
Gambar 4- 8 Melepas Kertas Print dari PCB 80
Gambar 4- 9 Melarutkan PCB.....81
Gambar 4- 10 Mengebor PCB Dengan Alat Bor 81
Gambar 4- 11 Menyolder PCB 82
Gambar 4- 12 Bentuk Box 83
Gambar 4- 13 Desain Alat Tampak Atas 83
Gambar 4- 14 Rangkaian Pada Papan Triplek 84
Gambar 4- 15 Rangkaian Hardware.....85
Gambar 4- 16 Menjalankan Aplikasi Arduino IDE 86
Gambar 4- 17 Memilih Board Arduino Mega 2560.....87
Gambar 4- 18 Proses Compiling Sketch 88
Gambar 4- 19 Compiling Berhasil 88
Gambar 4- 20 Proses *Uploading Sketch*.....89
Gambar 4- 21 Layar Awal VT Scada.....90
Gambar 4- 22 Penambahan Aplikasi VT Scada.....90
Gambar 4- 23 Penyelesaian Penambahan Aplikasi VT Scada.....91
Gambar 4- 24 Layar Menu VT Scada 91
Gambar 4- 25 Layar Edit VT Scada.....92
Gambar 4- 26 *Tag Browser* VT Scada.....92
Gambar 4- 27 Penambahan TCP/IP Port VT Scada.....93
Gambar 4- 28 Menetukan Nama TCP/IP *Port* VT Scada 94

Gambar 4- 29 Menetukan Jenis Modbus VT Scada……...94

Gambar 5- 1 Titik Pengukuran Pada Rangkaian Skematik Catu Daya 12VDC 98

Gambar 5- 2 Titik Pengukuran Pada Rangkaian Skematik Catu Daya 5VDC 98

Gambar 5- 3 Single Line 99

Gambar 5- 4 Pengukuran Pada ACS712 100

Gambar 5- 5 Alat Kondisi Normal.....101

Gambar 5- 6 Keadaan Normal Tampilan VT Scada 102

Gambar 5- 7 SSO Mengisolasi Gangguan 104

Gambar 5- 8 Kondisi Gangguan Diisolasi SSO Pada Tampilan VT SCADA.....105

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Persentase Gangguan Hubung Singkat 17

Tabel 2- 2 Spesifikasi Arduino Mega 2560 36

Tabel 2- 3 Tegangan Input IC Regulator 48

Tabel 4- 1 Daftar Alat Pembuatan Rangkaian 72

Tabel 4- 2 Daftar Bahan Umum.....73

Tabel 4- 3 Daftar Komponen Rangkaian Catu Daya 75

Tabel 4 - 4 Daftar Komponen Rangkaian Sensor Tegangan.....76

Tabel 4- 5 Daftar Komponen Rangkaian Driver Relay 77

Tabel 4- 6 Daftar Komponen Rangkaian *Pull Down*.....78

Tabel 5 - 1 Pengukuran Rangkaian Catu Daya 99

Tabel 5- 2 Data Hasil Pengukuran Beban Normal.....100

Tabel 5- 3 Pengukuran Beban Normal.....101

Tabel 5- 4 Pengukuran Ketika Terjadi Gangguan Hubung Singkat 103

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Gambar Skematik Rangkaian Keseluruhan

LAMPIRAN 2 : *Listing* Program *Arduino* Keseluruhan

LAMPIRAN 3 : *Datasheet* Arduino *Mega 2560*

LAMPIRAN 4 : Datasheet ULN2803

LAMPIRAN 5 : *Datasheet ACS 712*

LAMPIRAN 6 : *Datasheet Ethernet Shield*

LAMPIRAN 7 : *Datasheet Relay Omron* MY2N

LAMPIRAN 8 : *Datasheet Regulator LM 78xx*

LAMPIRAN 9 : *Datasheet* TIP 3055

ABSTRAK

Untuk mengatasi gangguan dibutuhkan sistem proteksi. Sistem proteksi dapat mengamankan peralatan dari kerusakan dan juga mengisolasi *section* atau zona saat terjadi gangguan. Contoh perlatan proteksi adalah PMT, *Recloser*, *Fuse Cut Out*, *Sectionalizer* dll. Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) adalah peralatan pengaman arus lebih dipasang bersama-sama dengan *Recloser* yang berfungsi sebagai pengaman *back up* nya.

Dalam tugas akhir ini dibuat alat simulasi untuk mengetahui prinsip kerja Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) menggunakan *relay OMRON MY2N 12 V*, sensor arus ACS712, dan berbasis *Arduino Mega 2560* sebagai pusat pengendali keseluruhan rangkaian. *Setting* arus pada *Recloser* dan Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) adalah 1,9 Ampere dan 0,6 Ampere. Pada alat ini *Recloser* disetting 1 kali reclose atau 2 kali *Count to Lock Out* maka SSO disetting 1 *kali Count to Lock-Out* dengan beban normal berupa lampu 5 W 12 V dan gangguan berupa resistor.

Setelah dilakukan percobaan, hasil yang diperoleh adalah *relay* tidak akan bekerja ketika beban normal dengan nilai arus 1,32 A dan 0,44 A , hal ini karena nilai arus tidak melebihi *setting*. *Relay* bekerja ketika nilai I *Recloser* dan Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) berada pada nilai 1,93 A dan 1,14 A. Kemudian *Recloser* 1 kali *reclose* maka Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) akan Lepas/ Open. Ketika SSO bekerja maka gangguan hubung singkat akan diisolasi. Hal ini menandakan alat simulasi berhasil.

Kata kunci : *Back Up, Count to Lock Out, Recloser, Sectionalizer*

ABSTRACT

To overcome the interference, a protection system is needed. The protection system can secure equipment from damage and also isolate the section or zone when a fault occurs. Examples of protection equipment are PMT, Recloser, Fuse Cut Out, Sectionalizer etc. Automatic Section Switch / SSO (Sectinoalizer) is an overcurrent safety equipment installed together with the Recloser which serves as a safety back up.

In this final project, a simulation tool is used to determine the working principle of SSO (Sectinoalizer) Automatic Section Switch using the MYRN MYRN 12R relay, ACS712 current sensor, and Arduino Mega 2560 based on the overall control center of the circuit. The current setting of the Recloser and Automatic Section / SSO (Sectinoalizer) Switch is 1.9 Ampere and 0.6 Ampere. In this tool the Recloser is set to 1 time reclose or 2 times Count to Lock Out then the SSO is set 1 time Count to Lock-Out with a normal load in the form of a 5 W 12 V lamp and a resistor in the form of a resistor.

After the experiment, the results obtained are that the relay will not work when the load is normal with current values of 1.32 A and 0.44 A, this is because the current value does not exceed the setting. The relay works when the value of the I Recloser and the Automatic Section / SSO (Sectinoalizer) Switch is at a value of 1.93 A and 1.14 A. Then the Recloser recalls the Automatic Section / SSO (Sectinoalizer) Switch. When SSO works, the short circuit will be isolated. This indicates that the simulation tool was successful.
Keywords: Back Up, Count to Lock Out, Recloser, Sectionalizer

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem Distribusi Tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk sebagai pusat beban ke pelanggan secara langsung atau melalui gardu distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai sesuai stándar pelayanan yang berlaku.

Sistem ini menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk atau pusat listrik yang memasok listrik ke beban melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 KV serta Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380 / 220 V [1]

Sistem Distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, jaringan distribusi pada umumnya lebih panjang dibanding dengan jaringan transmisi, jumlah gangguanya dalam kali per 100 km per tahun juga paling tinggi dibandingkan jumlah gangguan pada saluran transmisi sehingga masalah utama dalam Operasi Sistem Distribusi adalah mengatasi gangguan [2]. Gangguan merupakan peristiwa hubung singkat baik antar fasa maupun antara fasa dengan tanah. Gangguan yang dibiarkan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang terpasang di jaringan. Gangguan pada jaringan distribusi tegangan menengah ada bermacam-macam sumbernya. Mulai dari gangguan yang bersumber

dari luar (pohon, binatang, manusia, angin, petir, bangunan, dan lain-lain) maupun gangguan yang bersumber dari dalam (kerusakan peralatan atau penghantar).

Untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik maka dibutuhkan sistem proteksi. Sistem proteksi yang dapat mengamankan peralatan di jaringan dari kerusakan dan juga mengisolasi zona atau *section* dari gangguan. Untuk mendukung sistem proteksi maka dibutuhkan peralatan proteksi. Peralatan proteksi tersebut contohnya adalah PMT, *Recloser*, *Fuse Cut Out, Sectionalizer*.

Pada jaringan distribusi tenaga listrik sudah tedapat peralatan proteksi utama (*main protection*), yaitu *Recloser*. Namun penggunaan *Recloser* belum optimal dalam mengisolasi gangguan. Hal ini karena zone kerja *Recloser* yang panjang. Maka, oleh karena itu diperlukan suatu peralatan proteksi cadangan (*back up*) yang berfungsi memotong zone kerja dari proteksi utama (*main protection*) menjadi lebih pendek /*section.* Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* merupakan sebuah peralatan pengaman arus lebih pada sistem distrubusi tenaga listrik, dipasang bersama-sama dengan *Recloser*/*Pemutus Balik Otomatis* yang berfungsi sebagai pengaman back-upnya. Pengaman ini akan bekerja mengisolasi *section* dari gangguan. Dengan dipasangannya alat ini pada jaringan, daerah gangguan dapat diminimalisir [3].

Peran Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sangatlah penting untuk proteksi. Berdasarkan uraian tersebut penyusun ingin membuat suatu alat simulasi yang dapat mereperentasikan cara kerja Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan. Dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali, *Relay* MY2N sebagai pengganti Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* dan sensor arus ACS 712 sebagai alat pendeteksi arus. Penyusun mengambil judul "SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS

/SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)".

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana meminimalisir gangguan setelah *Recloser* ?
2. Bagaimana cara kerja Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan pada jaringan distribusi tenaga listrik ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* Sebagai Proteksi cadangan pada jaringan distribusi tenaga listrik ketika terjadi gangguan ?
4. Bagaimana membuat alat simulasi Saklar Seksi Otomatis (SSO) /*Sectionalizer* Sebagai proteksi cadangan pada jaringan distribusi tenaga listrik menggunakan Arduino 2560.
5. Bagaimana cara memonitoring Saklar Seksi Otomatis (SSO) /*Sectionalizer* dengan menggunakan VT Scada?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Membuat alat simulasi Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* Sebagai Proteksi cadangan pada jaringan distribusi tenaga listrik menggunakan Arduino 2560.

2. Memahami cara kerja Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)*
3. Mengetahui penggaruh penggunaan Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* pada jaringan distribusi tenaga listrik.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini pembahasan masalah meliputi hal-hal berikut :

1. Pada alat simulasi ini membahas cara kerja Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* .
2. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pusat pengendali alat simulasi Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan .
3. ACS712 pada tugas akhir ini digunakan sebagai pendeteksi arus yang mengalir pada alat Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan pada jaringan.
4. Alat simulasi ini menggunakan rangkaian beban 12 VAC.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Memahami prinsip kerja proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi tegangan menengah terutama Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan.
2. Bagi PT. PLN (Persero), untuk memberi inovasi sebagai alat simulasi yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran sistem proteksi Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan. pada jaringan distribusi 20 KV yang disimulasikan menggunakan peralatan elektronika berbasis Arduino Mega 2560.

3. Untuk Universitas Diponegoro, khususnya Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi UNDIP dapat menjadi referensi mengenai sistem proteksi pada jaringan distribusi 20 KV yaitu Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)* sebagai proteksi cadangan dengan menggunakan Arduino Mega 2560.
4. Untuk penyusun, sebagai bentuk pengaplikasian dan penerapan ilmu-ilmu yang telah didapatkan selama proses perkuliahan yang dituangkan dalam bentuk alat tugas akhir.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang penyusun pakai dalam tugas akhir ini antara lain:

a. Metode Studi Literatur

   Dengan metode ini, penyusun mencari litertur, artikel, maupun sumber lainnya untuk memperoleh data dan informasi yang berkaitan dengan tugas akhir baik dari perpustakaan maupun sumber terpercaya pada internet.

b. Metode Laboratorium

   Metode laboratorium adalah suatu cara untuk mengumpulkan data dengan melakukan pengujian dan pengukuran pada peralaatan simulasi yang telah dibuat. Dalam hal ini penyusun melakukan pengujian dan pengukuran alat simulasi yang telah dibuat.

   Metode ini dibagi menjadi :

   1. Pembuatan Alat

      Pada tahap ini penyusun membuat rancangan alat dan sistem dari awal sampai dengan selesai

2. Pengukuran alat

   Pengukuran yang akan dilakukan pada proyek tugas akhir ini adalah :

   - Tegangan pada sumber utama
   - Arus pada beban saat kondisi normal
   - Arus pada beban saat kondisi gangguan
   - Tegangan pada catu daya

3. Pengujian Alat

   Pengujian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini :

   - Uji simulasi keadaan normal
   - Uji simulaasi gangguan hubung singkat setelah Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)*

c. Metode Observasi

Metode observasi adalah salah satu cara pengumpulan data dengan pengamatan secara langsung terhadap objek yang akan di teliti. Penyusun melakukan pengamatan langsung saat melaksanakan Kerja Praktik di PT PLN (Persero) Area Semarang pada tanggal 2 Januari – 29 Maret 2018 untuk mengumpulkan dan mendapatkan data pendukung tugas akhir mengenai Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)*sebagai proteksi cadangan.

1.7 Sistematika Penyusunan

Sistematika penyusunan Tugas akhir ini adalah sebgai berikut :

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

ABSTRAK

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hal – hal yang melatar belakangi pembuatan Tugas Akhir, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat Tugas Akhir, dan sistematika Tugas Akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai landasan teori dan tinjauan pustaka yang menjadi panduan pada pembuatan Tugas Akhir.

BAB III SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)

Pada bab ini akan dibahas judul Saklar Seksi Otomatis/SSO *(Sectionalizer)*sebagai proteksi cadangan dan perencanaan rangkaian dari alat simulasi

BAB IV PEMBUATAN SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)

Pada bab ini membahas mengenai proses pembuatan alat perangkat keras dan perangkat lunak.

BAB V UJI COBA ALAT SIMULASI DAN PENGUKURAN

Pada bab ini akan dibahas tentang mekanisme pengukuran, data hasil pengukuran, dan analisis terhadap data hasil pengujian.

BAB VI PENUTUP

Pada bab ini akan berisi kesimpulan yang didapatkan dari pembahasan masalah serta saran dari keseluruhan hasil tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penyusun melakukan telaah terhadap beberapa referensi yang ada, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang penyusun lakukan. Referensi diambil dari judul Koordinasi *Recloser* dan *Load Break Switch* (LBS) yang di *Setting* Sebagai *Sectionalizer* (SSO) di Penyulang Pudak Payung 01 pada PT. PLN (PERSERO) Area Semarang [4]. Referensi tersebut membahas tentang perhitungan nilai setting OCR dan GFR Recloser dan *Load Break Switch* (LBS) *setting* SSO pada jaringan distribusi 20 KV. *Sectionalizer* pada *Load Break Switch* Menggunakan Arduino UNO Guna Mendeteksi Arus Gangguan dan Menguramgi Daerah Padam pada Penyulang 20 KV [5]. .Dalam tugas akhir tersebut penyusun membuat alat *Sectionalizer* pada *Load Break Switch* menggunakan sensor arus ACS712 20A dan Arduino UNO sebagai mikrokontrolernya. Berdasarkan tinjauan diatas penyusun ingin membuat suatu judul bahasan yaitu "SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI). Perbedaan ini terletak pada pembahasan yang ada, disini penyusun akan membahas *Sectionalizer* (SSO) sebagai proteksi cadangan guna mengisolasi gangguan. alat simulasi menggunakan Arduino mega 2560 yang berfungsi sebagai pusat kendali

keseluruhan sistem, monitoring arus gangguan juga dapat dilakukan melalui HMI dengan sistem SCADA, menggunakan relay MY2N, *lamp indicator* .

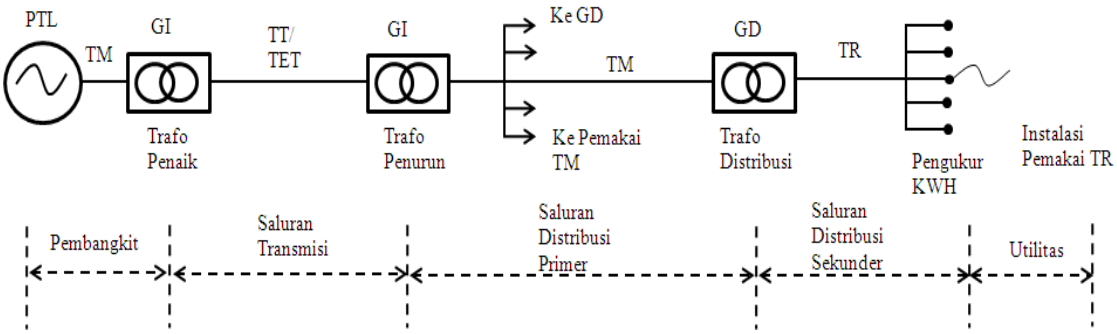
2.2 Dasar Teori

Pada sub bab ini akan memuat materi dasar yang berkaitan dengan tugas akhir penyusun.

2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik, yang dimulai dari PMT *Out going* di gardu induk sampai dengan alat pengukuran dan pembatas (APP) di sisi pelanggan. Pada dasarnya Sistem jaringan distribusi berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke pusat pusat beban secara langsung melalui gardu – gardu distribusi.

Berdasarkan dari fungsi teganganya, sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua, yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Sistem jaringan distribusi primer adalah sistem jaringan distribusi yang berasal dari keluaran trafo *step down* 150kV/20kV (trafo tenaga) di gardu induk yang memiliki tegangan nominal 20 kV yang biasa disebut dengan jaringan tengangan menengah (JTM). Sedangkan sistem jaringan distribusi sekunder adalah sistem jaringan yang berasal dari trafo *step down* 20 kV/ 380 V atau 11,56kV/220V (trafo distribusi) dengan tegangan nominal 380V/220V dan biasa disebut dengan jaringan tegangan rendah (JTR) [1].



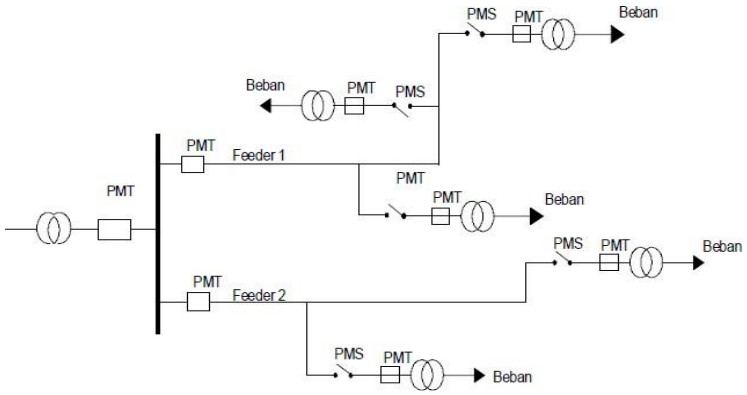
Gambar 2- 1 Sistem Jaringan Distribusi [1]

Dilihat dari tingkat keandalannya, jaringan distribusi dibedakan menjadi beberapa sistem, yaitu:

1. sistem radial
2. sistem loop
3. sistem spindle

1. Jaringan Radial

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

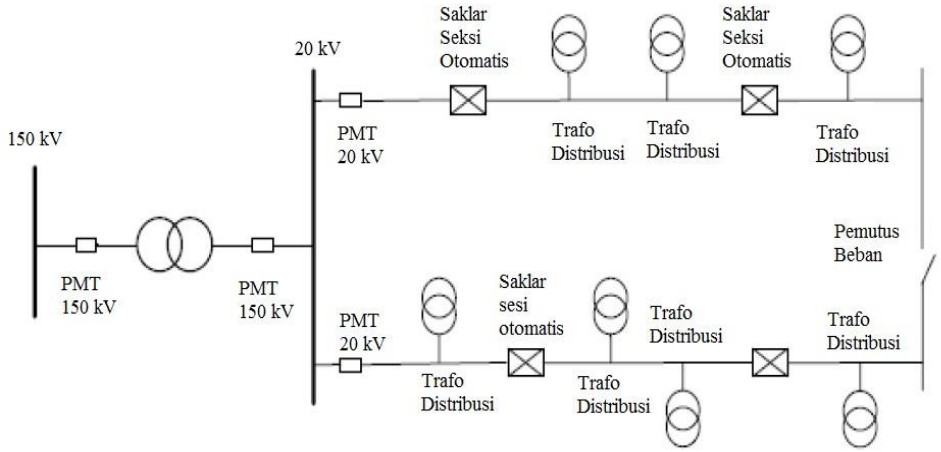


Gambar 2- 2 Skema Saluran Sistem Radial

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan kareana hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran.

2. Jaringan Loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.



Gambar 2- 3 Skema Saluran Sistem Loop

Kelebihan :

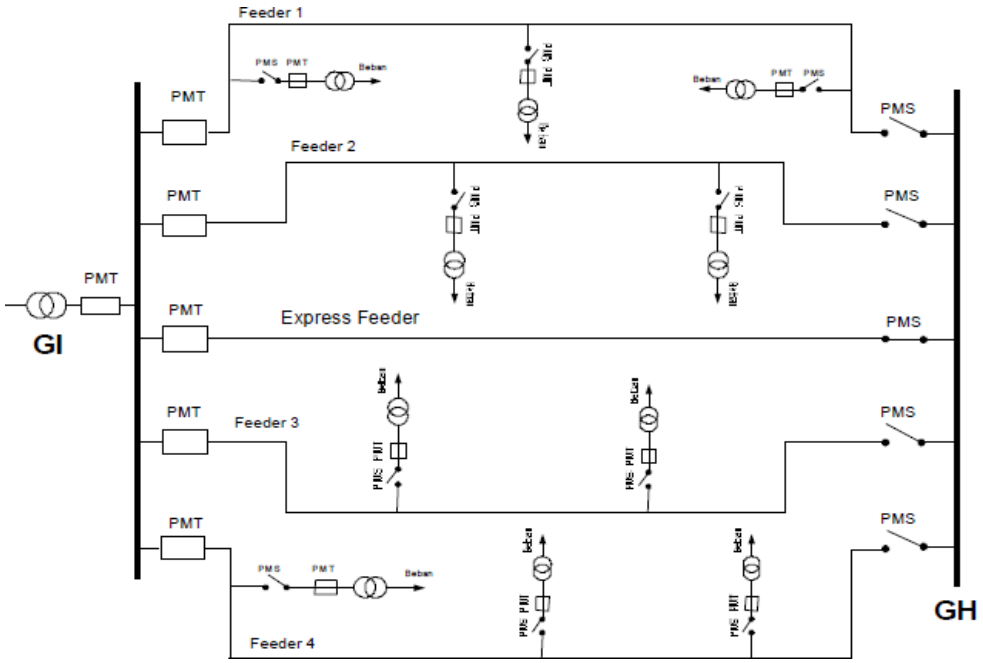
- Konttinyuitas penyaluran daya paling terjamin
- Kualitas teganganya baik, rugi daya pada saluran amat kecil
- Dibanding dengan bentuk lain, paling felxible (luwes) dalam mengikuti pertambahan dan perkembangan beban

Kekurangan

- Sebelum Pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit.
- Memerlukan biaya investasi yang besar(mahal).
- Memerlukan tenaga – tenaga terampil dalam pengoperasian nya

3. Jaringan Spindel

Sistem spindle menggunakan express feeder pada bagian tengah yang langsung terhubung dari gardu induk ke gardu hubung, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. Sistem jaringan ini merupakan kombinasi antara jaringan radial dengan jaringan rangkaian terbuka (*open loop*). Titik beban memiliki kombinasi alternatif penyulang sehingga bila salah satu penyulang terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut.



Gambar 2- 4 Skema Saluran Sistem Spindel

Kelebihan :

- Kontinuitas pelayanan lebih baik daripada pola *loop* dan *radial*
- Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah
- Penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah
- Pola proteksinya akan lebih mudah
- Baik untuk dipakai di daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.
- Sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya. (*like radial*)

2.2.2 Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Pada pengoperasian tenaga listrik dari sumber tenaga sampai ke pusat pusat beban tidak lepas dari gangguan. Gangguan yang dimaksud dalam operasi tenaga listrik adalah kejadian yang menyebabkan bekerjanya *relay* pengaman dan menjatuhkan pemutus tenaga melalui (PMT) diluar kehendak operator, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya dari sumber ke pusat pusat beban [6].

Gangguan yang terjadi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem biasanya disebabkan oleh perubahan sifat ketahanan isolasi yang ada, misalnya isolator flash, menurunya tingkat isolasi pada minyak trafo yang menyebabkan trafo meledak atau karena faktor umur seperti kawat putus dll. Sedangkan gangguan yang bersasal dari luar biasanya berupa gejala alam antara lain petir, hujan, angin, pohon, binatang, manusia, bangunan, dll.

berdasar SPLN 52-3: 1983 gangguan pada saluran distribusi adalah sebagai berikut:

a. Tegangan dan arus abnormal
b. Pemasangan yang kurang baik
c. Penuaan
d. Beban lebih
e. Angin dan pohon
f. Petir
g. Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran
h. Manusia
i. Hujan dan cuaca

j. Binatang dan benda-benda asing

k. Bencana Alam

Besarnya nilai arus gangguan dipengaruhi oleh besar kecilnya sumber tenaga listrik (generator atau trafo tenaga) impedansi sumber dan impedansi jaringan yang dilalui oleh arus gangguan tersebut [7] .

2.2.2.1 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan antar penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung yang tidak melalui media (resistor/ beban) sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik

Arus listrik yang terjadi akibat hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan jika *relay* proteksi dan pemutus tenaga tidak tersedia untuk mengamankan jaringan. Berikut ini adalah jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik :

a. Gangguan Simetris

Gangguan simetris yaitu gangguan hubung singkat 3 fase, baik itu 3 fase ke tanah maupun 3 fase tanpa tanah. Gangguan ini memiliki persamaan nilai hubung singkat yang paling besar.

b. Gangguan Tak Simetris

Gangguan tak simetris adalah gangguan hubung singkat 1 atau 2 fase yang saling terhubung seperti: gangguan satu fase ke tanah, dua fase ke tanah, fase ke fase dan

lainnya. Perhitungan arus hubung singkat sangat penting untuk menentukan kemampuan pemutus tenaga dan untuk koordinasi pemasangan *relay* pengaman [8]

Di antara bermacam gangguan, gangguan paling banyak adalah gangguan hubung singkat yang dapat menimbulkan kerusakan pada rangkaian listrik termasuk pada jaringan distribusi, peralatan pengaman, trafo, dan sebagainya [9]. Persentase kejadian terjadinya gangguan hubung singkat dapat dilihat dari tabel 2-1

Tabel 2- 1 Persentase Gangguan Hubung Singkat [9]

Jenis Gangguan	Kemungkinan terjadi
Hubung singkat 1 fasa ke tanah	65- 70 %
Hubung singkat 2 fasa ke tanah	20 – 25 %
Hubung singkat 3 fasa ke tanah	3 – 5%

2.2.2.2 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih yang diakibatkan adanya kelainan pada sistem, antara lain:

1. Tegangan lebih dengan power frekwensi, misal: pembangkit kehilangan beban yang diakibatkan adanya gangguan pada sisi jaringan, sehingga over speed pada generator, tegangan lebih ini dapat juga terjadi adanya gangguan pada pengatur tegangan secara otomatis (*Automatic Voltage Regulator*) yang terpasang pada saluran distribusi tenaga listrik.

2. Tegangan lebih Transient karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik atau saat pemutus (PMT) yang menimbulkan kenaikan tegangan yang disebut surja hubung [7]

2.2.3 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengaman yang terpasang pada sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk mendeteksi dan mengisolasi element-element sistem tenaga listrik dari gangguan [6]

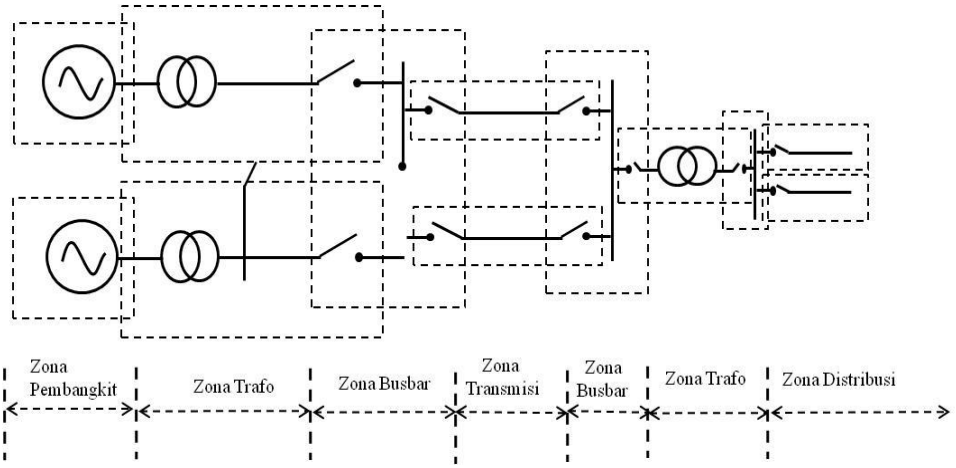
Untuk membatasi luasnya daerah sistem tenaga yang harus diisolasi bila terjadi gangguan maka sistem proteksi dibuat secara selektif berdasarkan zona proteksinya. Idealnya zona proteksi harus saling tumpang tindih (*overlap*) sehingga tidak ada jaringan yang tidak teramankan. Sistem proteksi dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem proteksi utama dan sistem proteksi cadangan.

1. Proteksi Utama

Proteksi Utama adalah proteksi yang menjadi prioritas pertama untuk membebaskan / mengisolasi gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal pada sistem tenaga listrik.

2. Proteksi Cadangan (*Back Up*)

Back up Proteksi adalah Pengaman cadangan yamg bekerja dengan waktu tunda untuk memberikan waktu pada proteksi utamanya bekerja dengan baik sebelum relay cadangan bereaksi. Kerja sistem proteksi utama akan berlangsung dengan cepat dan mengisolasi dengan waktu yang singkat [6]



Gambar 2- 5 Zona Proteksi [1]

Sistem proteksi yang baik harus mampu [10]:

- Melakukan koordinasi dengan sistem proteksi yang lain
- Mengamankan peralatan dari kerusakan yang lebih luas akibat gangguan
- Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaaan
- Secepatnya membebaskan pemadaman karena gangguan
- Membatasi daerah pemadaman akibat gangguan
- Mengurangi frekuensi pemutusan permanen karena gangguan.

Untuk mengantisipasi kegagalan yang dapat terjadi disalah satu relay proteksi maka dipasang pengaman cadangan (*back up*) di samping pengaman utamanya. Pengaman cadangan bekerja dengan waktu tunda untuk memberikan waktu pada proteksi utamanya bekerja dengan baik sebelum relay cadangan bereaksi. Kerja sistem proteksi utama akan berlangsung dengan cepat dan mengisolasi dengan waktu yang singkat. [6]

2.2.3.1 Syarat Sistem Proteksi

Beberapa persyaratan terpenting yang harus dipenuhi agar sistem proteksi dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Prinsipnya peralatan proteksi harus dapat mendeteksi gangguan dengan rangsangan sekecil mungkin/minimum dari sumber gangguan. Misalnya adalah gangguan hubung singkat fasa dengan tanah, dimana kawat penghantar putus dan mengenai pohon. Pohon memiliki nilai tahanan yang cukup besar, sehingga arus gangguan satu fasa-tanah yang dirasakan oleh *relay* kecil.

2. Keandalan (*Reliability*)

Ada lima aspek yang menjadi tolak ukur keandalan peralatan pengaman, yaitu:

a. *Dependability*

Merupakan tingkat kepastian bekerjanya. Pada prinsipnya sistem proteksi harus dapat diandalkan bekerjanya ketika dibutuhkan maupun tidak dibutuhkan dan tidak boleh gagal dalam bekerja.

b. *Security*

Merupakan tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Artinya, peralatan proteksi tidak boleh bekerja yang tidak sesuai dengan fungsinya. Misalnya bekerja di luar kawasan pengamanan atau sama sekali tidak ada gangguan, kerja terlalu cepat atau terlalu lambat.

c. *Availability*

Merupakan perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap bekerja dengan waktu total operasinya.

d. Selektifitas (*Selectivity*)

Peralatan proteksi harus selektif bekerja pada sistem yang terkena gangguan, sehingga sistem yang tidak terkena gangguan tidak terpengaruhi oleh sistem proteksi tersebut. Selain itu proteksi juga dapat membedakan apakah gangguan terdapat di daerah pengaman utama atau pengaman cadangan, dan proteksi harus bekerja secara *instant* atau dengan *delay* waktu.

e. Kecepatan (*Speed*)

Untuk memeperkecil/meminimalisir kerugian akibat dari gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin. [7]

2.2.3.2 Peralatan proteksi Jaringan Distribusi

Terdapat beberapa macam perlatan proteksi yang terpasangan dijaringan distribusi, peralatan tersebut diantaranya adalah Pemutus Tenaga (PMT), *Recloser*, *Fuse Cut Out* (FCO), *Sectionalizer* (SSO), Relay OCR dan GFR, dll.

1. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi *short circuit* / hubung singkat. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatann lain.

PMT dapat dibuka maupun ditutup secara manual melalui panel kontrol ketika sedang dilakukan pemeliharaan. Ketika kontak PMT dipisahkan, beda potensial di antara kontak tersebut menimbulkan medan elektrik di antara kontak

tersebut. Medan elektrik ini akan menimbulkan ionisasi yang mengakibatkan terjadinya perpindahan elektron bebas ke sisi beban sehingga muatan akan terus berpindah ke sisi beban dan arus tetap mengalir. Karena hal ini menimbulkan emisi termis yang cukup besar, maka timbul busur api (*arc*) di antara kontak PMT tersebut. Agar tidak mengganggu kestabilan sistem, maka *arc* tersebut harus segera dipadamkan oleh PMT [11].

Gambar 2- 6 PMT

2. *Recloser*

Gangguan pada jaringan distribusi boleh dibilang hampir 80 sampai 90% adalah gangguan sementara, sisanya 10 sampai 20% adalah gangguan semi permanen atau gangguan permanen [6].Gangguan sementara pada umumnya disebabkan karena sambaran petir atau kontak tidak langsung dengan benda-benda disekitar jaringan misalnya pohon - pohon. Gangguan ini dapat ditanggulangi dengan melakukan tripping, setelah dilakukan tripping biasanya dilakukan penutupan kembali dan berhasil secara otomatis sehingga sistem dapat pulih seperti semula [6].

Guna menanggulangi gangguan sementara yang jumlahnya cukup banyak dipasanglah *recloser* atau Penutup Balik Otomatis pada jaringan distribusi. Penutup Balik Otomatis (PBO) atau *recloser* merupakan pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kontrol dan relai penutup balik. *recloser* dipasang pada saluran utama tegangan menengah yang berfungsi mengamankan jaringan ketika terjadi gangguan, baik yang bersifat sementara maupun permanen

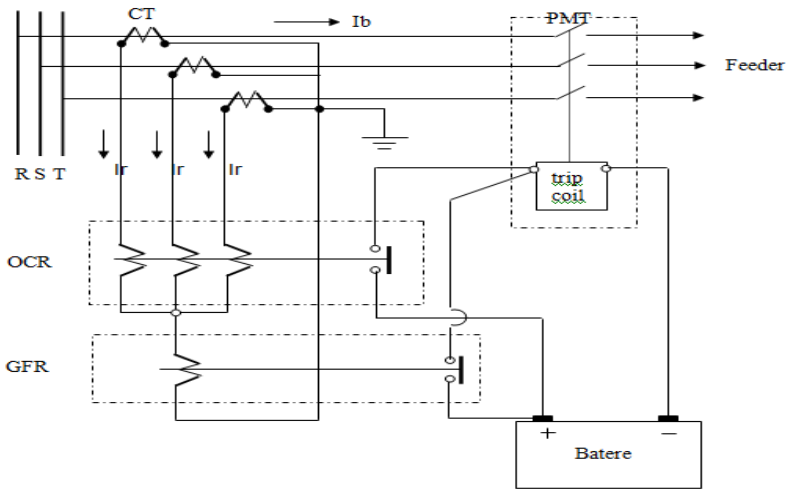
Gambar 2- 7 *Recloser*

3. Relay Arus Lebih Dan Hubung Tanah (*Overcurrent and earth fault protection*)

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubaan parameter arus yang sangat besar dan dalam waktu yang sangat singkat ketika terjadi gangguan hubung, proteksi arus lebih antara lain:

- Hubung singkat antar fasa atau yang dikenal sebagai proteksi arus lebih (*Overcurrent protection*) dan relay yang digunakan disebut dengan relay arus lebih (*Overcurrent relay*).

- Hubung singkat fasa tanah, dikenal sebagai proteksi hubung tanah (earth protection/ground fault protection) dengan relay yang digunakan untuk proteksi ini dikenal sebagai (*Ground fault relay*)[7].



Gambar 2- 8 Rangkaian Relay OCR dan GFR [9]

Secara prinsip ketika kondis normal arus beban primer (Ib) mengalir pada jaringan dan oleh trafo arus di tranformasikan menjadi besaran arus sekunder (Ir). Arus Ir yang mengalir pada relay nilainya lebih kecil dibanding dengan nilai setting sehingga relay tidak bekerja.

Jika terjadi arus hubung singkat maka nilai Ib akan naik sejalan dengan arus Ir yang ikut naik. Apabila arus Ir melebihi nilai setting pada relay maka relay bekerja dan memberi perintah kepada *trip coil* untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga jaringan yang terganggu dapat dipisahkan.

4. Pengaman lebur(*Fuse Cut Off*, FCO)

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus tenaga saat terjadi gangguan pada suatu jaringan. Pengaman ini memutuskan tenaga dengan cara meleburkan

elemen/komponen khusus yang telah dirancang dan disesuaikan dengan memanfaatkan *thermal* atau peningkatan suhu elemen yang diakibatkan oleh arus gangguan. Peleburan ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen yang terjadi pada suatu jaringan. Peleburan dirancang akan melebur/meleleh pada waktu tertentu dan nilai arus gangguan tertentu.

5. *Sectionalizer*

Sectionalizer atau sering disebut Saklar Seksi Otomatis adalah saklar yang dilengkapi dengan kontrol elektronik, yang digunakan sebagai pengaman seksi atau pengaman arus lebih pada sistem distribusi tenaga listrik, dan bekerjanya berkaitan dengan pengaman disisi sumber (seperti relai *recloser* atau PBO) pengaman ini menghitung jumlah operasi pemutusan sisi hulu (biasanya 2 atau 3 kali tripping) dan SSO ini membuka pada saat peralatan pengaman disisi hulunya sedang pada kondisi terbuka. Sesuai *standard continuous current rating* untuk line *Sectionalizer* adalah 10 s/d 600A. Sectoinalizer berfungsi juga mengisolir seksi SUTM yang terganggu secara otomatis. [11]

Gambar 2- 9 *Sectionalize*

2.2.4 Pengertian *Sectionalizer* (SSO)

Sectionalizer atau sering disebut Sakelar Seksi Otomatis (SSO) adalah saklar yang dilengkapi dengan kontrol elektronik, yang digunakan sebagai pengaman seksi, dan bekerjanya berkaitan dengan pengaman disisi sumber (seperti relai *recloser* atau PBO) . Sectoinalizer yang juga disebut AVS ini berfungsi mengisolir seksi SUTM yang terganggu secara otomatis.

2.2.4.1 Fungsi SSO

Berikut adalah fungsi-fungsi dari SSO:

a. SSO sebagai alat pemutus rangkaian/beban untuk memisah-misahkan saluran utama dalam beberapa seksi, agar pada keadaan gangguan permanen, luas daerah (jaringan) yang harus dibebaskan di sekitar lokasi gangguan sekecil mungkin.
b. Bila tidak ada PBO atau *relay recloser* di sisi sumber maka SSO tidak berfungsi otomatis (sebagai saklar biasa).
c. Membuka selama interval waktu alat proteksi *back up* telah memutus sirkuit
d. Tidak dapat memutus arus gangguan
e. Untuk mengisolasi seksi jaringan yang terganggu
f. Alat hubung khusus

Sectionalizer atau saklar seksi otomatis (SSO) adalah tipe alat hubung yang digunakan untuk mengisolasi seksi jaringan yang terganggu secara otomatis; segera seksi tersebut terputus suplai tenaga listriknya akibat pekerjaan PBO atau pemutus tenaga. Ia tidak dapat memutus arus gangguan dan sebenarnya membuka selama

interval waktu peralatan proteksi *back up* lainnya (yaitu pemutus tenaga atau PBO) telah memutus sirkuit [11].

Penggunaan SSO biasanya dipengaruhi oleh factor-faktor sebagai berikut :

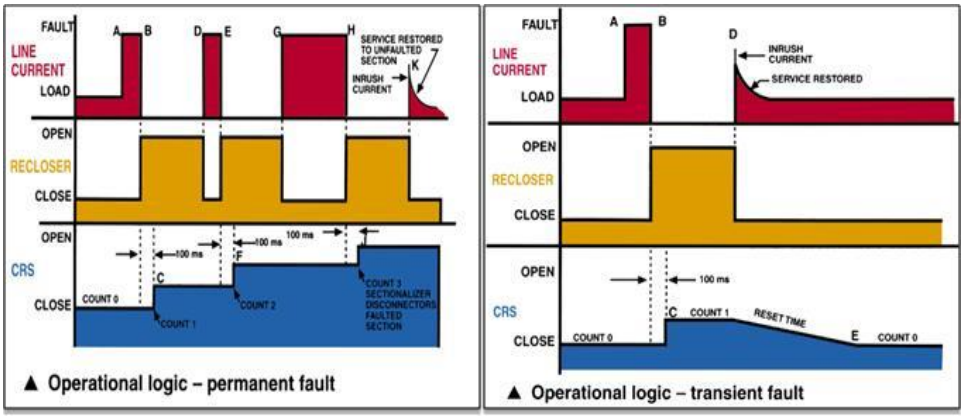
a. Tegangan sistem
b. Arus beban maksimal
c. Arus gangguan maksimal
d. Koordinasi dengan pengaman lain

2.2.4.1 Prinsip Kerja SSO

SSO biasanya bisa di temui Jaringan tegangan menengah. Berikut adalah prinsip kerja dari SSO:

a. SSO bekerjanya dikoordinasikan dengan pangaman di sisi sumber (seperti *relay recloser* atau PBO) untuk mengisolir secara otomatis seksi SUTM yang terganggu.
b. SSO pada pola ini membuka pada saat rangkaian tidak ada tegangan dan arus gangguan atau hubung singkat. Dengan kata lain, SSO terdapat 2 fungsi yaitu hilang tegangan (*VT*), dan hilang tegangan dan terdapat arus hubung singkat (*VIT*).
c. SSO ini dapat juga dipakai untuk membuka dan menutup rangkaian berbeban. Saklar ini bekerja atas dasar penginderaan tegangan.

SSO mempunyai alat penghitung yang selalu menghitung beberapa kali arus gangguan (yaitu arus yang besarya ada diatas harga yang sudah ditentukan sebelumnya) mengalir melalui. SSO dapat distel untuk membuka sesudah 1,2 atau 3 hitungan [4].



Gambar 2- 10 Prinsip Kerja *Sectionalizer* [3]

2.2.5 SCADA

SCADA merupakan kependekan dari *Supervisory Control and Data Acquisition*, sebuah sistem yang digunakan untuk mengawasi dan mengendalikan peralatan proses yang tersebar secara geografis. Alasan digunakannya SCADA adalah karena adanya kebutuhan untuk melakukan pengawasan langsung dari penyaluran tenaga listrik, yaitu dengan melakukan pengumpulan informasi keadaan peralatan atau perangkat di lapangan dan mengambil tindakan atas informasi tersebut secara remote atau jarak jauh secara *real time* dan terpusat.

2.2.5.1 Fungsi Dasar SCADA

SCADA memiliki beberapa fungsi dasar antara lain :

a. *Telemetering* (TM)

Mengirimkan informasi berupa pengukuran dari besaran-besaran listrik pada suatu saat tertentu, seperti : tegangan, arus, frekuensi. Pemantauan yang dilakukan oleh *dispatcher* diantaranya menampilkan daya nyata dalam MW, daya reaktif dalam MVAR, tegangan dalam KV, dan arus dalam A. Dengan

demikian *dispatcher* dapat memantau keseluruhan informasi yang dibutuhkan secara terpusat[11].

b. Telesinyal (TS)

Mengirimkan sinyal yang menyatakan status suatu peralatan atau perangkat. Informasi yang dikirimkan berupa status pemutus tegangan, pemisah, ada tidaknya alarm, dan sinyal-sinyal lainnya. Telesinyal dapat berupa kondisi suatu peralatan tunggal, dapat pula berupa pengelompokan dari sejumlah kondisi. Telesinyal dapat dinyatakan secara tunggal (*single indication*) atau ganda (*double indication*). Status peralatan dinyatakan dengan cara indikasi ganda. Indikasi tunggal untuk menyatakan alarm[11].

c. Telekontrol (TC)

Perintah untuk membuka atau menutup peralatan sistem tenaga listrik dapat dilakukan oleh *dispatcher* secara *remote*, yaitu hanya dengan menekan salah satu tombol perintah buka/tutup yang ada di *dispatcher*.

2.1.2.2 Fungsi Utama SCADA

Untuk dapat menjalankan tugasnya, dispatcher dibantu oleh sistem SCADA yang terintegrasi yang berada di dalam suatu ruangan khusus yang disebut *Control Center*. Ruangan tersebut adalah ruangan dimana ditempatkannya perangkat-perangkat komputer yang disebut *Master Station*. Sedangkan fungsi utama dari sistem SCADA adalah sebagai berikut:

a. Akuisisi Data

Informasi pengukuran dari sistem tenaga listrik seperti tegangan, daya aktif, dan frekuensi disimpan dan diproses secara *real time*, sehingga setiap ada perubahan nilai dari pengukuran dapat langsung dikirim ke master station.

b. Konversi Data

Data pengukuran dari sistem tenaga listrik seperti tegangan, daya aktif, dan frekuensi yang diperoleh tranducer awalnya berupa data analog untuk kemudian data tersebut dikirim oleh tranduser ke RTU. Oleh RTU data yang awalnya berupa data analog diubah menjadi data digital. Sehingga data yang dikirimkan ke master station berupa data digital.

c. Pemrosesan Data

Setiap data yang dikirim oleh RTU akan diolah di *master station*, sehingga data tersebut bisa langsung ditampilkan ke layar monitor dan dispatcher bisa membaca data-data tersebut.

d. *Supervisory* Data

Dispatcher dapat mengawasi dan mengontrol peralatan sistem tenaga listrik. *Supervisory control* selau menggunakan operasi dua tahap untuk meyakinkan keamanan operasi, yaitu pilihan dan tahap eksekusi.

e. Pemrosesan *Event* dan Alarm

Event adalah setiap kejadian dari kerja suatu peralatan listrik yang dicatat oleh SCADA. Misalnya, kondisi *normally close* (N/C) dan kondisi *normally open* (N/O). Sedangkan alarm adalah indikasi yang menunjukkan adanya perubahan status di SCADA. Semua status dan alarm pada telesinyal harus diproses

untuk mendeteksi setiap perubahan status lebih lanjut untuk *event* yang terjadi secara spontan atau setelah permintaan *remote control* yang dikirim dari control center.

f. *Tagging* (Penandaan)

Tagging adalah indikator pemberi tanda, seperti tanda masuk atau keluar. Tagging sangat bermanfaat untuk *dispatcher* di *control center*. *Tagging* digunakan untuk menghindari beroperasinya peralatan yang diberi tanda khusus, juga untuk memberi peringatan pada kondisi yang diberi tanda khusus.

g. Post Mortem Review

Melakukan rekonstruksi bagian dari sistem yang dipantau setiap saat yang akan digunakan untuk menganalisa setelah kejadian. Untuk melakukan hal ini, *control center* mencatat terus menerus dan otomatis pada bagian yang telah didefinisikan dari data yang diperoleh. Post mortem review mencakup dua fungsi, yaitu pencatatan dan pemeriksaan.

2.1.2.3 Bagian-Bagian SCADA

Sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri dan memerlukan dukungan dari berbagai macam infrastruktur, yaitu[11] :

a. *Remote Terminal Unit* (RTU)

Remote Terminal Unit (RTU) atau *Outstation Terminal Unit* (OTU) atau Unit Terminal Jarak Jauh adalah suatu peralatan *remote station* berupa *processor* yang berfungsi menerima, mengolah, dan meneruskan informasi dari *master station* ke sistem yang diatur dan sebaliknya, juga kemampuan *load shedding* yang dilengkapi *database*, nama penyulang, identifikasi, beban.

RTU terdiri dari beberapa modul yang ditempatkan pada suatu *backplane* dalam *rak/cubicle*. Modul-modul yang dimaksud adalah modul *power supply*, modul CPU, modul *communication*, modul digital *input* (DI), modul digital *output* (DO), dan modul analog *input* (AI). Berdasarkan penggunaannya, RTU dengan kapasitas I/O kecil dipasang pada jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20kV. Sedangkan RTU dengan kapasitas I/O sedang sampai besar dipasang di GI.

RTU secara umum adalah perangkat komputer yang dipasang di *remote station* atau dilokasi jaringan yang dipantau oleh *control center*. RTU ini merupakan rangkaian proses yang bertugas sebagai tangan, mata, dan alat pendengar sistem pengendalian dengan tugas pokok mengumpulkan data-data tentang status peralatan, data-data pengukuran dan melakukan fungsi remote control. Adapun fungsi utama dari RTU adalah sebagai berikut:

1) Mendeteksi perubahan posisi saklar (*open/close/invalid*).
2) Mengetahui besaran tegangan, arus, dan frekuensi di gardu induk.
3) Menerima perintah remote control dari pusat kontrol untuk membuka dan menutup relai.
4) Mengirim data dan informasi ke pusat kontrol yang terdiri dari status saklar, hasil eksekusi, dan nilai tegangan, arus, dan frekuensi.

b. Telekomunikasi

Telekomunikasi adalah komunikasi jarak jauh antara RTU dengan *master station* yang merupakan media untuk saling bertukar informasi. Komunikasi data digunakan untuk sistem SCADA. Komunikasi data menggunakan media

komputer yang diteruskan menjadi transmisi elektronik. Beberapa jenis media komunikasi yang digunakan pada PT. PLN diantaranya:

1) Radio Data

Komunikasi menggunakan media ini perlahan mulai ditinggalkan karena termasuk teknologi lama. Keunggulan dari media ini adalah mampu menjangkau daerah pelosok yang tidak memungkinkan penanaman kabel bawah tanah seperti fiber optik. Kelemahan yang paling mencolok dari media komunikasi ini adalah sangat bergantung pada kondisi cuaca karena transmisi radio menggunakan udara sebagai jalur transmisinya.

2) Fiber Optik

Media komunikasi jenis ini digunakan di daerah perkotaan dan efektif digunakan untuk komunikasi jarak jauh karena kecepatan transfer data yang unggul bila dibandingkan dengan media radio data dan kabel pilot. Pada PT. PLN Area Pengatur Distribusi (APD) Jatim menggunakan jaringan fiber optik milik ICON+ yang merupakan anak perusahaan dari PT. PLN.

c. *Master Station*

Mengumpulkan data dari semua RTU di lapangan dan menyediakan kepada operator tampilan dari informasi dan fungsi kontrol di lapangan. Master Station merupakan kumpulan perangkat keras dan lunak yang ada di control center. Desain untuk sebuah *master station* tidak akan sama, secara garis besar desain dari sebuah master station terdiri atas:

1) SCADA *Server*

2) Workstation

3) Historical Data

4) *Projection Mimic*, dahulu mesih menggunakan *Mimic Board*

5) *Peripheral* pendukung, seperti printer

6) Voice Recorder

7) *Global Positioning System*, untuk referensi waktu

8) Dispatcher Training Simulator

9) Aplikasi SCADA dan *energy management system*

10) *Uninterruptable Power Supply* (UPS), untuk menjaga ketersediaan daya listrik

11) *Automatic transfer switch* (ATS) dan *static tranfer switch* (STS) untuk mengendalikan aliran daya listrik menuju master station

Sebagai *control center*, perangkat yang ada di master station harus memenuhi beberapa persyaratan berikut:

1) Keamanan, kehandalan, dan ketersediaan sistem komputer.
2) Kemudahan, kelangsungan, keakuratan pengiriman, penyimpanan, dan pemrosesan data.
3) Kebutuhan dan kapabilitas sistem komputer.
4) Kemudahan untuk dioperasikan dan dipelihara.
5) Kemampuan untuk dikembangkan.

2.2.6 Peralatan Simulasi

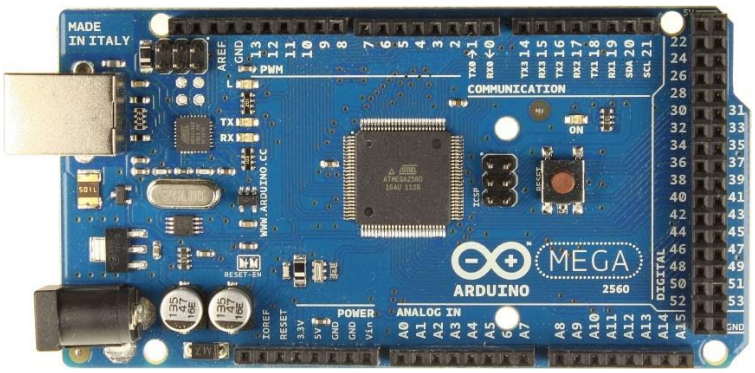
Pada sub bab ini, akan memuat dasar materi peralatan yang digunakan dalam pembuatan alat simulasi. Dalam membuat alat simulasi ini ada beberapa peralatan yang diperlukan,meliputi mikrokontroler, transformator, dioda, filter

kapasitor, regulator, resistor, relai, driver relai ULN2803 , sensor ACS712, dan resitor sebagai pembagi tegangan.

2.1.6.1 Mikrokontroler *Arduino Mega 2560*

Microcontroller adalah sebuah sistem komputer yang dibangun pada sebuah keping (*chip*) tunggal yang dapat dipergunakan untuk mengontrol alat. *Microcontroller* disusun oleh beberapa konponen, yaitu CPU *(Central Processing Unit), memory,* dan I/O (*Input Output*) [13]

Sedangkan Arduino Mega 2560 adalah papan *microcontroller* yang berbasis Atmega 2560. Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin *input/output* digital (14 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 pin sebagai *input* analog, 4 pin sebagai UARTs (*port serial* untuk *hardware*), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header* ICSP, dan tombol *reset.* Arduino Mega 2560 mempunyai *fiture* lengkap yang mampu mendukung *microcontroller* di dalamnya [13] .Gambar 2-11 dibawah ini merupakan foto dari bentuk fisik *Arduino Mega 2560.*



Gambar 2- 11 *Board* Arduino Mega 2560

(Sumber: *www.arduino.cc*, diakses tanggal 10 Juli 2018)

Tabel 2- 2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
Input Voltage (disarankan)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	54 (yang 15 pin digunakan sebagai *output* PWM)
Pins *Input* Analog	16
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	256 KB (8 KB digunakan untuk *bootloader*)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Arduino Mega 2560 dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Sumber daya eksternal (non-USB) dapat berasal dari adaptor AC-DC atau baterai. *Board* Arduino Mega 2560 dapat beroperasi dengan daya eksternal 6V sampai 20V. Jika tegangan kurang dari 7V, maka pin 5V mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5V dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak *Board*. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 – 12V. Pin-pin pada bagian power yang terdapat pada Arduino Mega 2560 adalah sebagai berikut :

1. VIN : Tegangan input ke *Board* Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5V dari koneksi USB atau sumber daya lainnya). Memasok tegangan melalui pin ini atau melalui colokan listrik.

2. 5V : Pin ini output 5V diatur dari regulator di papan Arduino. Diaktifkan dengan daya baik dari colokan listrik DC(7 -12V), konektor USB(5V), atau pin VIN (7-12V). Menyediakan tegangan melalui 5V atau pin 3.3V melewati regulator.
3. 3V : Sebuah pasokan 3,3 Volt dihasilkan oleh *regulator on-board.* Menarik arus maksimum 50mA.
4. GND adalah pin *ground*.
5. IOREF : Pin ini di papan Arduino memberikan tegangan referensi.

Pada Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin dengan masing-masing pin dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode* (), *digitalWrite* (), dan *digitalRead* (). Mereka beroperasi pada tegangan 5 Volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up internal* (terputus secara default) dari 20-50 kOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki spesialisasi fungsi seperti berikut :

1. *Serial*

0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan *18 (TX); Serial 2: 17 (RX)* dan *16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX).* Digunakan sebagai *Receiver (RX)* dan *Transciver (TX) TTL data serial. Pins* 0 dan 1 juga terhubung ke pin yang sesuai dari *ATmega16U2 USB-to-Serial TTL*

2. *Eksternal Interruption*

External Interruption : 2 (0 *interrupt*), 3 (*interrupt* 1), 18 (*interrupt* 5), 19 *(interrupt* 4), 20 (*interrupt* 3), dan 21 (*interrupt* 2). Pin ini dapat

dikonfigurasi untuk memicu interrupt pada nilai yang rendah, naik atau jatuh atau perubahan nilai.

3. PWM

Pin 2-13 dan 44-46 Menyediakan 8-bit PWM keluaran dengan *analogWrite* () function.

4. SPI

Pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan SPI Library. Pin SPI juga terputus pada header ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Uno, Duemilanove dan Diecimila.

5. LED

Pin 13. Terdapat *built-in* LED yang terhubung ke pin digital 13 Ketika pin pada nilai besar, LED menyala, ketika pin yang rendah, akan mati.

6. TWI I^2C

Pin 20 (SDA) dan Pin 21 (SCL). Dukungan komunikasi TWI menggunakan *Wire Library*.

Arduino Mega 2560 mempunyai 16 pin *input analog* yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara otomatis pin ini dapat diukur/diatur mulai dari ground sampai 5 V, meskipun bisa juga merubah titik jangkauan tertinggi menggunakan pin AREF dengan fungsi *analogReference*(). Pin lain yang ada *Board* yaitu AREF, untuk mengubah tegangan referensi pada *input analog* dan *Reset* (untuk menghidupkan ulang mikrokontroler).

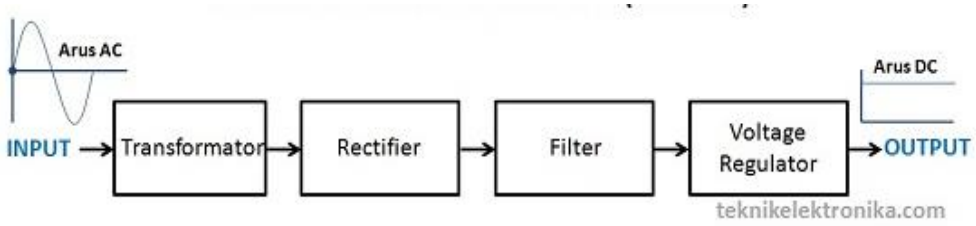
Arduino Mega 2560 memiliki 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (yang 8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM). Selain itu, Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, bahkan mikrokontroler lain. *Arduino Mega* 2560 menyediakan empat UART *hardware* untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah chip ATmega16U2 yang terdapat pada papan digunakan sebagai media komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai COM *Port Virtual* (pada Device komputer) untuk berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer. Perangkat lunak Arduino termasuk di dalamnya serial monitor memungkinkan data tekstual sederhana dikirim ke dan dari papan Arduino. LED RX dan TX (pada pin 13) akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui chip USB-to-serial yang terhubung melalui USB komputer (tetapi tidak berlaku untuk komunikasi serial seperti pada pin 0 dan 1).

Arduino Mega dapat diprogram dengan software Arduino IDE yang dapat di download pada situs resmi Arduino. *Software* ini juga sebagai sarana memastikan komunikasi Arduino dengan komputer berjalan dengan benar.

2.2.6.2 Rangkaian Catu Daya

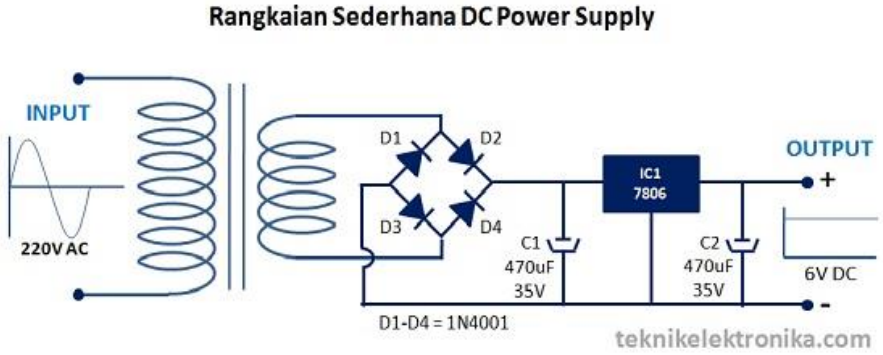
Arus listrik yang kita gunakan pada umumnya adalah arus bolak- balik atau arus *AC (Alternating Current)*. Akan tetapi, peralatan elektronika yang kita gunakan sekarang ini sebagian besar membutuhkan arus *Direct Current (DC)* dengan tegangan yang lebih rendah untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu, hampir setiap peralatan elektronika memiliki sebuah rangkaian yang berfungsi

untuk melakukan konversi arus yang sesuai dengan rangkaian elektronikanya. Rangkaian yang mengubah arus istrik *AC* menjadi *DC* ini disebut dengan *DC Power Supply* atau Catu Daya, dikenal juga sebagai adaptor. Blok diagram *DC Power Supply* adalah[13] :



Gambar 2- 12 Diagram Blok DC *Power Supply* [13]

Rangkaian sederhana *DC Power Supply* dijelaskan pada gambar dibawah ini:

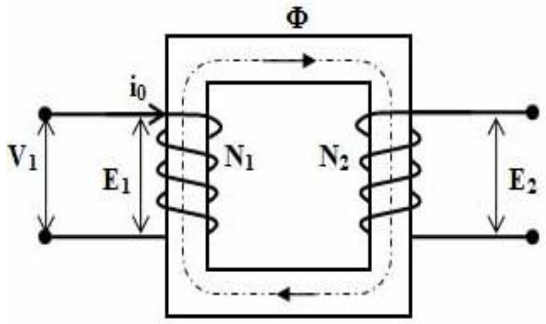


Gambar 2- 13 Rangkaian DC *Power Supply* [13]

2.2.6.3 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi Listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet dan

berdasarkan prinsip induksi elektromagnet.[19] Trafo terdiri atas inti besi dengan kumparan-kumparan yang ada di sisi primer dan sisi sekunder. Prinsip kerja trafo berdasarkan hukum Faraday yang berbunyi " *Setiap perubahan medan magnet pada kumparan akan menyebabkan gaya gerak listrik (GGL) Induksi yang sebanding dengan laju perubahan fluks*".



Gambar 2-14 Bagan Sederhana Transformator

Jika pada salah satu kumparan diberi arus bolak-balik yang mengalir pada inti besi, maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Maka timbulah induksi di sisi primer, begitu pula pada sisi sekunder jika diberi arus bolak-balik, akibatnya kedua ujung terdapat beda tegangan dan timbul gaya gerak listrik. Besar tegangan keluaran (GGL) dari sebuah transformator, nilainya berbanding lurus dengan besar perubahan fluks pada saat terjadi induksi. Jika kumparan primer suatu transformator dihubungkan ke sumber tegangan bolak balik, sementara kumparan sekunder dalam keadaan tidak dibebani, maka di kumparan primer mengalir arus yang disebut dengan arus beban nol (1o). Arus ini akan membangkitkan fluks bolak-balik pada inti. Fluks bolak-balik ini dilingkupi oleh kumparan primer dan kumparan sekunder, sehingga pada kedua kumparan timbul gaya gerak listrik yang besarnya

$E_1 = 4.44.N_1.f_1.\phi$…….(persamaan 2.21)

$E_2 = -4.44.N_2.f_2.\phi$ ……..(persamaan 2.22)

Pada persamaan di atas diketahui bahwa:

E_1 = Gaya gerak listrik pada kumparan primer (Volt)

E_2 = Gaya gerak listrik pada kumparan sekunder (Volt)

N_1 = Jumlah belitan kumparan primer

N_2 = Jumlah belitan kumparan sekunder

f = frekuensi tegangan sumber (Hz), dan

ϕ = fluks magnetik pada inti (weber)

Sehingga, didapat rumus :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$ ……..(persamaan 2.23)

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban ZL, I2 mengalir pada kumparan sekunder sebesar $I_2=V_2/Z_L$. Arus beban I2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) N_2I_2 yang cenderung menentang fluks yang ada akibat arus pemagnetan (I_M). Agar fluks tidak berubah nilainya, maka pada kumparan primer harus mengalir arus sebesar $I_1 = I_0 + I_2$. Sehingga berlaku hubungan :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$……(persamaan 2.24)

Sehingga didapatkan perbandingan transformasinya adalah :

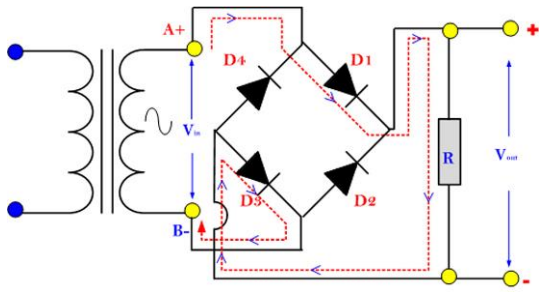
$$a = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{E_1}{E_2} \times \frac{N_1}{N_2}$$ ……..(persamaan 2.25)

2.2.6.4 Dioda

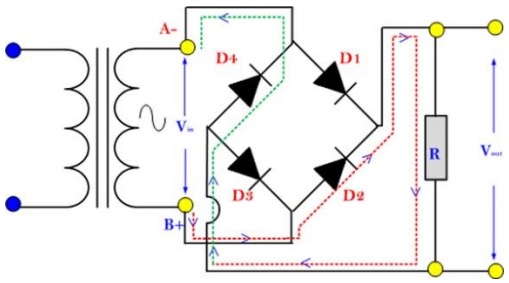
Dioda merupakan komponen listrik yang sering dipergunakan dalam beberapa aplikasi misalnya dalam rangkaian yang digunakan untuk merubah arus listrik AC menjadi DC karena sebagian besar peralatan elektronika menggunakan sumber daya listrik 220 volt/50 Hz dari PLN.

Dioda adalah suatu komponen elektronik yang dapat melewatkan arus pada satu arah saja. Penyearah gelombang merupakan rangkaian yang mengubah gelombang sinus AC menjadi deretan pulsa DC. Ini merupakan dasar atau langakah awal untuk memperoleh arus DC halus yang dibutuhkan suatu peralatan elektronika.

Penyearah gelombang penuh yang paling banyak digunakan adalah penyearah jembatan. Dengan menggunakan 4 buah diode menggunakan transformator *non* CT.

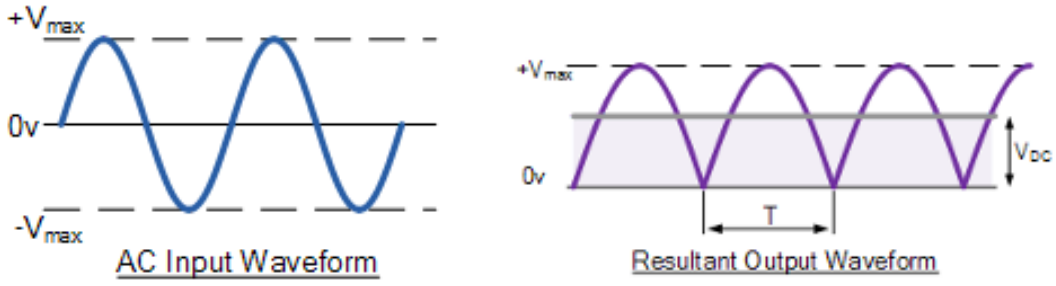


Gambar 2- 15 Dioda Bridge Siklus Positif [13]



Gambar 2- 16 Dioda Bridge Siklus Negatif [13]

Gambar 2- 15 dan 2- 16 menunjukkan penyearah dengan dioda bridge. Pada gambar 2-15 menujukkan saat siklus positif yang membias forward adalah D1 dan D3. Sedangkan pada saat siklus negarif, yang membias forward adalah D2 dan D4. Karena dioda hanya menghasilkan gelombang yang dibias forward, maka gelombang yang dibias *reverse* tidak akan dimunculkan oleh dioda sehingga muncul arus searah seperti pada gambar



Gambar 2- 17 Gelombang yang Dihasilkan Penyearah Penuh [13]

Output dari penyearah gelombang penuh yang lebih rapat dari penyearah setengah gelombang menyebabkan riak (*ripple)* yang ada pada tegangan DC menjadi lebih kecil. Akibatnya *output* dari penyearah gelombang penuh menjadi lebih halus dan lebih stabil dari penyearah setengah gelombang.

Agar dapat digunakan dalam peralatan elektronika, arus yang telah disearahkan oleh diode harus dihaluskan terlebih dahulu. Cara paling sederhana untuk menghaluskan suatu keluaran adalah dengan menyambungkan suatu kapasitor berkapasitansi besar sepanjang terminal keluarannya[13] .

2.2.6.5 Filter Kapasitor

Filter atau penyaring merupakan bagian yang terdiri dari kapasitor yang berfungsi untuk memperkecil tegangan riak (*ripple*) yang tidak dikehendaki. Suatu kapasitor dibentuk oleh dua plat logam yang terpisah oleh isolator[13]. Dari dua pelat logam, dipisahkan dengan lapisan tipis isolator yang disebut dielektrik. Kapasitor memiliki kemampuan menyimpan sejumalah mautan listrik dalam bentuk kelebihan electron pada suatu pelat dan kekurangan electron pada pelat lainnya. Suatu kapasitor menyimpan sejumlah kecil muatan listrik. Kapasitor dapat diumpamakan sebagai baterai kecil yang dapat dimuat ulang dengan cepat.

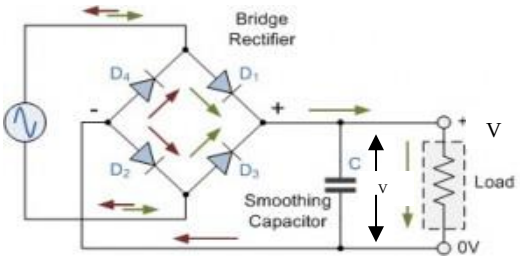
Kapasitor memiliki tipe-tipe tersendiri yaitu, kapasitor polyester, kapasitor mika, kapasitor keramik, kapasitor elektrolitik dan sebagaianya.

Gambar 2- 18 Jenis-Jenis Kapasitor [13]

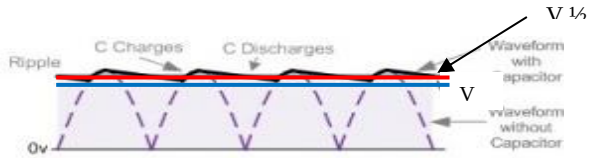
Memilih suatu kapasitor untuk aplikasi tertentu harus mempertimbangkan nilai, tegangan kerja, dan arus bocor. Nilai dari kapasitor yang ada dipasaran

biasanya memiliki besaran dalam mikroFarad. Tegangan kerja dari kapasitor adalah tegangan maksimum yang dapat diberikan antara pelat kapasitor tanpa merusak isolator dielektriknya. Dalam praktiknya tidak ada kapasitor yang sempurna, pasti akan terjadi kebocoran antar pelatnya. Nilai arus bocor pada kapasitor harus kecil agar fungsi kapasitor dapat maksimal. Pada saat dialiri dengan arus AC, maka kapasitor dapat berperan sebagai resistan yang besar.

Prinsip kerja dari penyaring ini sesuai dengan prinsip pengisian dan pengosongan muatan kapasitor. Supaya tegangan yang dihasilkan penyearah gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC, maka dipasang *filter* kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah.



(a)



(b)

Gambar 2- 19 Rangkaian Penyearah Gelombang [13]

(a) Gambar Pemasangan *Filter* pada Rangkaian Penyearah Gelombang

(b) Bentuk Gelombang *Output* Hasil Rangkaian Penyearah

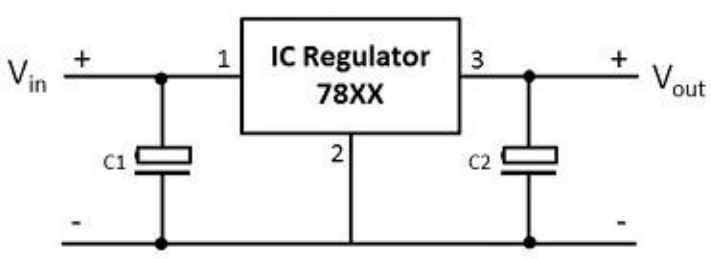
Fungsi kapasitor pada rangkaian di atas untuk menekan riak (*ripple)* yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang *filter* kapasitor

maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC *(Direct Current)*

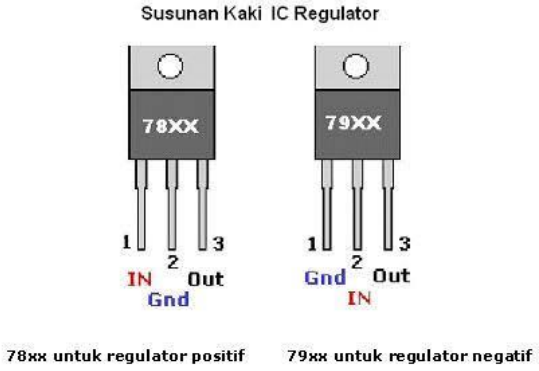
2.2.6.6 *Regulator* Tegangan

Regulator Tegangan diperlukan untuk menstabilkan tegangan yang sudah disearahkan. Ketidakstabilan suatu sumber daya bisa disebabkan oleh perubahan jaringan AC dari PLN atau dipengaruhi perubahan beban. Regulator tegangan ini mampu mengatasi kedua jenis perubahan tersebut. Rangkaian regulator tegangan dikemas dalam bentuk rangkaian yang terintegrasi *Intergrated Circuit* (IC). Tergantung pula dari kebutuhan akan sumber daya, maka regulator tegangan dapat dibuat tetap atau dibuat bervariasi. Regulator tegangan dengan keluaran bervariasi berarti tegangan yang dihasilkan dapat diatur dengan *range* tertentu.

Regulator tegangan yang sekarang banyak digunakan adalah dalam bentuk *Intergrated Circuit* (IC). IC regulator tegangan tetap memiliki seri 78XX untuk tegangan positif dan seri 79XX untuk tegangan negatif. Besar tegangan output IC seri 78XX dan 79XX ini dinyatakan pada dua angka terakhir serinya. Contoh IC 7812 adalah regulator tegangan positif dengan tegangan output 12 V, sedangkan IC 7912 adalah regulator tegangan negatif dengan tegangan output -12 V.



Gambar 2- 20 Penstabil Tegangan[25].



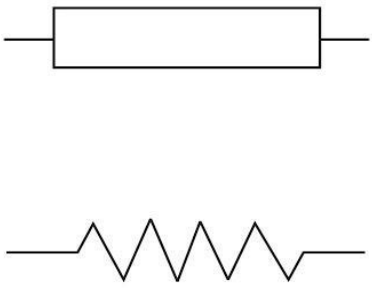
Gambar 2- 21 Susunan Kaki IC Regulator 7812 dan 7912[25].

Tabel 2- 3 Tegangan Input IC Regulator

Tipe Regulator	Vin min	Vin maks	Vout
7805	8 V	20 V	5 V
7808	11,5 V	23 V	8 V
7812	15,5 V	27 V	12 V
7824	28 V	38 V	24 V

2.2.6.7 Resistor

Resistor adalah komponen dasar elektronika yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam suatu rangkaian. Resistor bersifat resitif dan umumnya terbuat dari bahan karbon. Resistor biasanya di desain dengan lambang R dan satuan resistansi dari suatu resistor disebut Ohm yang dilambangkan dengan simbol Ω (Omega) [15]

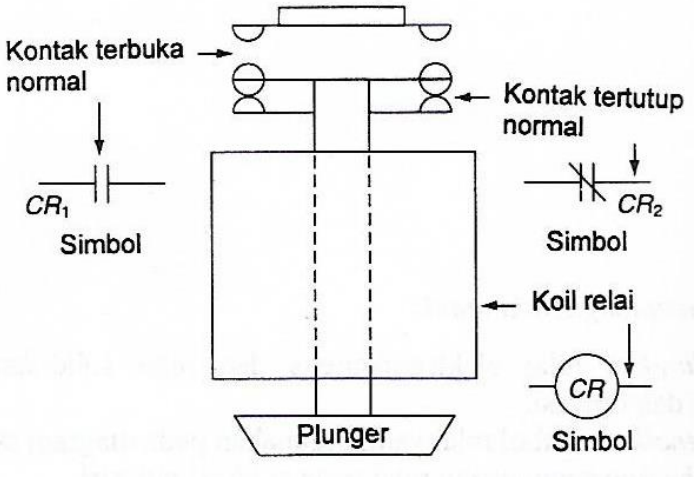


Gambar 2- 22 Simbol Resistor

Fungsi lain resistor adalah sebagai pembatas arus listrik, dapat dijadikan sebagai pembagi dari tegangan listrik dan sebagai penurun dari tegangan arus listrik.

2.3.6.5 Relai

Relai adalah saklar magnetis [16]. Relai digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian beban dengan pemberian energi elektromagnetik. Posisi kontak relai saat *open* dan *close* ditunjukkan pada gambar 2-23.



Gambar 2- 23 Konstruksi Relai [16]

(Sumber: Buku Elektronik Industri, Frank D Petruzella : 2001)

Pada gambar 2- 23, konstruksi relai terdiri dari kumparan atau koil dan kontak yang bergerak terpasang dengan plunger yang sering juga disebut kontak *common* dan kontak diam. Kontak diam yang keadaan normal tidak terhubung dengan kontak bergerak disebut NO (*normally open*), sedangkan Kontak diam yang keadaan normal terhubung dengan kontak bergerak disebut NC (*normally close*). Apabila kumparan relai diberi tegangan, maka akan terjadi medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik menyebabkan plunger bergerak ke atas menuju kumparan relai, sehingga terjadi perubahan posisi kontak *common*. Kontak *common* yang semula terhubung dengan kontak NC (*normally close*) menjadi tidak terhubung. Sedangkan kontak NO (*normally open*) yang kondisi awal tidak terhubung menjadi terhubung dengan kontak *common*.

Kontak NO (*normally open*) akan membuka ketika kumparan relai tidak mendapat tegangan *supply* dan akan menutup jika kumparan relai mendapat tegangan *supply*. Sedangkan kontak NC (*normally close*) akan membuka ketika kumparan relai mendapat tegangan *supply* dan akan menutup jika kumparan relai tidak mendapat tegangan *supply*. Pada umumnya sebuah relai memiliki kontak lebih dari satu, sedangkan kumparan relai berjumlah satu.

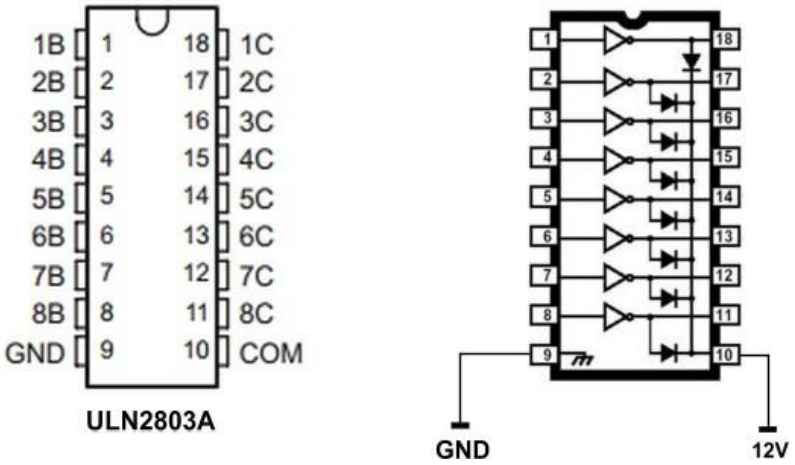
Kumparan relai dan kontak relai mempunyai kapasitas yang berbeda. Kumparan relai sangat peka terhadap pada rentang arus yang sangat kecil, sedangkan kontak dirancang dirancang untuk kemampuan kerja arus dan tegangan yang lebih tinggi. Apabila relai digunakan pada suatu aplikasi, maka langkah pertama adalah harus menentukan tegangan kontrol (kumparan) pada relai yang

akan bekerja[15]. Sedangkan dalam menentukan spesifikasi kontak relai yang terpenting unjuk kerja arus. Tiga ukuran kerja arus adalah sebagai berikut [15] :

- *In-rush* atau kapasitas menghubungkan kontak.
- Kapasitas normal atau kapasitas mengalirkan terus-menerus.
- Kapasitas membuka atau kapasitas menutup.

2.2.5.8 *Driver Relay* ULN2803

Driver relay merupakan rangkaian yang digunakan untuk menggerakkan *relay*. Rangkaian ini digunakan sebagai *interface* antara *relay* yang memiliki tegangan kerja bervariasi (misal 12 V) dengan *microcontroller* yang hanya bertegangan 5 V. Sebab, tegangan *output microcontroller* sebesar 5V tersebut belum bisa digunakan untuk mengaktifkan *relay*. Gambar 2-24 merupakan diagram *pin-out* dari ULN2803.



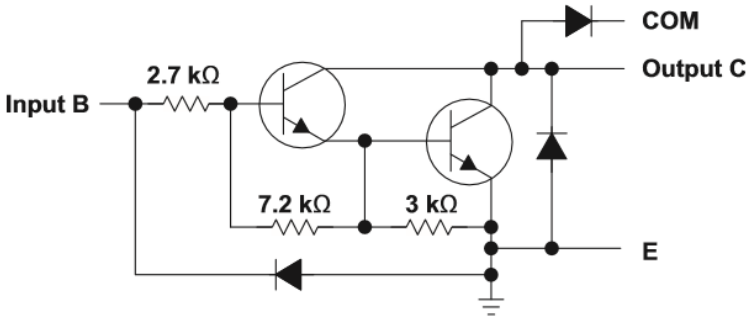
Gambar 2- 24 Pin-out Diagram ULN 2803 [17]

ULN2803 merupakan salah satu *chip* IC yang mampu difungsikan sebagai *driver relay*. IC ini mempunyai 8 buah pasangan transistor Darlington NPN, dengan tegangan *output* maksimal 50 V dan arus setiap pin mencapai 500mA. ULN2803

mempunyai 18 pin dengan rincian pin 1-8 digunakan untuk menerima sinyal tingkat rendah, pin 9 sebagai *ground*, pin 10 sebagai *Vcc*, dan pin 11-18 merupakan *output*.

Pasangan transistor Darlington adalah penggabungan dua buah transistor bipolar dan umumnya mempunyai beta yang sama. Keuntungan transistor Darlingto*n* yakni mempunyai impedansi input tinggi dan impedansi *output* rendah serta memilik penguatan *(gain)* yang tinggi karena hasil penguatan transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor yang kedua [18]

Pasangan Darlington didalam IC ULN 2803 ditunjukkan pada gambar 2-25 berikut.



Gambar 2- 25 Pasangan Darlington Dalam ULN2803 [17]

(Sumber: *Datasheet ULN2803, Texas Instrument*)

Gambar 2-25 menunjukkan rangkaian internal dalam setiap pin dalam ULN 2803, dimana transistor dimanfaatkan sebagai saklar untuk memacu kerja *relay*. Terlihat bahwa rangkaian Darlington terdiri dari dua buah transistor bipolar yang penguatannya lebih tinggi karena arus akan dikuatkan oleh transistor pertama dan akan dikuatkan lagi oleh transistor yang kedua untuk mendapatkan arus yang besar yang disebut ß atau h_{FE}.

Ketika *input* belum mendapat tegangan, maka transistor satu (Q1) dan transistor dua (Q2) tidak akan aktif karena tidak adanya arus yang mengalir ke basis. Namun ketika *input* mendapat tegangan 5 Volt, maka arus arus *input* akan naik sehingga kedua transistor Q1 dan Q2 akan aktif/bekerja. Arus *input* Q2 merupakan kombinasi dari arus *input* dan arus emiter dari Q1, sehingga Q2 akan mengalirkan arus lebih banyak daripada Q1. Arus yang mengalir keluar dari Q2 akan memberikan jalan bagi rangkaian yang tersambung pada *output ULN2803*, misalnya relay, untuk tesambung ke *ground.* Sehingga bisa dikatakan bahwa *output* dari ULN2803 adalah nol atau *ground.*

2.2.5.9 Sensor Arus ACS712

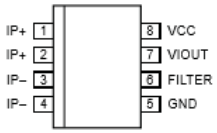
ACS712 merupakan suatu IC terpaket yang berfungsi sebagai sensor arus menggantikan transformator arus yang relatif besar dalam hal ukuran. ACS712 merupakan sensor yang ekonomis dan presisi baik untuk pengukuran AC ataupun DC dan sensor ini memiliki tipe variasi sesuai arus maksimalnya yakni 5A, 20A, dan 30A dengan *Vcc* 5V.

Beberapa fitur dari sensor arus ACS712 adalah :

1. Waktu kenaikan perubahan luaran adalah 5 µs.
2. Lebar frekuensi sampai dengan 80 kHz.
3. Total kesalahan luaran 1,5% pada suhu TA=25ºC.
4. Memiliki sensitivitas 185 mV/A dengan *range* pengukuran 5V.
5. Mampu mengukur arus AC maupun arus DC.
6. Tegangan kerja 5 V DC.

Gambar 2-27 dibawah menunjukkan diagram *pinout* dari sensor arus *ACS712.*

Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP–	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

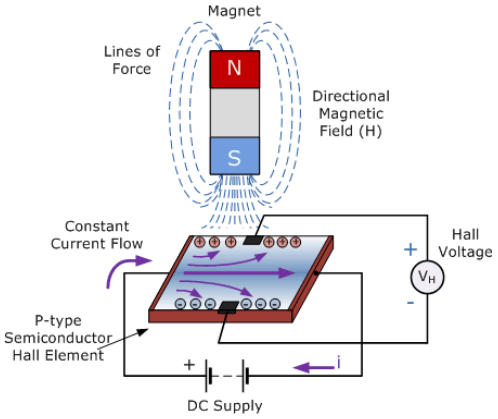
Gambar 2- 26 Pin-out Diagram ACS712 [19]

Sensor ACS712 yang menggunakan prinsip efek *Hall* akan mendeteksi arus yang mengalir melalui pin IP+ dan IP- dan memberikan output berupa tegangan. Keuntungan dari penggunaan sensor efek *Hall* adalah sirkuit yang dialiri arus (pin 1,2,3, dan 4) dengan sirkuit yang membaca besaran arus (pin 5 sampai 8) terisolasi secara elektris. Artinya, meskipun Arduino beroperasi pada tegangan 5V, namun pada sirkuit yang dialiri arus bisa diberi level tegangan DC maupun AC yang lebih besar dari tegangan tersebut.

Pada ACS712, pendeteksian arus dimulai dengan fenomena yang dinamakan Hukum *Faraday* tentang induksi. Hukum ini menjelaskan bagaimana arus listrik yang mengalir melalui konduktor akan menimbulkan medan elektromagnetik, dan bagaimana perubahan pada medan elektromagnetik dapat membuat atau menginduksi arus ke konduktor.

Tahap selanjutnya adalah efek *Hall*. Efek *Hall* adalah peristiwa membeloknya arus listrik di dalam pelat konduktor karena adanya pengaruh medan magnet [20]

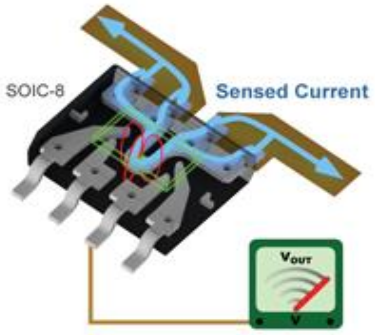
Ketika arus listrik (I) mengalir pada lempengan logam dan logam tersebut terpengaruh oleh medan magnet (B) yang tegak lurus dengan arus, maka pembawa muatan *(charge carrier)* yang bergerak pada logam akan mengalami pembelokan oleh medan magnet tersebut. Akibat dari proses itu akan terjadi penumpukan muatan pada sisi-sisi logam setelah beberapa saat. Penumpukan atau pengumpulan muatan dapat menyebabkan sisi logam menjadi lebih elektropositif ataupun elektronegatif tergantung pada pembawa muatannya. Perbedaan muatan di kedua sisi logam ini menimbulkan perbedaan potensial yang disebut sebagai Potensial *Hall* [21] . Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2-27 berikut.



Gambar 2- 27 Prinsip Kerja Efek Hall [22]

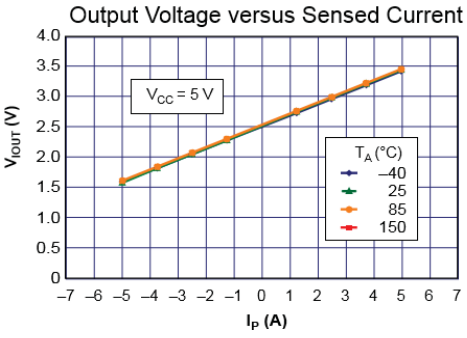
Pada *ACS712* pin yang dialiri arus akan terhubung ke konduktor tembaga yang terhubung secara internal sehingga arus akan banyak mengalir pada bagian ini. ACS712 memiliki sensor efek *Hall* yang diletakkan di dekat konduktor tembaga sehingga jika arus mengalir melalui konduktor dan menghasilkan medan magnet,

medan magnet ini akan dideteksi oleh sensor efek *Hall* (berupa lempengan bahan semikonduktor) yang *output*nya berupa tegangan dengan nilai sesuai dengan arus *input*. Proses deteksi arus ACS712 ini ditunjukkan dalam gambar 2-28 berikut.



Gambar 2- 28 Prinsip Kerja Sensor Arus ACS 712 [23]

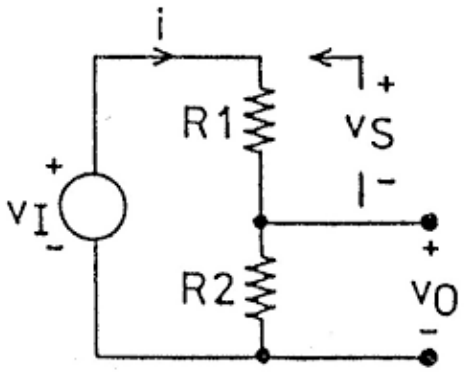
Karakteristik dari sensor ini adalah ketika tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian maka keluaran sensor adalah setengah dari *Vcc* yaitu 2,5 V. Dan ketika arus mengalir dari pin IP+ ke IP-, maka keluaran akan >2,5 V, sedangkan ketika arus mengalir dari IP- ke IP+ maka keluaran akan <2,5 V. Gambar 2-26 Menunjukkan hubungan antara tegangan *output* dengan arus yang dideteksi sensor.



Gambar 2- 29 Hubungan Tegangan Output dengan Arus [18]

2.2.5.10 Resistor sebagai Pembagi Tegangan

Dalam elektronik, pembagi tegangan (juga dikenal sebagai pembagi potensial) adalah sebuah rangkaian elektronika linear yang akan menghasilkan tegangan output (Vout) yang merupakan sebagian kecil dari tegangan masukan (Vin). Pembagi tegangan biasanya menggunakan dua resistor atau dibuat dengan satu potensiometer. Tegangan output tergantung dari nilai-nilai komponen resistor atau dari pengaturan potentiometer. Ketika pembagi tegangan diambil dari titik tengah, tegangan akan terbagi sesuai dengan nilai hambatan (resistor atau potensiometer) yang di pasang dalam hal ini pembagi tegangan dapat digunakan sebagai sensor tegangan.



Gambar 2- 30 Rangkaian Resistor Sebagai Pembagi Tegangan [24]

2.2.5.11 Ethernet Shield

Ethernet Shield menambah kemampuan arduino board agar terhubung ke jaringan komputer. Perangkat *Ethernet Shield* ditunjukkan pada gambar 2-28

Gambar 2- 31 Ethernet Shield [25]

(Sumber: *Datasheet Ethernet Shield*)

Ethernet shield berbasiskan *chip* ethernet *Wiznet W5100*. Ethernet *library* digunakan dalam menulis program agar arduino board dapat terhubung ke jaringan dengan menggunakan *ethernet shield*. Pada *ethernet shield* terdapat sebuah slot *micro-SD*, yang dapat digunakan untuk menyimpan file yang dapat diakses melalui jaringan. Onboard *micro-SD* card reader diakses dengan menggunakan *SDlibrary*. Arduino board berkomunikasi dengan *W5100* dan *SD card* mengunakan bus *SPI (Serial Peripheral Interface)*. Komunikasi ini diatur oleh library *SPI.h* dan *Ethernet.h*.

Bus SPI menggunakan pin digital 11, 12 dan 13 pada *Arduino Uno* dan pin 50, 51, dan 52 pada Mega. Pin digital 10 digunakan untuk memilih *W5100* dan pin digital 4 digunakan untuk memilih *SD card*. Pin-pin yang sudah disebutkan sebelumnya tidak dapat digunakan untuk input/output umum ketika kita

menggunakan ethernet shield. Karena *W5100* dan *SD card* berbagi bus *SPI*, hanya salah satu yang dapat aktif pada satu waktu.

Jika menggunakan kedua perangkat dalam program kita, hal ini akan diatasi oleh *library* yang sesuai. Jika tidak menggunakan salah satu perangkat dalam program, perlu secara eksplisit mendeselect-nya. Untuk melakukan hal ini pada SD card, set pin 4 sebagai output dan menuliskan logika tinggi padanya, sedangkan untuk *W5100* yang digunakan adalah pin 10.

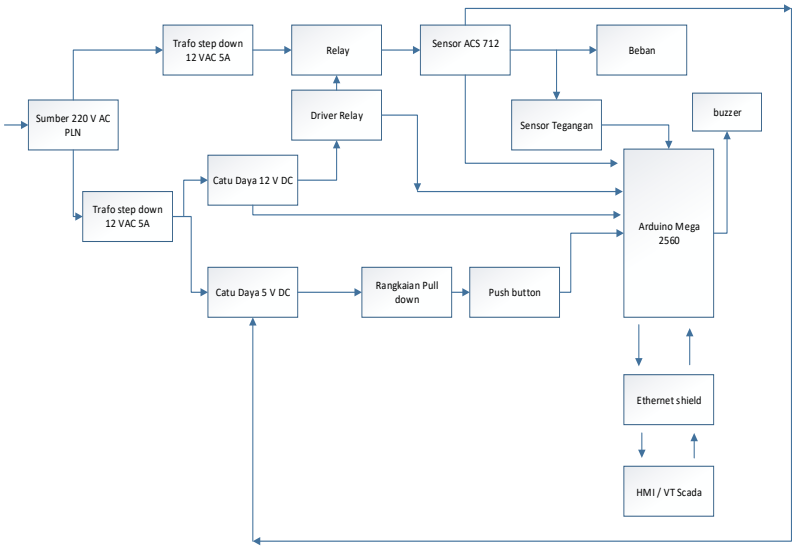
Untuk menghubungkan Ethernet Shield dengan jaringan, dibutuhkan beberapa pengaturan dasar. Yaitu Ethernet Shield harus diberi alamat MAC *(Media Access Control)* dan alamat IP *(Internet Protocol)*. Sebuah alamat MAC adalah sebuah identifikasi unik secara global untuk perangkat tertentu.Alamat IP yang valid tergantung pada konfigurasi jaringan. Hal ini dimungkinkan untuk menggunakan *DHCP (Dynamic Host Configuration Procotol)* untuk secara dinamis menentukan sebuah IP. Selain itu juga diperlukan *gateway* jaringan dan *subnet* [26].

BAB III

SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS /SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI)

3.1 Blok Diagram

Untuk menjelaskan inti materi dalam Tugas Akhir ini yaitu Prinsip Kerja SSO sebagai Proteksi Cadangan, penyusun membuat alat yang digunakan sebagai simulator yang terkait dengan isi bahasan. Blok diagram dibawah ini dapat memudahkan pemahaman mengenai alat yang dibuat penyusun.



Gambar 3- 1 Blok Diagram Alat

Dari gambar 3-1 menerangkan tentang diagram blok alat tersebut. Alat simulator ini terdiri dari 2 perangkat, yaitu: perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat keras (*hardware*) tersusun atas catu daya 12 volt, catu daya 5 volt, rangkaian *push button*, rangkaian *driver relay,* Arduino Mega 2560, dan sensor tegangan.. Sedangkan untuk perangkat lunak (*software*) terdiri atas perancangan *software* Arduino Mega dan *software* pada tampilan program VTScada.

Pada diagram blok tersebut penyusun secara tersirat menyampaikan bahwa alat simulator tersebut sudah memenuhi 3 unsur, yaitu unsur *input* (masukan), proses, dan keluaran (*Output*).

a. Unsur masukan (*input*) yaitu catu daya, sensor tegangan, sensor arus, dan push button
b. Unsur proses, yaitu Arduino Mega 2560

c. Unsur keluaran (*output*) yang terdiri atas, rangkaian *driver relay, buzzer, Router,* dan HMI.

Diharapkan melalui blok diagram tersebut akan lebih memudahkan pembaca dalam memahami prinsip kinerja alat dan prinsip kerja.

Bagian bagian blok diagram gambar 3-1 :

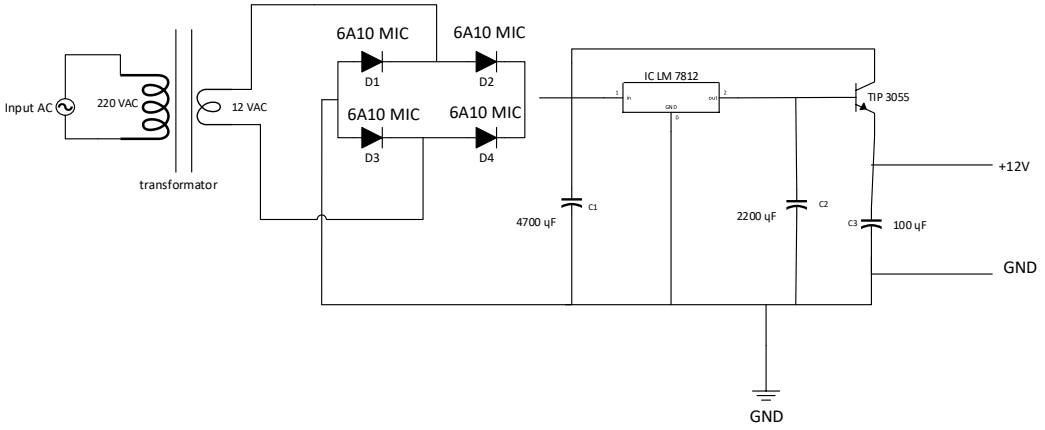
1. Catu Daya

Catu daya yang digunakan pada rangkaian sistem terdiri dari beberapa bagian, yaitu transformator *step down*, *rectifier, filter,* penguat arus dan *regulato*r. *Rectifier* atau disebut juga penyearah gelombang adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengubah gelombang AC menjadi gelombang DC. Rangkaian penyearah gelombang ini terdiri dari komponen dioda. Pada catu daya ini menggunakan penyearah dengan menggunakan 4 buah dioda.

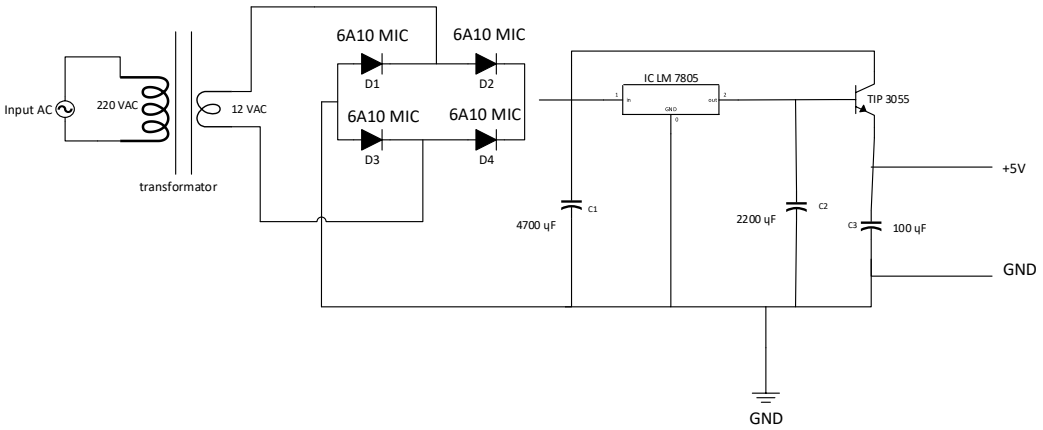
Filter atau penyaring digunakan untuk memperhalus riak (*ripple*) gelombang arus yang keluar dari rectifier. Bagian filter pada catu daya terdiri dari komponen kapasitor.

Voltage regulator berfungsi untuk mengatur tegangan agar stabil sesuai dengan output dari rangkaian catu daya.

Rangkaian catu daya DC 5V digunakan untuk peralatan atau komponen yang membutuhkan suplai tegangan DC 5V seperti untuk suplai sensor ACS712, Buzzer, dan *Pull Down*. Sumber 12VDC untuk suplai Arduino dan *driver relay*. Beban disupplay dari tegangan 12VAC sedangkan lampu indicator disupply langsung dari tegangan 220VAC. Gambar 3-2 merupakan rangkaian penyearah 12VDC dan Gambar 3-3 rangkaian penyearah 5 VDC.



Gambar 3- 2 Rangkaian penyearah 12 VDC



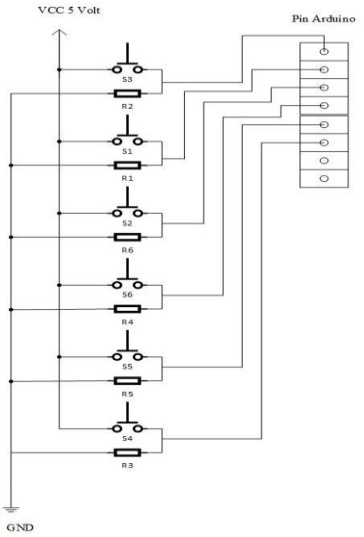
Gambar 3- 3 Rangkaian penyearah 5 VDC

2. Rangkaian *Pull Down Resistor*

Rangkaian *Pull Down Resistor* ini digunakan pada *Push Button*. Rangkaian *push button* dengan resistor *pull down* berarti memiliki konsep utama dimana saat keadaan *push button* pada rangkaian ditekan, atau dihubungkan (*normally close*) maka akan menghasilkan *output* yang bernilai *high*, sedangkan saat keadaan

terbuka (*normally open*) *output* yang dihasilkan oleh rangkaian tersebut akan bernilai *low*. Rangkaian *pull down* ini penyusun buat untuk *push button normaly open / normaliy close* tiap *keypoint*. *Resistor* yang digunakan untuk membatasi arus adalah sebesar 10k ohm sehingga menjadi (5 volt / 10 k ohm) = 0,5 mA.

Dengan penambahan *resistor* maka masalah "*short circuit*" telah diselesaikan. Penambahan *resistor* ke sinyal "*low*" disebut "*pull down*". Fungsi utama "*pull down*" adalah untuk mengatasi kondisi "*floating*" yang terjadi pada suatu rangkaian agar menjadi terdefinisi ke sinyal "*high*" atau "*low*"Berikut gambar rangkaian *pull down resistor*.



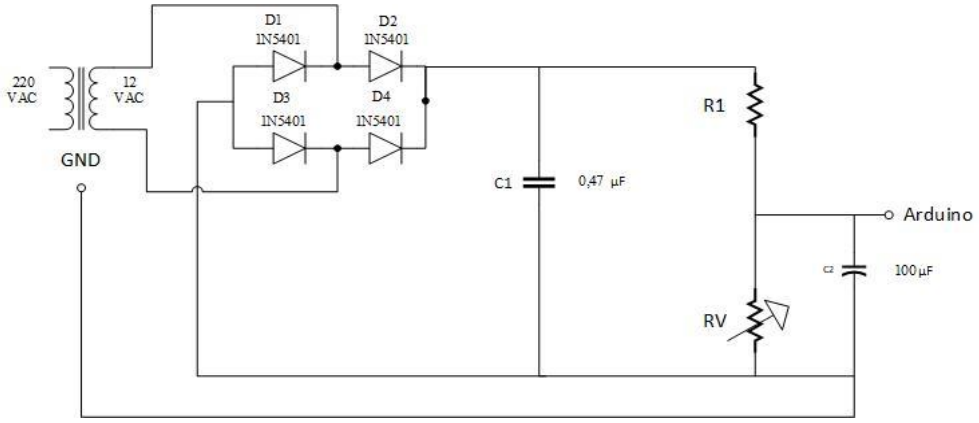
Gambar 3- 4 Rangkaian *Pull Down*

3. Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan dibuat menggunakan rangkaian pembagi tegangan dimana menggunakan resistor 1k ohm dan trimpot 10k ohm. Rangkaian pembagi tegangan

mengubah tegangan yang diukur menjadi tegangan yang dapat dibaca oleh Arduino dan kemudian diolah oleh mikrokontroler sesuai dengan tujuan penggunaan sensor.

Pada tugas akhir ini penggunaan sensor tegangan adalah disimulasikan untuk menampilkan tegangan.



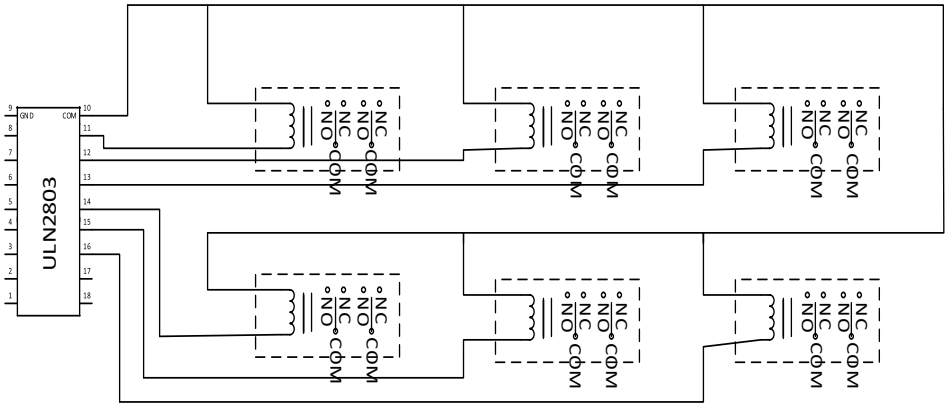
Gambar 3- 5 Rangkaian Sensor Tegangan

4. Driver Relay

Pada rancangan alat ini menggunakan IC ULN2803 sebagai *driver* untuk mengendalikan *on-off* 8 buah relai. Pada rangkaian keseluruhan sistem, ULN2803 merupakan *output* mikrokontroler Arduino. Pada gambar akan dipaparkan gambar rangkaian ULN2803 yang terhubung dengan pin Arduino pada sisi masukan sedangkan pada sisi keluaran ULN2803 terhubung dengan relay 12 VDC.

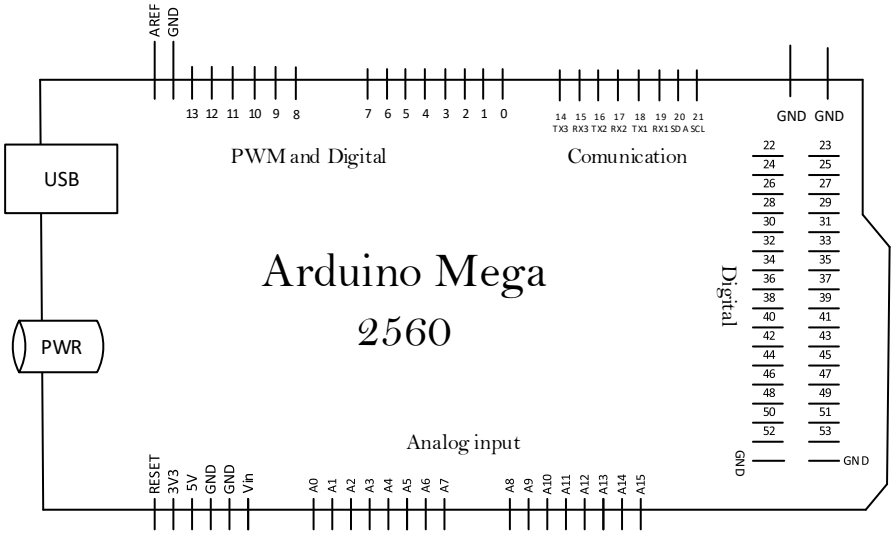
Cara kerja ULN2803 untuk mengendalikan *on-off* komponen relay, ketika pin masukan ULN2803 mendapat logika *high* atau bertegangan 5 VDC dari pin digital Arduino maka pada pin keluaran ULN2803 akan menghasilkan logika *low* atau tidak bertegangan sehingga *coil* relay akan mendapat tegangan 12 VDC. Begitu pula yang terjadi pada pin masukan dan pin keluaran lainnya.

Sedangkan apabila pin masukan berlogika *low* maka pin keluaran dalam kondisi floating atau mengambang dimana kondisi ini pin keluaran tidak berlogika *high* ataupun *low*. Sebagai contoh pada saat pin masukan IC ULN2803 berlogika *low*, maka pin keluaran IC ULN280 akan berkondisi *floating*.



Gambar 3- 6 Rangkaian Driver Relay

5. Arduino Mega 2560



Gambar 3- 7 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan ATmel. Blok yang menjadi masukan di Arduino antara lain:

a. Push button yang digunakan sebagai control open/close relai pada jaringan yang berfungsi sebagai peralatan switching seperti PMT, Recloser, LBS, dan SSO.
b. Sensor tegangan yang berfungsi mendeteksi tegangan tiap titik di jaringan dan sebagai pembaca tegangan untuk relai pada Recloser dan SSO agar mengetahui besarnya tegangan di section tersebut..

Sedangkan untuk output pada Arduino:

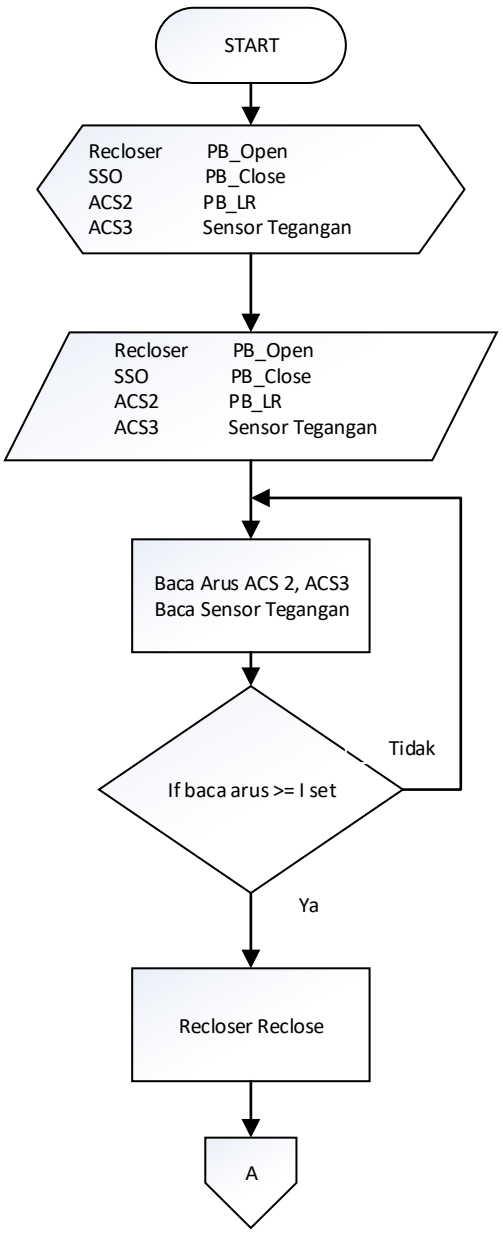
a. Relai sebagai output pada Arduino dalam kondisi NO (Normal Open) diberikan input tegangan maka akan beruban menjadi close dan relai dalam kondis NC (Normal Close) diberikan input tegangan akan berubah menjadi open.
b. Lampu indicator/*pilot lamp* sebagai output pada Arduino dalam kondisi NO (Normal Open) diberikan input tegangan maka akan beruban menjadi on dan lampu dalam kondis NC (Normal Close) diberikan input tegangan akan berubah menjadi off.

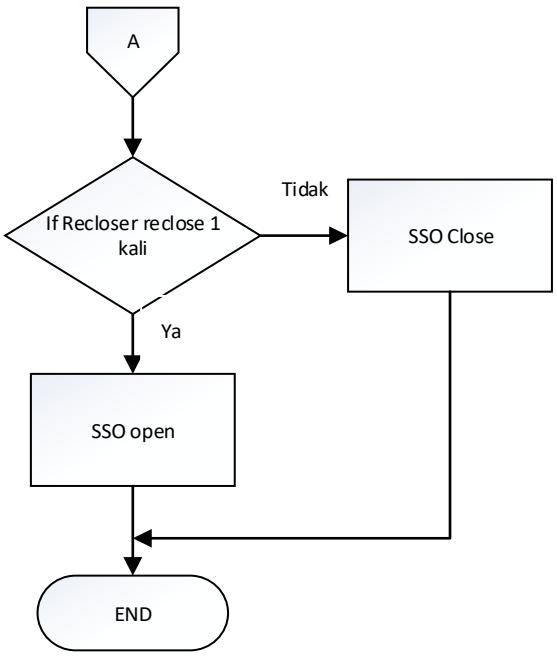
6. Rangkaian Keseluruhan

Terlampir di lampiran

3.2 Flowchart Kerja Alat

Pada proses simulasi terdapat beberapa cara dan langkah yang harus dipenuhi sehingga simulasi dapat dilakukan sesuai dengan fungsi dan kebutuhannya. Flowchart kerja SSO sebaagai back up proteksi dapat dilihat pada gambar 3-8.


START
Recloser PB_Open
SSO PB_Close
ACS2 PB_LR
ACS3 Sensor Tegangan
Recloser PB_Open
SSO PB_Close
ACS2 PB_LR
ACS3 Sensor Tegangan
Baca Arus ACS 2, ACS3
Baca Sensor Tegangan
If baca arus >= I set
Tidak
Ya
Recloser Reclose
A



Gambar 3- 8 Flowchart Keseluruhan

3.3 Cara Kerja Sistem

Cara kerja pada alat ini adalah tegangan 220 VAC sebagai sumber utama yang kemudian akan di step down oleh trafo 1 dan trafo 2 menjadi 12 VAC. Tegangan dari trafo 1 kemudian disearahkan menjadi 12 VDC dan 5 VDC sebagai catu daya peralatan elektronika seperi sensor, driver relai, buzzer, pulldown . Trafo 2 bertegangan 12VAC digunakan untuk mensupply rangkaian beban berupa lampu 12 VAC. Sedangkan Jaringan dibagi menjadi 1 feeder. Relay 8 kaki (Recloser, SSO) sebagai alat *switching* dipasang pada NC (Normally close) mendapatkan sumber dari ARDUINO MEGA 2560. Dalam konfigurasi normal semua jaringan bekerja dalam keadaan yang normal dan tidak ada masalah. Simulasi ini dimulai ketika terjadi suatu gangguan diujung jaringan sehingga menyebabkan pembacaan

arus pada Recloser dan SSO mengalami kenaikan. Ketika arus sudah memenuhi I set HCT (*High Current Trip*) pada Recloser. Recloser akan reclose hingga gangguan tersebut kembali normal. Ketika Recloser sudah reclose sebanyak 1 kali, maka SSO akan bekerja.SSO bekerja setelah pengaman utamanya (Recloser) telah bekerja.Hal ini karena prinsip kerja dari SSO tersebut harus memiliki dua syarat ,yaitu merasakan hilang tegangan akibat pengaman utamanya (Recloser / PMT) terbuka dan membaca arus gangguan. Sensor arus ACS712 akan membaca arus pada jaringan begitu juga dengan Sensor tegangan yang dipasang akan mendeteksi ada tidaknya tegangan pada jaringan tersebut. Sensor mempunyai output yang terhubung ke ARDUINO Mega 2560 yang kemudian akan diolah oleh program yang terdapat pada PC yang kemudian akan menggerakkan relay. Selama percobaan akan ada monitoring arus oleh *Human Machine Interface* dan VT SCADA.

BAB IV

PEMBUATAN SIMULASI SAKLAR SEKSI OTOMATIS/SSO (*SECTIONALIZER)* SEBAGAI PROTEKSI CADANGAN GUNA MENGISOLASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN TAMPILAN *HUMAN MACHINE INTERFACE* (HMI).

Untuk pembuatan alat "Simulasi Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectionalizer)* Sebagai Proteksi Cadangan Guna Mengisolasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Distribusi 20 KV Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Tampilan *Human Machine Interface* (HMI)" dibagi menjadi dua, yaitu pembuatan perangkat keras dan pembuatan perangkat lunak.

4.1 Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan rangkaian elektronika pada Tugas Akhir ini meliputi beberapa rangkaian, yaitu :

1. Rangkaian Penyearah
2. Rangkaian Sensor Tegangan
3. Rangkaian *Driver Relay*
4. Rangkaian *Pull Down*

Pembuatan bagian elektronika terdiri atas beberapa langkah yaitu perencanaan rangkaian, pembuatan PCB, serta pemasangan komponen. Pada proses pembuatan benda kerja bagian elektronika dibutuhkan peralatan dan bahan-bahan untuk mendukung proses tersebut. Pada tabel 4-1 di bawah ini merupakan daftar alat yang dibutuhkan dalam membuat benda kerja bagian rangkaian elektronika.

Tabel 4- 1 Daftar Alat Pembuatan Rangkaian

No.	**Nama Bahan**	**Spesifikasi**	**Jumlah**
1.	Multimeter digital	Merk Heles	1 buah
2.	Solder	Merk Deko 30W	1 buah
3.	Printer Laser	Merk Canon	1 buah
4.	Lakban	Warna Hitam	1 buah
5.	Alat Lem Tembak	220 Volt-15 Watt	1 buah
6.	Baskom	Diameter 25 cm	1 buah
7.	Penggaris Lingkaran	Merk Mika	1 buah
8.	Amplas	Ukuran A4	1 lembar
9.	Bor	220 Volt – 260 W	1 buah
10.	Obeng	31 in 1	1 buah
11.	*Atraktor*	Merk Deko	1 buah
12.	Tang Kombinasi	Merk Essen	1 buah
13.	Gunting	Merk Gunindo	1 buah
14.	Mata Bor	Ukuran 1 dan 2 mm	2 buah

Lanjutan **Tabel 4-1**

15.	Cutter	-	1 buah
16.	Pemotong kuku	-	1 buah
17.	Gergaji Besi	-	1 buah

Pada tabel 4-2 di bawah ini merupakan daftar bahan yang dibutuhkan dalam membuat bagian rangkaian elektronika.

Tabel 4- 2 Daftar Bahan Umum

No.	**Nama Bahan**	**Spesifikasi**	**Jumlah**
1.	Papan PCB	10cm x 20cm tebal 2mm	7 buah
2.	Pelarut tembaga PCB	$FeCl_3$	1 kg
3.	Losion anti Nyamuk	Merk Sofel	1 botol
4.	Amplas	Ukuran A4	1 lembar
5.	*Arduino*	*Mega 2560*	1 buah
6.	Kabel *jack Arduino*	Warna Hitam	1 buah
7.	Lampu	5 Watt, 12 Volt	6 buah
8.	Kabel NYM	Ukuran 1x 0,75 mm	40 meter
9.	*Fitting* Lampu	Diameter 13 mm	6 buah
10.	Tenol	Merk Payung	3 buah

Lanjutan **Tabel 4-2**

11.	Relai	Omron MY2N	6 buah
12.	*Pillot Lamp*	220 VAC	12 buah
13.	*Push On*	Warna hijau dan merah	12 buah
14.	Skun Kabel	Tipe garpu	100 buah
15.	Skun Kabel	Tipe pipih	100 buah
16.	Kabel Pelangi	Male dan Female	Secukupnya
17.	Saklar	*On / Off*	1 buah
18.	*Ethernet Shield*	-	1 buah

Pada masing-masing rangkaian elektronika bahan yang digunakan bervariasi, rangkaiannya juga berbeda satu sama lain, untuk itu Penyusun akan menguraikannya sebagai berikut :

4.1.1 Rangkaian Penyearah

Rangkaian penyearah ini mendapat input dari listrik 220 VAC yang akan diturunkan tegangannya oleh trafo *step down*. Dan disearahkan dengan dioda 6 ampere dan kapasitor. Daftar komponen rangkaian penyearah ditunjukkan pada tabel 4-3.

Tabel 4- 3 Daftar Komponen Rangkaian Catu Daya

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Trafo *Step Down*	Merk King kapasitas 5 A	1 buah
2.	Dioda Penyearah	6 A	12 buah
3.	Kapasitor	4700 µF	3 buah
4.	Kapasitor	2200 µF	3 buah
5.	Kapasitor	100 µF	3 buah
6.	Transistor	TIP 3055	2 buah
7.	*IC Regulator*	LM 7812	1 buah
8.	*IC Regulator*	LM 7805	1 buah

Setelah itu hal yang dilakukan adalah melakukan perancangan *board* untuk rangkaian tersebut pada *software* Eagle. Gambar 4-1 merupakan Penyearah telah dirangkai pada papan PCB yang telah dicetak sebelumnya.

Gambar 4 - 1 Rangkaian Penyearah

4.1.2 Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan merupakan rangkaian pada papan PCB yang terdiri dari rangkaian pembagi tegangan. Daftar komponen rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada tabel 4-4

Tabel 4 - 4 Daftar Komponen Rangkaian Sensor Tegangan

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Trimpot	10k Ohm	6 buah
2.	Resistor	1k Ohm	6 buah
3.	Kapasitor Milar	474j (100V)	1 buah
4.	Kapasitor	100 µF (16V)	1 buah
5.	*Pin Header*	*Male*	1 buah

Gambar 4-2 merupakan Rangkaian Sensor Tegangan yang telah dirangkai pada papan PCB.

Gambar 4- 2 Rangkaian Sensor Tegangan yang Telah Dirangkai

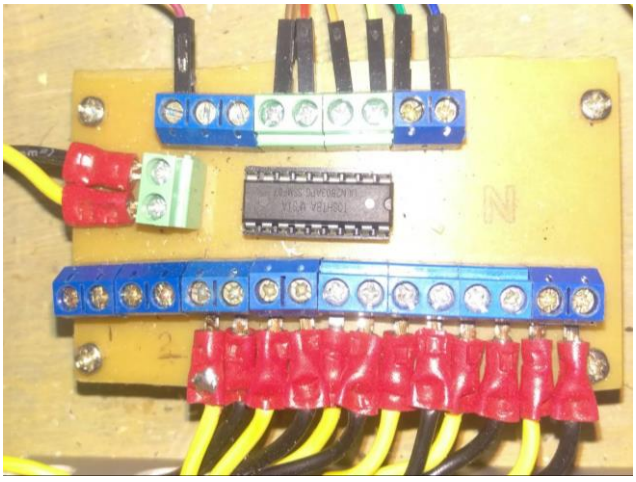
4.1.3 Rangkaian Driver Relay

Rangkaian *Driver* ini mendapat input tegangan 12 VDC. Sumber tersebut berasal dari catu daya 12 VDC. Dan penggunaan transistor sebagai saklar pada rangkaian ini. Daftar komponen rangkaian *Driver Relay* ditunjukkan pada tabel 4-5

Tabel 4- 5 Daftar Komponen Rangkaian Driver Relay

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Relai	NYZ MY2N 8 kaki	6 buah
2.	ULN	2803	1 buah
3.	Terminal Blok	2 Kaki	12 buah
4.	Terminal Blok	3 Kaki	1 buah

Gambar 4-3 merupakan Rangkaian *Driver Relay* yang telah dirangkai pada papan PCB yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 4- 3 Rangkaian Driver Relay yang Telah Dirangkai

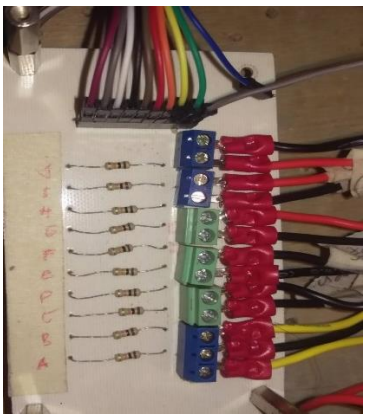
4.1.4 Rangkaian *Push Button*

Rangkaian push button ini menggunakan rangkaian *pull down* yang mendapat input 5 VDC. Sumber tersebut berasal dari catu daya 5VDC dan kemudian memberi input ke pin *digital* Arduino. Daftar komponen rangkaian *pull down* ditunjukkan pada tabel 4-6.

Tabel 4- 6 Daftar Komponen Rangkaian *Pull Down*

No	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
1	Resistor	1000 Ω (1 Watt)	10 buah
2	Terminal Blok	2 Kaki	5 buah
3	Terminal Blok	3 Kaki	1 buah
4	*Pin Header*	*Female*	10 buah

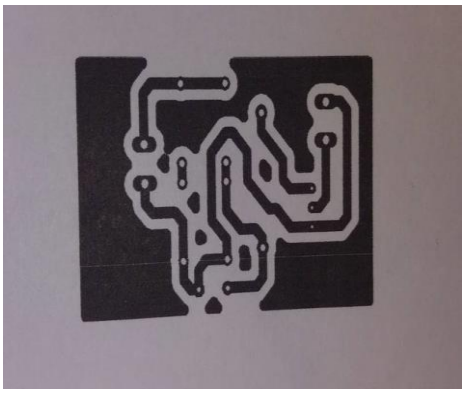
Gambar 4-4 merupakan Rangkaian *pull down* yang telah dirangkai pada papan PCB yang telah dibuati sebelumnya.



Gambar 4 - 4 Rangkaian Pull Down yang Telah Dirangkai

Langkah-langkah dalam pembuatan PCB rangkaian adalah sebagai berikut:

1. Mendesain board yang akan dibuat pada *software* Eagle, kemudian diprint dengan printer laser. Hasilnya seperti pada gambar 4-5.



Gambar 4- 5 Hasil Print Desain Menggunakan Printer Laser

2. Mengukur dimensi hasil *print* desain board dan memotong PCB sesuai ukurannya menggunakan gergaji besi seperti pada gambar 4-6.

Gambar 4- 6 Memotong PCB

3. Menempelkan desain *board* tampak bawah yang sudah diprint tadi ke PCB yang sudah digergaji solasi kertas. Kemudian oles kertas print dengan lotion

anti nyamuk. Lapisi kertas dengan kertas mika kemudian tekan dan gosok selama kurang lebih 15 menit.

Gambar 4- 7 Proses Menggosok Kertas

4. Melepas kertas print pada PCB dengan meneteskan air sedikit demi sedikit sampai kertas tersebut terkelupas dengan sendirinya seperti pada gambar 4-8 Apabila terdapat jalur yang putus, maka gunakan spidol permanent untuk menggambar jalur yang putus tadi agar tersambung kembali.

Gambar 4- 8 Melepas Kertas Print dari PCB

5. Melarutkan PCB menggunakan FeCl3(feriklorit). Siapkan sebongkah FeCl3 kemudian larutkan dengan air, masukkan PCB dan rendam PCB seperti gambar

Gambar 4- 9 Melarutkan PCB

6. Menggerakkan wadahnya agar air larutannya melarutkan tembaga PCB tersebut. Lakukan sampai benar-benar larut.
7. Mengebor PCB dengan alat bor. Siapkan mata bor yang akan digunakan. Mata bor yang digunakan adalah mata bor berdiameter 0,8mm dan 1 mm.

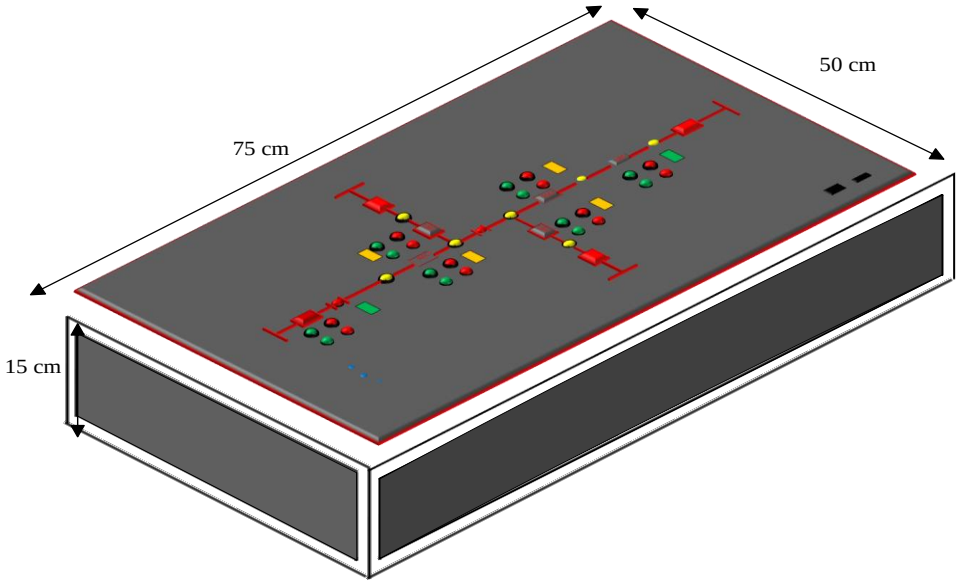
Gambar 4- 10 Mengebor PCB Dengan Alat Bor

8. Menyolder bagian bawah PCB dengan tenol. Lalu menguji jalur PCB dengan menggunakan multimeter untuk memastikan apakah jalur sudah tersambung seluruhnya atau belum. Juga menguji apakah ada jalur yang *short* atau tidak.

Gambar 4 - 11 Menyolder PCB

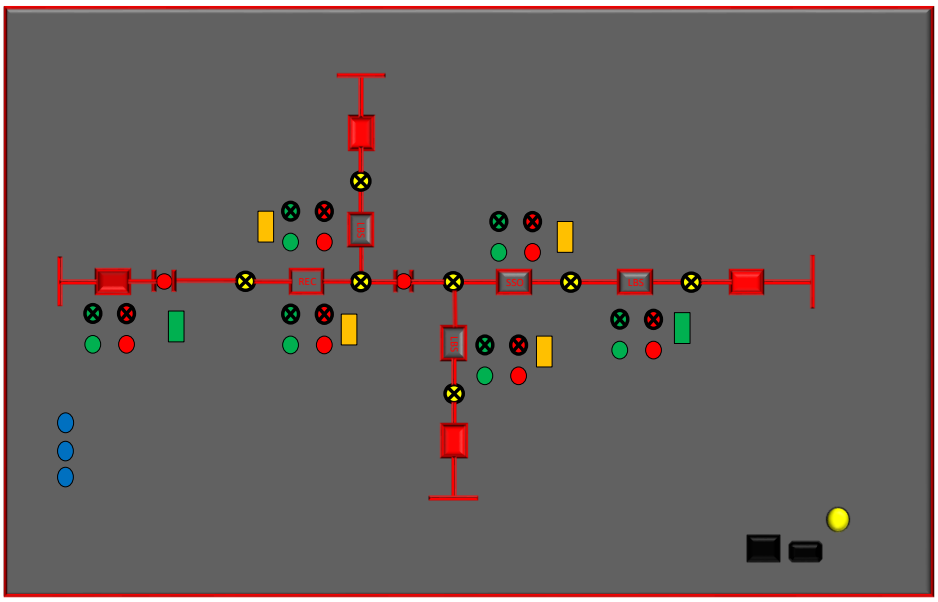
4.1.5 Langkah-langkah Perakitan Alat

1. Pertama merancang dimensi *box* agar sesuai dengan apa yang kita kehendaki. Disini penyusun membuat box dengan ukuuran 75 cm x 50 cm x 15 cm.



Gambar 4- 12 Bentuk Box

2. Setelah pembuatan *box* selesai maka langkah selanjutnya membuat desain lubang tempat komponen.



Gambar 4- 13 Desain Alat Tampak Atas

Keterangan gambar 4-13 :

: Lampu indikator jika kondisi relay terbuka

: Lampu indikator jika kondisi relay tertutup

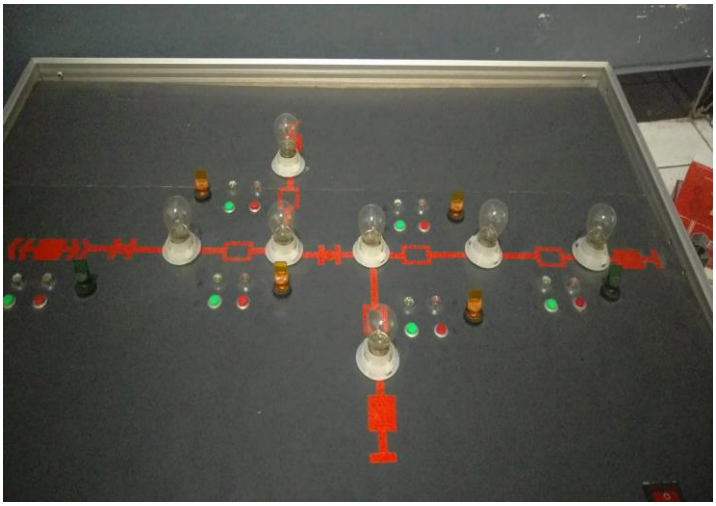
: Saklar on guna membuka atau menutup relay

: Saklar off guna membuka atau menutup relay

: Relay 12VDC sebagai LBS, PMT Incoming, PMT Outgoing

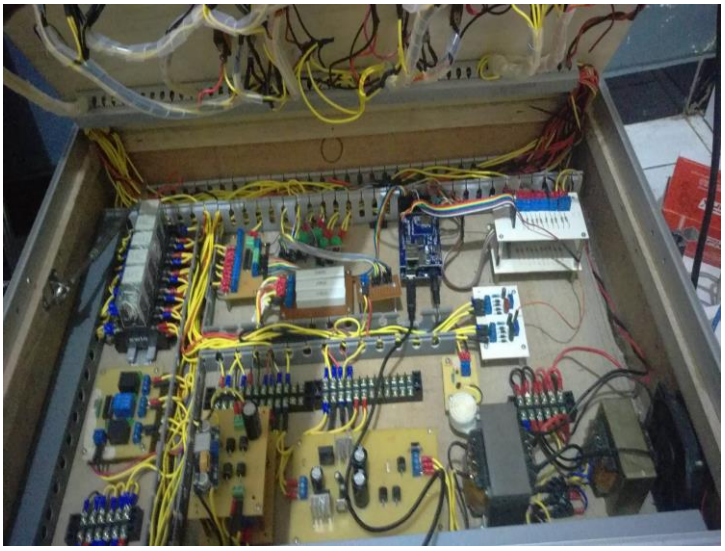
: Saklar Local & Remote

3. Lalu melubangi papan triplek untuk memasang berbagai rangkaian danberbagai komponen.
4. Memasang komponen yang akan di tampilkan pada papan triplek yang sebelunya telah dilubangi.



Gambar 4- 14 Rangkaian Pada Papan Triplek

5. Merangkai seluruh rangkaian hardware yang telah dibuat di dalam box.



Gambar 4- 15 Rangkaian Hardware

4.2 Pembuatan Perangkat Lunak

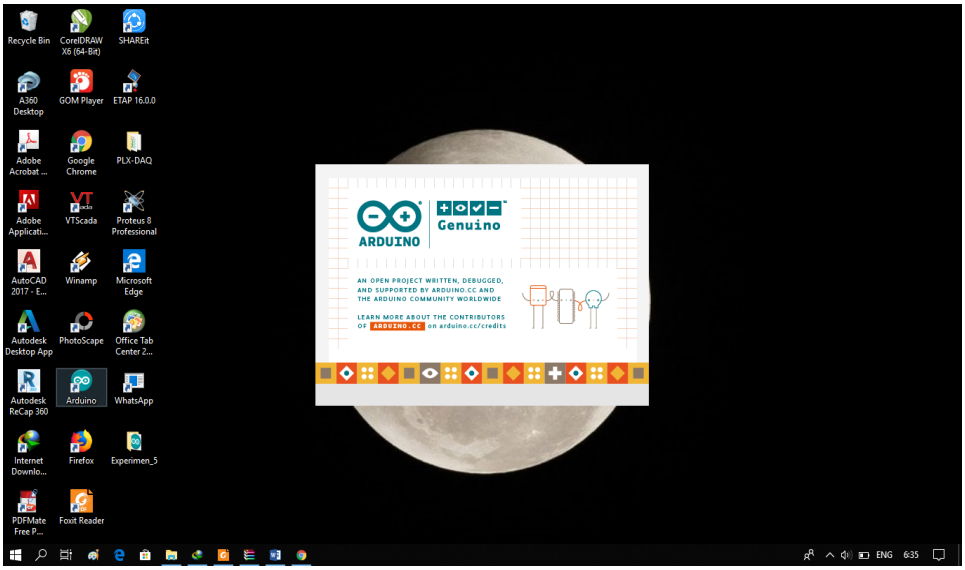
Pembuatan perangkat lunak pada Tugas Akhir ini terdiri dari:

1. Pemrograman *Software* program Arduino
2. Pembuatan program VT SCADA

4.2.1 Pemograman Arduino

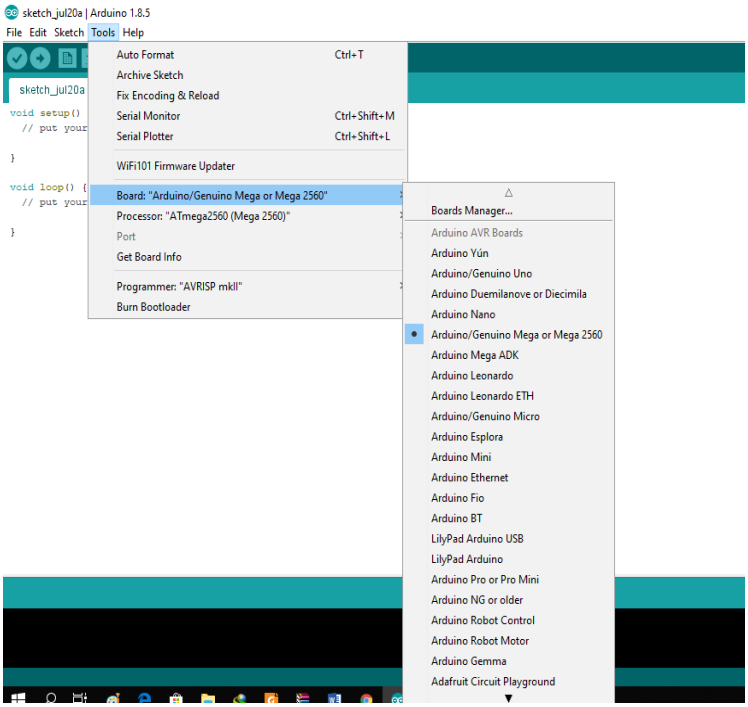
Pembuatan program untuk mikrokontroler *Arduino Mega 2560* memerlukan suatu aplikasi untuk mengirim program dari PC ke modul *Arduino*. Penyusunan program dilakukan menggunakan aplikasi *Arduino* IDE. Langkah-langkah mengoperasikan aplikasi *Arduino* IDE adalah sebagai berikut:

1. Membuka aplikasi Arduino IDE yang sudah terinstal pada PC seperti pada gambar 4- 16



Gambar 4- 16 Menjalankan Aplikasi Arduino IDE

2. Klik menu *Tools* kemudian pilih *board* Arduino yang akan digunakan. pada kali ini penyusun menggunakan Arduino Mega 2560 maka penyusun memilih *board* Arduino Mega 2560 seperti pada gambar 4- 17.

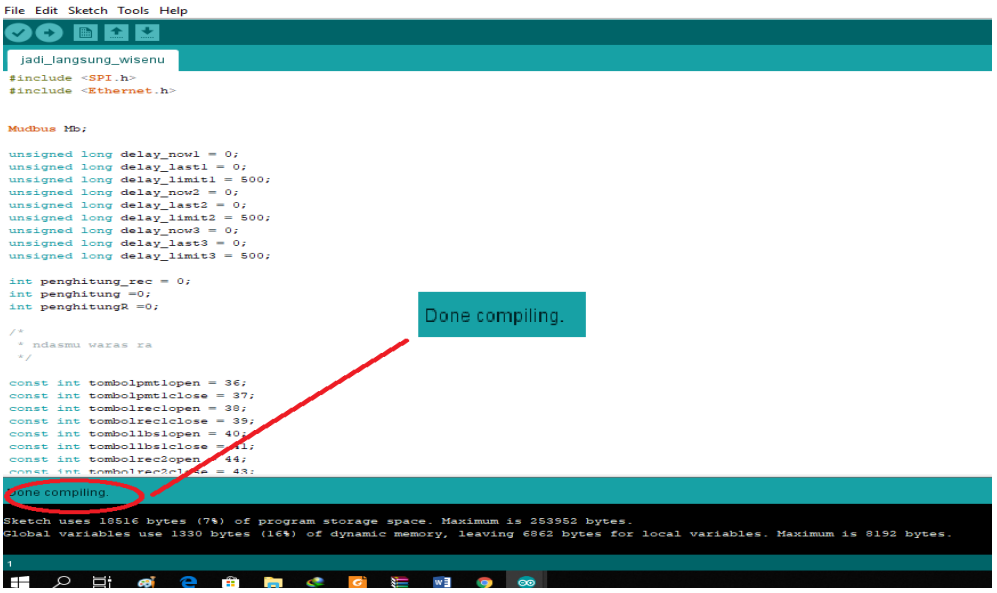


Gambar 4- 17 Memilih Board Arduino Mega 2560

3. Mengetikkan program keseluruhan alat seperti pada program di bawah ini.

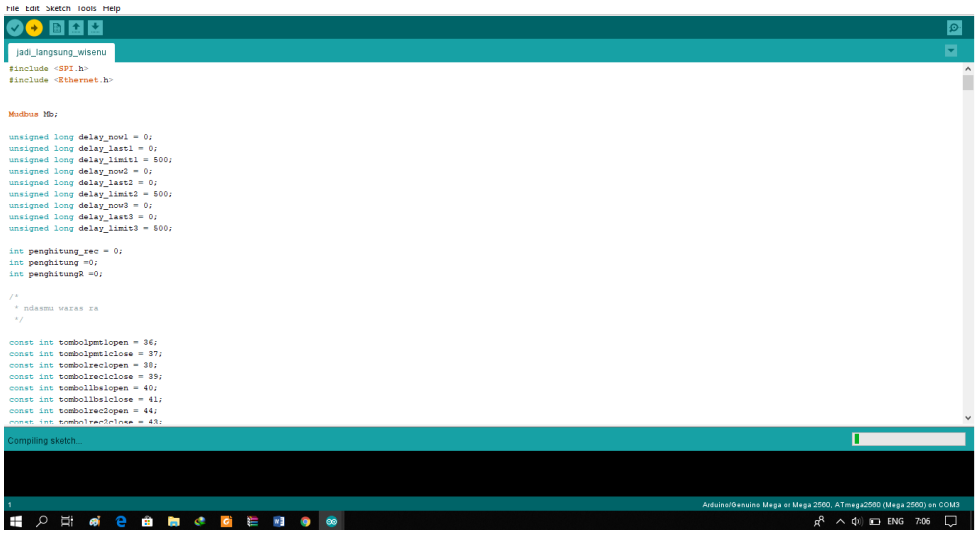
4. Setelah program selesai dibuat , lakukan *compiling* dengan menekan tombol sehingga muncul proses pada gambar 4-18 Hal itu dilakukan untuk mengecek kebenaran *sketch*. Tunggulah beberapa detik, apabila *sketch* sudah benar maka akan muncul pemberitahuan seperti pada gambar 4-19.

Gambar 4- 18 Proses Compiling Sketch



Gambar 4- 19 Compiling Berhasil

5. Lakukan *uploading* program ke mikrokontroler dengan menekan tombol seperti yang ditunjukkan gambar 4-20. Setelah *uploading* selesai, maka akan muncul pemberitahuan.



Gambar 4- 20 Proses *Uploading Sketch*

4.2.2 Perangkat Lunak Aplikasi VT SCADA

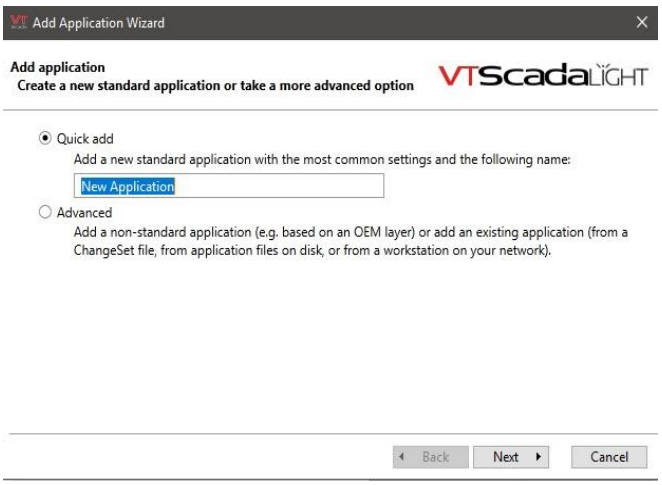
Pembuatan program SCADA menggunakan aplikasi VT SCADA sebagai server dari PC ke modul *Arduino*. Pembuatan program SCADA dilakukan menggunakan aplikasi VT SCADA. Langkah-langkah mengoperasikan aplikasi VT SCADA adalah sebagai berikut:

1. Membuka aplikasi VT SCADA yang sudah terinstal pada PC seperti pada gambar 4- 21.

Gambar 4- 21 Layar Awal VT Scada

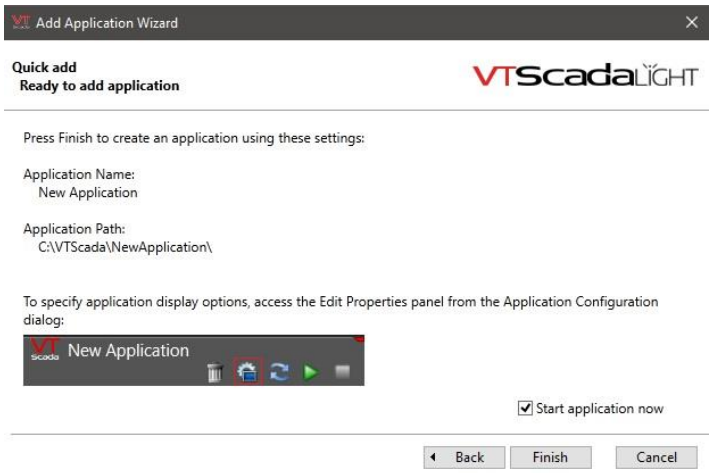
Selanjutnya klik gambar membuat gambar antarmuka sistem SCADA

2 . Beri nama SCADA pada kolom biru lalu klik next, seperti pada gambar



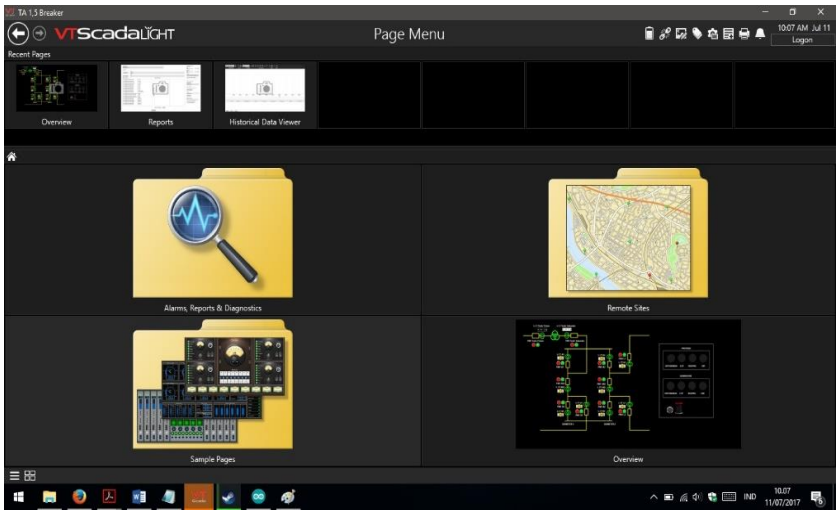
Gambar 4- 22 Penambahan Aplikasi VT Scada

3. Lalu klik finish untuk langsung memulai membuat program scada. Seperti pada gambar.



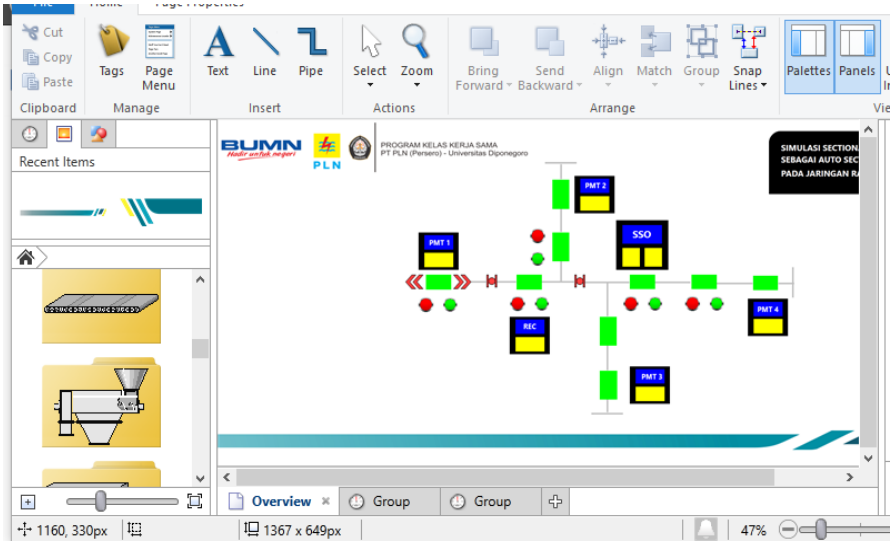
Gambar 4- 23 Penyelesaian Penambahan Aplikasi VT Scada

4. Akan muncul layar antar muka seperti pada gambar .



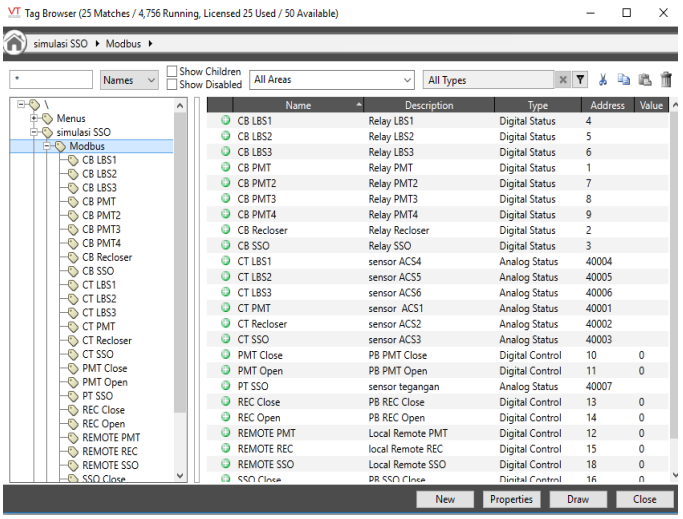
Gambar 4- 24 Layar Menu VT Scada

5. Lalu klik lambang untuk mulai membuat HMI SCADA. Akan muncul menu edit seperti pada gambar



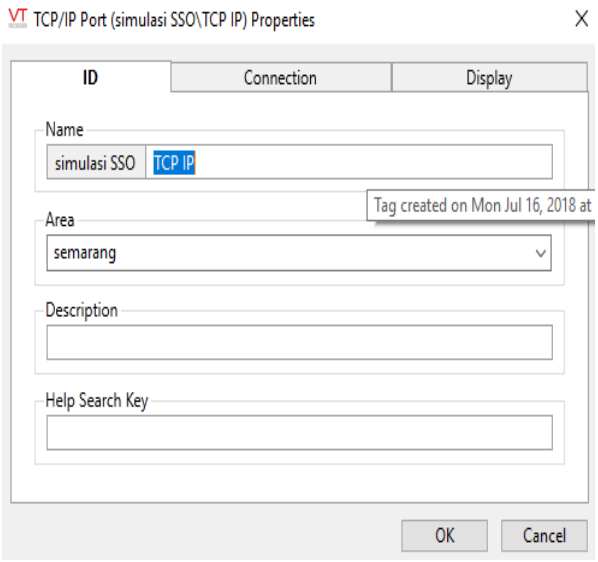
Gambar 4- 25 Layar Edit VT Scada

6. Setelah selesai membuat HMI SCADA, lalu klik untuk membuat pengalamatan pada VT SCADA. Akan muncul menu seperti pada gambar



Gambar 4- 26 *Tag Browser* VT Scada

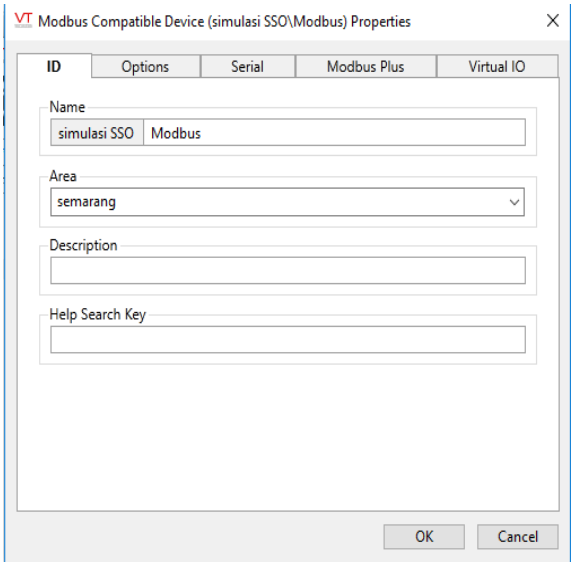
7. Untuk memasang pengalamatan dibuat dulu PORT yang akan disambungkan dengan mengklik new -> port -> TCP/IP Port lalu akan muncul kotak dialog seperti pada gambar.



Gambar 4- 27 Penambahan TCP/IP Port VT Scada

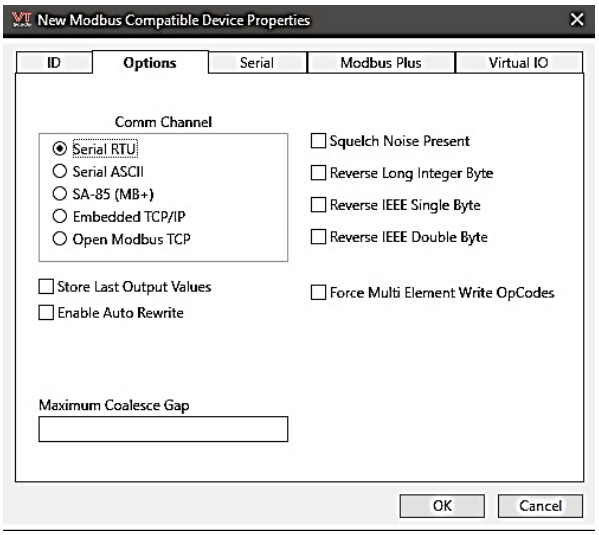
Beri nama pada kolom lalu atur IP adrees pada tab *Connection*

8. Setelah dibuat port untuk IP addres modbus, lalu membuat driver untuk modbus dengan cara klik kanan pada *tag* IP PORT -> new child -> driver -> modbus compatible device



Gambar 4- 28 Menetukan Nama TCP/IP *Port* VT Scada

Beri nama pada kolom nama, kemudian pindah ke tab Options untuk memilih jenis modbus, lalu pilih open modbus TCP.



Gambar 4- 29 Menetukan Jenis Modbus VT Scada

9. Lalu untuk mengalamatkan antara tag browser dan HMI pada VT SCADA , yaitu dengan cara klik kanan pada widget yang telah dibuat, lalu pilih link.

Akan muncul menu tag browser yang sudah dibuat. Klik salah satu tag browser, selesai.

1 0 . Untuk mulai menjalankan SCADA, dapat dibuka atau dijalankan melalui menu overview.

BAB V

PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT

Setelah proses perancangan dan pembuatan alat telah selesai, lalu dilakukan pengukuran dan percobaan. Langkah pertama yang penyusun lakukan dalam pengukuran dan pengujian alat adalah mempersiapkan seluruh peralatan yang dibutuhkan untuk pengukuran dan percobaan. Supaya mendapatkan data yang benar dan lengkap, maka dibutuhkan ketelitian dan pengukuran yang berulang-ulang.

Adapun tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk membuktikan apakah sistem yang diimplementasikan telah memenuhi spesifikasi yang telah direncanakan sebelumnya. Data yang diperoleh dari percobaan dapat memberikan informasi yang cukup untuk keperluan penyempurnaan sistem.

5.1 Peralatan yang Digunakan

Dalam melakukan pengukuran dan percobaan, penyusun menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

1. Multimeter digital
2. Kamera Digital untuk dokumentasi
3. Arduino Mega 2560
4. Laptop

5.2 Prosedur Pengukuran dan Pengujian

Prosedur atau langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran dan pengujian alat adalah sebagai berikut:

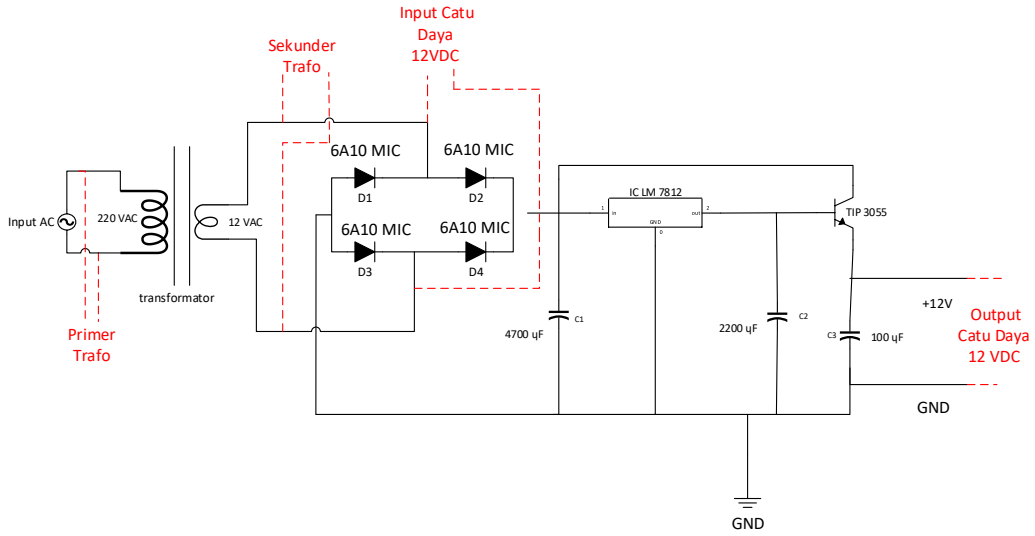
1. Mempersiapkan gambar rangkaian dan tata letak komponen.
2. Mempersiapkan semua alat yang digunakan dan memastikan bahwa peralatan yang akan digunakan dalam kondisi yang baik.
3. Melakukan pengukuran dan pengujian rangkaian.
4. Mencatat hasil pengukuran dan pengujian.
5. Menganalisa pengukuran berdasarkan data terukur dan nilai perhitungan.

5.3 Pengukuran Rangkaian

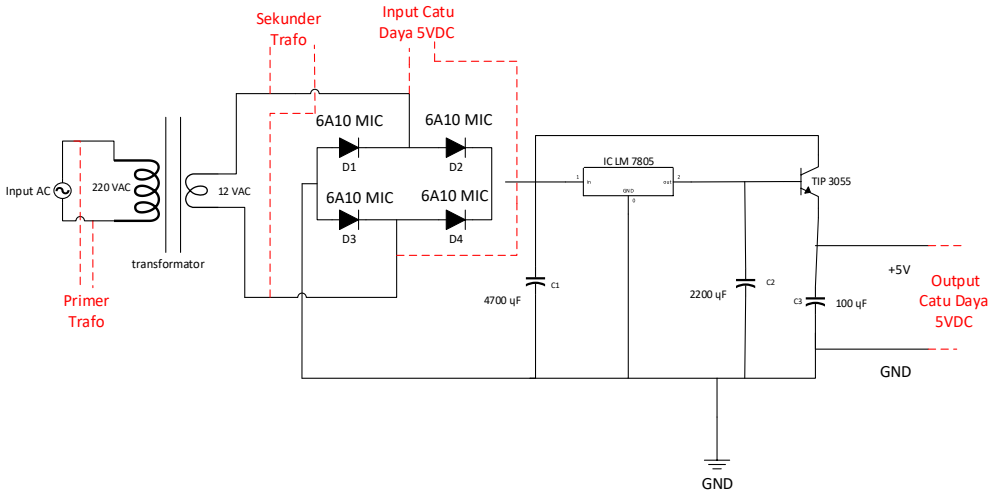
Rangkaian Catu Daya

Rangkaian pertama yang harus diuji adalah rangkaian catu daya. Hal ini dikarenakan rangkaian catu daya merupakan aspek yang paling penting dalam menjalankan seluruh rangkaian sistem ini. Pengujian yang dilakukan adalah dengan mengambil data pengukuran tegangan *input* dan tegangan keluaran dari rangkaian catu daya. Dan dalam alat ini menggunakan 2 catu daya, yaitu catu daya 12 VDC untuk beban *driver relay*, dan pull down, serta catu daya 5 volt untuk suplai Arduino, dan rangkaian *push button.*

Gambar 5-1 menunjukkan titik pengukuran pada skematik rangkaian catu daya 12 VDC. Dan pada gambar 5-2 menunjukkan titik pengukuran pada skematik rangkaian catu daya 5 VDC.



Gambar 5- 1 Titik Pengukuran Pada Rangkaian Skematik Catu Daya 12VDC



Gambar 5- 2 Titik Pengukuran Pada Rangkaian Skematik Catu Daya 5VDC

Dan tegangan terukur pada catu daya ditunjukkan pada tabel 5-1.

Tabel 5 - 1 Pengukuran Rangkaian Catu Daya

No	Titik Ukur	Tegangan Terukur	Gambar
1	*Primer* Transformator 5A	210 VAC	
2	*Sekundert* Transformator 5A	11.10 VAC	
3	*Output* Catu Daya 12 VDC	10.65 VDC	
4	*Output* Catu Daya 5 VDC	5.02 VDC	

5.4 Pengujian Alat

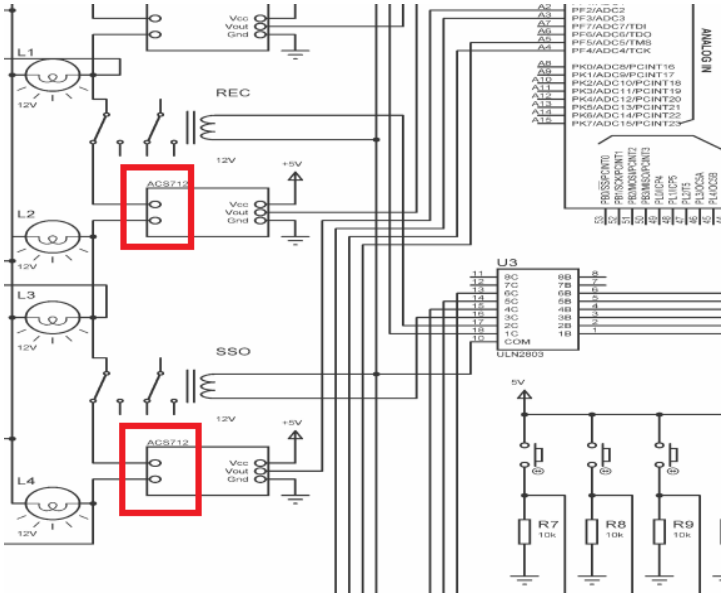
Pengujian Alat ini dilakukan dari *Recloser* Hingga ujung jaringan (LBS NO dengan PMT 4).

Gambar 5- 3 Single Line

5.4.1 Keadaan Beban Normal

Pada keadaan ini kondisi normal tanpa gangguan.

1. melakukan pengukuran pada ACS 712 *Recloser* dan ACS 712 SSO

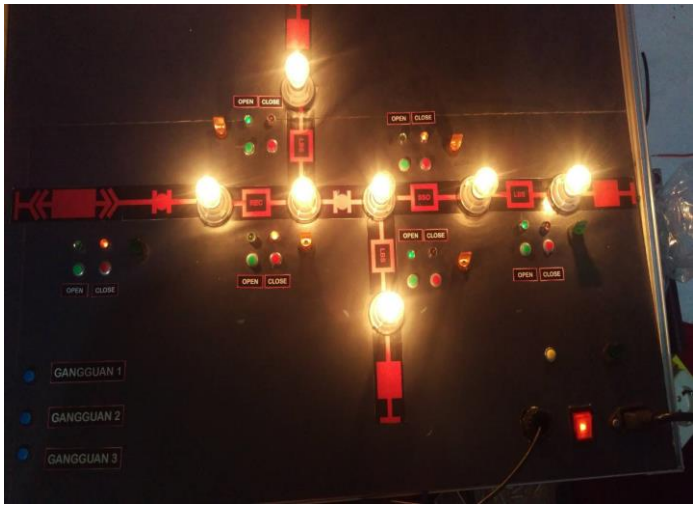


Gambar 5- 4 Pengukuran Pada ACS712

Tabel 5- 2 Data Hasil Pengukuran Beban Normal

Sensor Arus	Hasil Pengukuran Multimeter		Hasil Pengukuran SCADA		Keterangan	Kondisi Relay
	Arus (A)	Gambar	Arus (A)	Gambar		
ACS712 SSO	0,44		0,40		1 buah lampu 5 Watt	Tidak Bekerja
ACS712 Recloser	1.32		1,38		3 buah lampu 5 Watt	Tidak Bekerja

2. Melihat kondisi jaringan pada alat simulasi



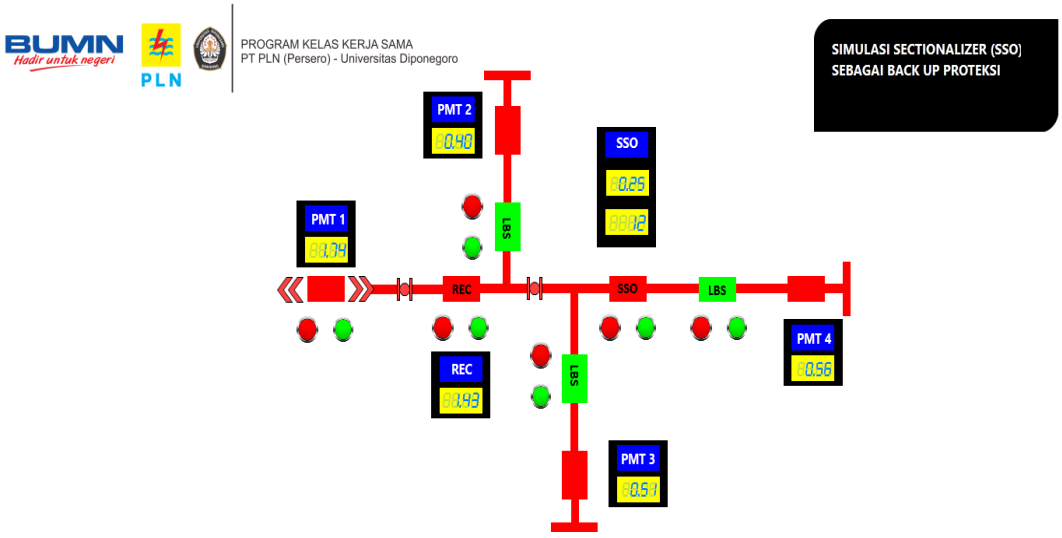
Gambar 5- 5 Alat Kondisi Normal

Gambar 5-5 merupakan gambar alat pada saat keadaan berbeban dengan kondisi normal sebelum diberikan gangguan. PMT, *Recloser*, SSO masih dalam keadaan terhubung,(Normally Close) sehingga beban lampu menyala.

Tabel 5- 3 Pengukuran Beban Normal

Lokasi	Pengukuran Multimeter	Gambar	Keterangan
SSO Sd LBS NO PMT 4	0.44 A		1 buah Lampu 5 Watt
Recloser sd SSO	0.74 A		2 buah lampu 5 Watt

Tabel 5-3 ditas merupakan pengukuran nilai beban di antara Recloser sd SSO dan SSO sd LBS NO PMT 4.



Gambar 5- 6 Keadaan Normal Tampilan VT Scada

Gambar 5-6 merupakan tampilan jaringan pada aplikasi VT SCADA keadaan berbeban kondisi normal, tegangan dan arus mengisi dari PMT 1 sampai dengan LBS Normally Open di ujung jaringan tepatnya titik joint antara PMT 1 dan PMT 4, PMT 1 dengan PMT 2, dan PMT1. Warna merah pada jaringan menandakan bahwa pada jaringan tersebut dialiri arus dan tegangan.

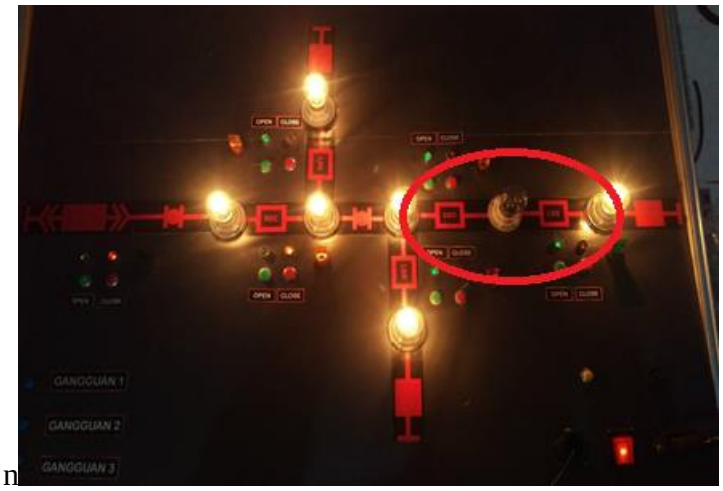
5.4.2 Saat Tejadi Gangguan Hubung Singkat

Menekan tombol gangguan 1 Untuk membuat arus gangguan hubung singkat. Arus gangguan hubung singkat ini diibuat dengan cara menghubungkan kabel fasa dengan netral yang diberi hambatan 1 buah resistor sebesar 20W10 Ohm . Setelah itu , amati perubahan nilai arus yang terjadi. Apabila nilai arus dan indikator relay pada HMI berhasil dideteksi maka pengujian alat pada kondisi gangguan hubung singkat berhasil dilakukan.

Tabel 5- 4 Pengukuran Ketika Terjadi Gangguan Hubung Singkat

Sensor Arus	Lokai Gangguan	Pengukuran dengan Multimeter		Pengukuran dengan Scada		Keterangan	Kondisi Relay
		Arus (A)	Gambar	Arus (A)	Gambar		
ACS712 SSO	*Setelah SSO*	1.14		1.02		1 buah lampu 5 Watt , Resistor 20W10Ohm	Bekerja
ACS712 *Recloser*	*Setelah SSO*	1,93		2,04		3 buah lampu 5 Watt , Resistor 20W10Ohm	Bekerja

Tabel 5-4 menunjukan nilai arus ketika tombol gangguan 1 di tekan. Terjadi kenaikan nilai arus dari keadaan sebelumnya yaitu keadaan berbeban normal.

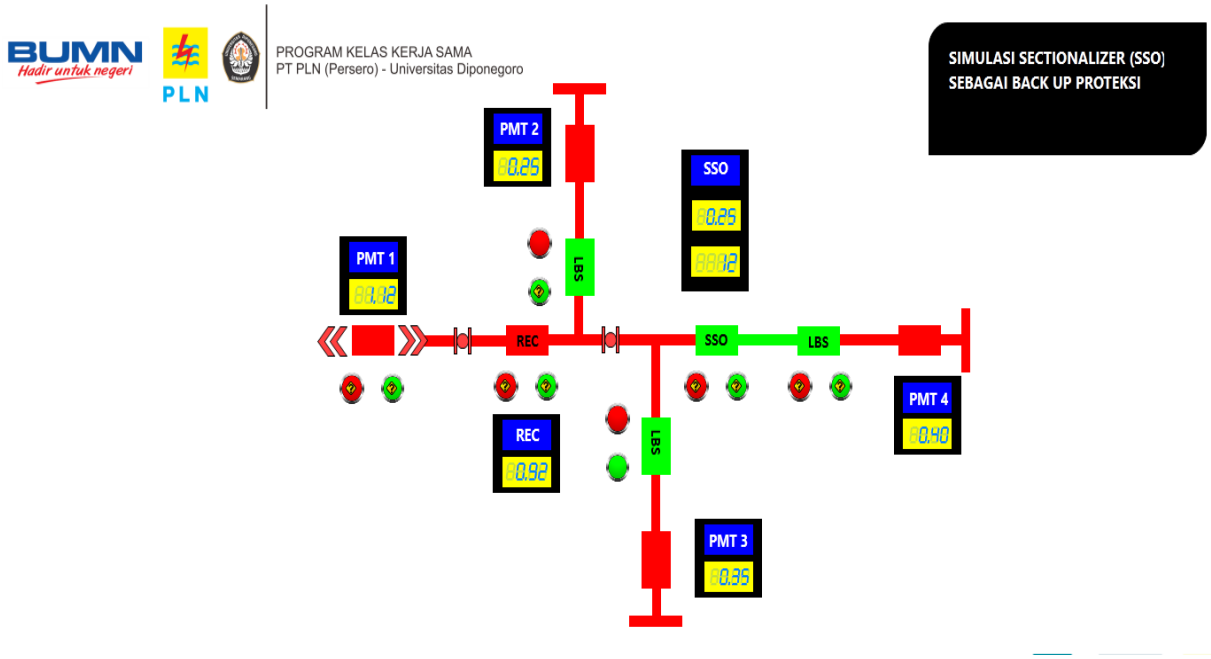
n 

Gambar 5- 7 SSO Mengisolasi Gangguan

Nilai *Setting* arus gangguan hubung singkat pada *Recloser* dan Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectionalizer*) sebesar 1,9 A dan 0,6 A. Nilai setting *Logic counter* atau *Number of counts to drop-out* adalah s*etting* untuk menentukan berapa kali Saklar Seksi Otomatis SSO (*Sectionalizer)* merasakan arus gangguan dan hilang tegangan sebelum SSO tersebut lepas atau terbuka. Pada alat ini *Recloser* disetting 1 kali *reclose* atau 2 kali *Count to Lock Out* dan SSO disetting 1 kali *Count to Lock-Out* agar jika terjadi gangguan di zona SSO , *Recloser* tidak sampai *Lock Out*/Open. Ketika nilai arus melebihi nilai *setting* , maka kedua peralatan proteksi tersebut akan membaca nilai arus tersebut sebagai nilai arus gangguan hubung singkat. Karena membaca arus gangguan hubung singkat, *Recloser* tersebut terbuka/*reclose* sebanyak 1 kali. *Setting Count to Lock-Out* pada SSO terpenuhi. Dengan begitu SSO akan lepas/Open.

Lepasnya SSO akan memisahkan jaringan yang terganggu dengan yang tidak terganggu. Setelah SSO lepas/Open, *Recloser* bisa masuk kembali mengisi tegangan sampai dengan SSO tersebut .

Gambar 5-7 diatas menunjukan hasil kerja dari SSO sebagai proteksi cadangan. Beban di antara *Recloser* sampai dengan SSO dapat diamankan dari gangguan yang terjadi setelah SSO karena SSO telah mengisolir daerah gangguan. Ini menandakan bahwa alat telah bekerja terhadap arus hubung singkat.



Gambar 5- 8 Kondisi Gangguan Diisolasi SSO Pada Tampilan VT SCADA

Gambar 5-8 merupakan gambar tampilan VT Scada ketika gangguan diisolasi SSO sebagai *back up* proteksi. *Recloser* dalam keadaan Normally Close (berwarna merah) karena SSO telah mengisolasi gangguan terlebih dahulu. Dengan menggunakan SSO sebagai back up proteksi ,gangguan dapat diisolasi . Daerah yang terganggu hanya di *daerah* SSO sampai dengan LBS NO ditunjukan dengan kondisi warna jaringan yang berwarna hijau, hijau disini nenandakan bahwa jaringan padam.

Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 5-2 dan tabel 5-4 ditemukan beberapa perbedaan arus antara pengukuran menggunakan multimeter dengan menggunakan tampilan VT Scada dimungkinkan disebabkan karena beberapa hal, antara lain:

1. Kondisi Arduino yang menyebabkan ketidakpresisian pembacaan bit masukan untuk diolah menjadi tampilan arus VT Scada.
2. Kondisi Multimeter digital yang kurang presisi.
3. Ketidakstabilan tegangan masukan ke Arduino.
4. Error sensor arus

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dengan rahmat dan karunia Allah SWT, penyusun telah menyusun laporan Tugas Akhir yang berjudul "Simulasi Saklar Seksi Otomatis /SSO (*Sectionalizer)* Sebagai Proteksi Cadangan Guna Mengisolasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Distribusi 20 KV Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Tampilan *Human Machine Interface* (HMI)". Adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh dari Tugas Akhir sebagai berikut :

1. *Relay* tidak akan bekerja ketika beban normal dengan nilai arus 1,32 A dan 0,44 A , hal ini karena nilai arus tidak melebihi *setting*. *Relay* bekerja ketika nilai I *Recloser* dan Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) berada pada nilai 1,93 A dan 1,14 A. Kemudian *Recloser* 1 kali *reclose* maka Saklar Seksi Otomatis/SSO (*Sectinoalizer*) akan Lepas/ Open. Ketika SSO bekerja maka gangguan hubung singkat akan diisolasi.
2. Pada alat simulasi ini menggunakan Arduino Mega 2560 yang dapat mendeteksi adanya gangguan dan memisahkan bagian yang terkena gangguan hubung singkat.

3. Berdasarkan hasil uji coba menggunakan alat simulasi yang telah dibuat oleh penyusun. Penggunaan Saklar Seksi Otomatis (SSO) /*Sectionalizer* dapat bekerja mengisolasi gangguan hubung singkat yang terjadi setelah SSO.

4. VT Scada dapat memonitoring keadaan normal dan keadaan gangguan secara *real-time*.

6.2 Saran

Dari tugas akhir yang penyusun buat, dengan judul "Simulasi Saklar Seksi Otomatis /SSO (*Sectionalizer)* Sebagai Proteksi Cadangan Guna Mengisolasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Distribusi 20 KV Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Tampilan *Human Machine Interface* (HMI)". perlu disampaikan beberapa saran sebagai berikut :.

1. Sensor arus ACS 712 peka terhadap kenaikan dan penurunan nilai bit pembacaan . Oleh karena itu, sebelum digunakan sebaiknya sensor dikalibrasi ulang terlebih dahulu agar pembacaan sensornya presisi.
2. Rangkaian sensor sebaiknya di*supplay* oleh catu daya yang memiliki keluaran tegangan stabil agar pembacaan sensornya stabil.
3. Sebaiknya dalam pengoperasian *software* SCADA diperlukan spesifikasi PC (*Personal Computer*) sesuai dengan kebutuhan *software* SCADA agar dalam pengoperasian lebih mudah dan tidak menimbulkan kerusakan pada PC (*Personal Computer*).

Demikian tugas akhir ini dibuat. Penyusun berharap semoga dapat digunakan sebagaimana mestinya, serta dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan ilmu tentang sistem tenaga listrik di Indonesia. Penyusun menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik dari segi alat maupun penyusunan laporan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat dinanti.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. L. Kurniawan, "PENENTUAN LETAK RECLOSER SESUAI DENGAN KOORDINASI SETTING HIGH SET DUA PMT DI FEEDERPANDEAN LAMPER 01 DISIMULASIKAN MENGGUNAKANETAP," Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Semarang, 2017.

[2] D. Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Jakarta: Graha Ilmnu, 2015.

[3] S. L. Kurniawan, "Koordinasi Setting Sectionalizer Satu Phasa dengan Recloser di Penyulang PWI04 di Nomor Tiang K2-746/24 PT PLN (Persero) Rayon Purwodadi," Universitas Sultan Agung, Semarang, 2016.

[4] Y. T. K. Pamungkas, "Koordinasi Recloser dan Load Break Switch (LBS) yang di Setting Sebagai Sectionalizer (SSO) di Penyulang Pudak Payung 01 pada PT. PLN (PERSERO) Area Semarang," Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.

[5] F. P. Putra, "Sectionalizer pada Load Break Switch Menggunakan Arduino UNO Guna Mendeteksi Arus Gangguan dan Mengurangi Daerah Padam pada Penyulang 20 kV," Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.

[6] Sulasno, "Teknik dan sistem Distribusi tenaga listrik," Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.

[7] B. Pandjaitan, Praktik - praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: ANDI, 2012.

[8] W. Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Depok: Garamond, 2016.

[9] M. Dr. Iman Setiono, Sistem Proteksi Tenaga Listrik, Semarang: Tiga Media, 2017.

[10] Y. T. K. Pamungkas, "Koordinasi Recloser dan Load Break Switch (LBS) yang di Setting Sebagai Sectionalizer (SSO) di Pudakpayung 01 Pada Pt. PLN (Persero) Area Semarang," Jurusan DIII Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.

[11] A. M. A. A. Kusniawan, "SCADA dan Sistem Proteksi Pada PT. PLN Area Pengatur Distribusi Jawa Timur," 2012. [Online]. Available: http://sir.stikom.edu/279/.

[12] "Arduino," [Online]. Available: https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560. [Accessed 10 07 2018].

[13] A. Indarwanti, "Simulasi Relai Differesial High Impedence Sebagai Proteksi Busbar pada Gardu Induk dengan Menggunakan Auxiliary Relay ZDW 6 VDC," Universitas Diponegoro, Semarang, 2016.

[14] M. U. D. Alex Velez, "Smart Recloser Circuit Breaker," Worcester Polytechnic Institute, 2015.

[15] D. Richard Blocher, Dasar Elektronika, Yogyakarta: Andi, 2004.

[16] F. D. Petruzella, Elektronika Industri, Yogyakarta: Andi, 2001.

[17] Anonimous, "Datasheet ULN2803," [Online]. Available: www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf. . [Accessed 14 07 2018].

[18] H. D. Surjono, Elektronika : Teori dan Penerapan, Jember: Cerdas Ulet Kreatif.

[19] Anonimous, "Datasheet ACS712," [Online]. Available: https://www.allegromicro.com/~/media/. [Accessed 14 07 2018].

[20] N. T. d. Nugraheni, "Efek Hall.Modul Laboratorium Fisika," Universitas Airlangga, Surabaya, 2014.

[21] d. Muhammad Ilham, "Efek Hall. Modul Program Studi Fisika.," Institut Teknologi Bandung., Bandung, 2013.

[22] Anonimous, "Hall Effect Sensor," [Online]. Available: http://electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect/html. . [Accessed 13 07 2018].

[23] Allegro, "ACS712: Fully Integrated Hall-Effect-Based Linear Current Sensor," ACS712, [Online]. Available: http://allegromicro.com/en/Products/Currnt-Sensor-ICs/Zero-toFifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx.. [Accessed 12 07 2018].

[24] W. H. Kurniawan, "Simulasi Pelepasan Beban dengan Sistem Over Load Shedding Sebagai Proteksi Saluran Transmisi Tenaga Listrik Berbasis Arduino Mega 2560," Universitas Diponegoro, Semarang, 2017.

[25] R. A. Rinangku, "Simulasi Circuit Breaker Failure Sebagai Proteksi Diameter Pada Gitet 500 Kv Dengan Konfigurasi Satu Setengah Pmt Berbasis Arduino Mega 2560," Universitas Diponegoro, Semarang, 2017.

[26] A. &. G. Products, "Getting Started with the Arduino Ethernet Shield," [Online]. Available: https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoEthernetShield. [Accessed 11 07 2018].

[27] D. Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.

[28] S. A. Tunjungsari, "Setting LBS (LOAD BREAK SWITCH) Sebagai Sectionalizer pada Penyulang SYG 09 PT PLN Persero Area Semarang," Politeknik Negeri Semarang, Semarang, 2016.

[29] "Teknik Elektronika," [Online]. Available: http://www.teknikelektronika.com/prinsip-kerja-dc-power-supply-adaptor/ . [Accessed 3 juli 2018].

[30] M. U. J. Moh.Ibnu Malik, Aneka Proyek Mikrokontroler PIC16F84/A, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 2009.

[31] PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2005. *SSO*

[32] PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2003. *Filosofi Proteksi.*

[33] PT PLN (Persero). 1983. *SPLN 52-3 1983 Pola Pengaman Sistem Distribusi*. Jakarta: Deperatemen Pertambangan dan Energi.