

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Setelah penulis melakukan telaah terhadap beberapa referensi yang ada, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang penulis lakukan. Referensi yang penulis temukan adalah *Sectionalizer Pada Load Break Switch Menggunakan Arduino Uno Guna Mendeteksi Arus Gangguan Dan Mengurangi Daerah Padam Pada Penyulang 20 KV*^[1]. Tugas akhir ini membahas tentang simulasi SSO untuk mendeteksi arus gangguan dan mengurangi daerah padam. Alat ini menggunakan arduino Uno R3, tampilan digital alat ini hanya menggunakan lcd, gangguan yang disimulasikan pada alat hanya gangguan permanen.

Referensi lain yang penulis temukan adalah Pemasangan LBS (Load Break Switch) Untuk Mengganti ABSW (*Air Break Switch*) Dalam Menjaga Kontinuitas Penyaluran Tenaga Listrik Penyulang Tambak Lorok 4 PT. PLN (Persero) Rayon Semarang Tengah^[2]. Tugas akhir tersebut membahas tentang pergantian ABSW menjadi LBS *setting* SSO untuk mengurangi daerah padam berbasis arduino uno dan kontrol jarak jauh SSO masih menggunakan SMS *gateway*, jenis gangguan yang disimulasikan pada alat ini juga hanya gangguan permanen.

Referensi selanjutnya yang penulis temukan adalah Koordinasi *Recloser* dan *Load Break Switch* (LBS) Yang Di-*setting* Sebagai *Sectionalizer* (SSO) di Penyulang Puduk Payung 01 pada PT. PLN (PERSERO) Area Semarang^[3]. Referensi tersebut berisi tentang analisis belum dibuat alat koordinasi proteksi

antara *recloser* dan LBS/SSO, tugas akhir tersebut membahas jenis gangguan yang terjadi dan kinerja *recloser* pada penyulang tersebut.

Pada referensi yang berjudul *Setting Koordinasi Recloser RBY Dan Sectionalizer JLG Feeder Cimaragas SUTM 20 KV Di PT. PLN (Persero) Area Tasikmalaya*. Referensi tersebut juga berisi tentang analisis dan *setting* koordinasi proteksi antara *Recloser* dan SSO pada jaringan distribusi 20 KV di PT. PLN (Persero) Area Tasikmalaya^[4]. Tugas akhir tersebut belum dibuat dalam alat, referensi tersebut membahas koordinasi *relay* proteksi OCR dan GFR, membahas jenis gangguan yang terjadi serta kinerja *recloser*.

Referensi terakhir yang berjudul, *SCADA Dan Sistem Proteksi Pada PT. PLN Area Pengatur Distribusi Jawa Timur*^[5]. Referensi tersebut merupakan laporan kerja praktik mahasiswa STIKOM yang membahas tentang implementasi SCADA pada APD Jatim dan perbandingan sebelum sistem SCADA diterapkan dan sesudah diterapkan pada APD Jatim, penjelasan tentang sistem SCADA. Laporan kerja praktek tersebut juga membahas sistem proteksi secara umum.

Dari beberapa referensi diatas persamaan dengan tugas akhir penulis adalah materi yang akan dibahas adalah koordinasi *recloser* dengan SSO pada Jaringan Distribusi 20KV. Kemudian dari kekurangan yang ada pada referensi – referensi diatas, maka penulis membuat suatu simulasi antara *recloser* dan *sectionalizer* yang berbasis Arduino Mega 2560.

Pada simulasi alat yang penulis buat, jenis gangguan yang terjadi merupakan gangguan fasa-tanah atau relai GFR (*Ground Fault Relay*) yang bekerja. Penulis juga akan menyimulasikan dua jenis gangguan permanen dan

temporer, gangguan tersebut bisa terjadi antara *recloser* dengan SSO maupun terjadi setelah SSO. Apabila gangguan temporer terjadi sebelum SSO, *recloser* akan mengalami 2-3 kali tripping, sedangkan bila gangguan tersebut merupakan gangguan permanen maka *recloser* akan *open* sehingga arus dan tegangan akan hilang, setelah *recloser* dalam keadaan *open*, maka SSO bisa di *open*, sehingga daerah gangguan/padam dapat diminimalkan karena *section* setelah SSO dapat disuplai dari penyulang lain.

Apabila gangguan temporer terjadi setelah SSO, *recloser* akan mengalami maksimal 2 kali tripping, sedangkan bila gangguan tersebut merupakan gangguan permanen maka *recloser* akan *open* sehingga arus dan tegangan akan hilang, setelah *recloser* dalam keadaan *open*, maka SSO akan *open* otomatis karena dua syarat terpenuhi, sehingga daerah gangguan/padam dapat diminimalkan. Untuk sistem monitoring dan kontrol, penulis menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) berbasis Aplikasi VTScada sehingga arus, tegangan, dan letak gangguan dapat diketahui secara langsung. Untuk mengetahui arus, tegangan, dan gangguan secara realtime penulis menambahkan data logger pada arduino sehingga semua kejadian yang terjadi setiap saat dapat terlihat dan tersimpan.

2.2. Dasar Teori

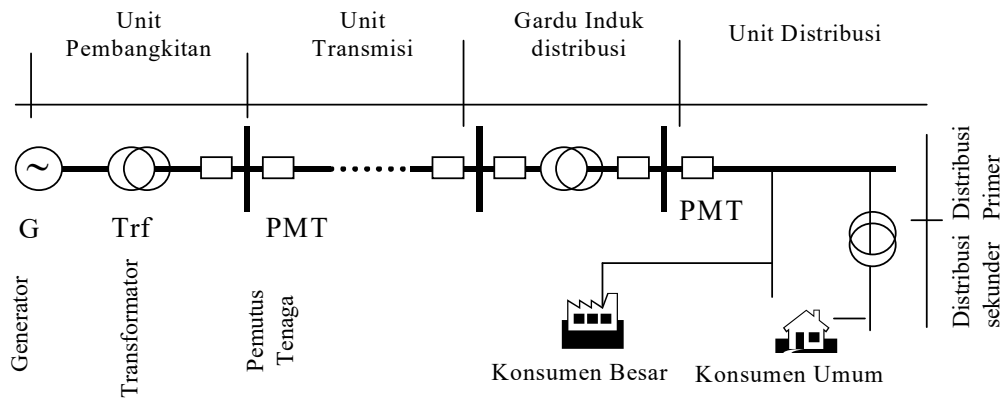
2.2.1. Sistem Distribusi Secara Umum

Unit distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari unit pembangkit, unit penyaluran / transmisi dan unit distribusi yang dimulai dari PMT *incoming* di Gardu Induk sampai dengan Alat Penghitung dan Pembatas (APP) di instalasi konsumen^[7].

Sistem Distribusi dibagi menjadi tiga 4 bagian, yaitu :

- a. Jaringan Tegangan Menengah (JTM 20 KV), terdiri:
 - 1) SUTM
 - 2) SKTM
- b. Gardu Distribusi , terdiri :
 - 1) Gardu Hubung
 - 2) Gardu Trafo (Tiang, Beton, Kubikel, Kios)
- c. Jaringan Tegangan Rendah (JTR 220/380 V), terdiri :
 - 1) SUTR (Kawat terbuka, Berisolasi / *Twisted Cable*)
- d. Sambungan Pelayanan & APP, terdiri :
 - 1) Sambungan Rumah / SLP – SMP ;
 - 2) APP

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan sisi beban/konsumen. Dimana sistem distribusi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai yang dalam hal ini dapat berupa gardu induk atau pusat pembangkit ke pusat-pusat/kelompok beban (gardu distribusi).



Rangkaian keseluruhan sistem dapat dilihat pada gambar gambar 2.1:

Gambar 2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik^[7].

2.2.2 Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Tegangan Menengah

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus ke beban. Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu dari dalam sistem dan dari luar sistem^[8].

2.2.2.1. Gangguan yang Berasal dari Dalam Sistem

1. Tegangan dan arus abnormal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
 - a. Pemasangan sambungan atau terminasi tidak baik
 - b. Selama proses pemasangan kabel tidak sempurna ujung kabel tidak ditutup sehingga air dapat masuk ke kabel.

- c. Penggelaran kabel tidak mengikuti cara yang benar sehingga umur kabel tidak lama ataupun tidak seperti yang diharapkan.
 - d. Pemasangan kabel tidak mengikuti aturan, misalnya peletakkan kabel saling berdekatan, sehingga timbul panas.
3. Umur peralatan.
 4. Beban lebih.
 5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

2.2.2.2. Gangguan yang Berasal dari Luar Sistem

1. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (breakdown).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta



akibat kecerobohan manusia.

Gambar 2.2 Gangguan pada SUTM yang disebabkan, petir, ranting pohon, dan binatang^[8].

2.2.2.3. Gangguan Dilihat dari Lamanya Waktu Gangguan

1. Gangguan Transient (temporer), merupakan gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.2.3. Sistem Proteksi Distribusi Jaringan Tegangan Menengah

2.2.3.1. Dasar Sistem Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari rangkaian peralatan yang sangat memungkinkan untuk mengalami gangguan, baik sebagai akibat dari faktor luar maupun dari kerusakan peralatan itu sendiri. Untuk itulah diperlukan sistem proteksi yang pada prinsipnya bertugas sebagai berikut ^[10]:

- a. Mendeteksi gangguan yang terjadi dengan cara mengenali gejala gangguan yang dapat berupa perubahan besaran tegangan, arus, sudut fasa maupun frekuensi.
- b. Membebaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu dari sistem yang tidak terganggu.

Sistem proteksi tidak bisa menghilangkan datangnya gangguan, namun dengan adanya sistem proteksi yang bekerja dengan baik maka beberapa kerugian dan kemungkinan timbulnya bahaya atau kerusakan dapat dihindarkan. Berikut ini adalah beberapa manfaat dari adanya sistem proteksi :

- a. Mencegah kerusakan lebih jauh dari peralatan yang terganggu. Peralatan yang terganggu tentu telah mengalami kelainan atau kerusakan awal. Apabila peralatan tersebut tidak dibebaskan dari tegangan tentu kerusakan akan menjadi semakin besar.
- b. Mencegah bahaya terhadap manusia dan properti. Gangguan hubung singkat yang melalui peralatan atau properti (misal rumah, pohon) tentu akan membahayakan kalau tidak segera dibebaskan dari tegangan, karena

semua benda yang bersentuhan dengan sistem akan mempunyai tegangan sentuh yang membahayakan bagi manusia.

- c. Mencegah meluasnya pemadaman atau gangguan. Bila gangguan yang terjadi pada suatu tempat tidak segera dipisahkan, maka gejala gangguan akan dirasakan oleh seluruh atau sebagian besar sistem sehingga bisa menimbulkan gangguan yang meluas atau bahkan bisa mengakibatkan pemadaman total (black out).
- d. Mengurangi stress pada peralatan yang tidak terganggu. Gejala gangguan yang terjadi pada suatu tempat akan dirasakan oleh peralatan yang tidak terganggu disekelilingnya. Misalnya gangguan hubung singkat maka akan mengalirkan arus yang sangat besar yang melewati komponen sistem (peralatan) disekitarnya dan ini menimbulkan stress pada peralatan tersebut yang pada akhirnya bisa mengurangi umur (life time) peralatan.

Pemilik sistem tenaga listrik tentu berharap setiap saat proteksi yang terpasang bisa bekerja normal sesuai yang diharapkan. Namun demikian perlu dimaklumi bahwa proteksi itu sendiri merupakan rangkaian dari beberapa peralatan yang masing-masing mempunyai kemungkinan rusak atau gagal beroperasi. Semakin besar harapan yang diminta akan semakin besar pula sumber daya yang harus diberikan pada sistem proteksi. Untuk itu diperlukan keputusan yang logis, yang mempertimbangkan keseimbangan antara tingkat keperluan dan biaya yang harus dikeluarkan. Sebagai contoh kompleksitas proteksi pada sistem tegangan menengah tentu tidak perlu sama dengan proteksi pada sistem tegangan tinggi.

2.2.3.2. Perangkat Sistem Proteksi

Perangkat sistem proteksi adalah rangkaian peralatan proteksi antara komponen satu dengan lainnya sehingga membentuk suatu sistem pengaman yang dapat berfungsi sesuai dengan tujuan pengaman/ proteksi.

Sistem Proteksi tenaga listrik merupakan suatu sistem pengaman tenaga listrik mulai pembangkitan, penyaluran (transmisi), sampai ke distribusi dari gangguan ataupun kerusakan sehingga keandalan, keamanan, serta kontinuitas penyaluran energi listrik dapat terus terjaga^[10].

Pada sistem proteksi umumnya terdapat subsistem / peralatan penting yang harus dipenuhi yaitu :

- a. Relai
- b. Transformator proteksi CT maupun PT
- c. PMT atau pemutus
- d. Baterai / Catu Daya (DC maupun AC)
- e. *Wiring* atau rangkaian proteksi.

2.2.3.3. Syarat Peralatan Proteksi

Setiap peralatan proteksi tentunya memiliki persyaratan yang harus dipenuhi agar dapat mengamankan peralatan yang dilindunginya. Agar bisa memberikan manfaat yang maksimum, sesuai yang telah dibahas didepan, suatu sistem proteksi harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut ^[10]:

- a. Sensitif, sistem harus bisa mendeteksi gangguan terkecil yang ada pada kawasan pengamanannya. Dengan sistem proteksi yang sensitif maka seluruh gangguan yang ada pada kawasan pengamanannya akan dilihat dan direspons.

Kawasan pengamanan adalah bagian dari sistem tenaga listrik dimana bila disitu ada gangguan, maka sistem proteksi yang terkait harus bekerja.

- b. Selektif, suatu sistem proteksi dikatakan selektif apabila bisa memilih daerah yang terganggu saja yang dipisahkan. Pada prinsipnya sistem proteksi hanya boleh bekerja bila ada gangguan pada kawasan pengamanannya. Bila gangguan terletak pada kawasan pengamanan utama maka proteksi harus bekerja cepat. Bila gangguan terjadi diluar kawasan pengamanannya maka sistem proteksi tidak boleh bekerja.
- c. Cepat, untuk mencapai manfaat yang maksimum, sistem proteksi harus bekerja cepat dalam memisahkan gangguan. Apabila pemisahan daerah yang terganggu tidak dilaksanakan dengan cepat maka kerusakan peralatan akan berlanjut. Untuk proteksi cadangan biasanya diberi tunda waktu untuk memberi kesempatan proteksi utama bekerja terlebih dulu, namun tunda waktu ini hanya seperlunya saja dan tidak boleh berlebihan.
- d. Andal, sistem proteksi harus setiap saat siap melaksanakan fungsinya dan tidak salah kerja. Keandalan pada prinsipnya mempunyai tiga aspek :
 1. Dependability, yaitu tingkat kepastian bekerjanya. Proteksi yang mempunyai dependability tinggi dapat dipastikan selalu bekerja apabila kondisi mengharuskan bekerja.
 2. Security, yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Proteksi yang mempunyai security tinggi menjamin untuk tidak salah kerja.

3. Availability, yaitu kesiapan beroperasinya. Angka availability menunjukkan perbandingan antara waktu dimana proteksi dalam keadaan siap dengan waktu total terpasangnya.

2.2.3.4. Zona Proteksi

Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi dimana hanya bagian sistem yang terganggu saja yang diisolasi (mengalami pemutusan), maka pada sistem proteksi dibentuk daerah-daerah proteksi yang dinamakan zona proteksi. Zona – zona proteksi ini biasanya dibatasi dengan PMT (CB) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami gangguan jika menerima instruksi dari relai^[11].

- a. *Zona Proteksi Utama (Main Protection)*
 - Zona utama yang terdiri atas peralatan pengaman utama yang harus beroperasi untuk zona yang diproteksinya
- b. *Zona Proteksi Pendukung (Backup Protection)*
 - Zona pendukung (cadangan) yang diperlukan untuk mengantisipasi kegagalan peralatan pada zona proteksi utama.
 - Digunakan untuk meningkatkan kehandalan sistem proteksi

2.2.3.5. Sectionalizer

Sectionalizer atau saklar seksi otomatis (SSO) adalah saklar yang dilengkapi dengan kontrol elektronik/ mekanik yang digunakan sebagai pengaman seksi Jaringan Tegangan Menengah. 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. Bila tidak ada PBO atau *relay recloser* di sisi sumber maka SSO tidak berfungsi otomatis (sebagai saklar biasa)^[9].

a. Klasifikasi SSO

- 1) Penginderaan : berdasarkan tegangan atau dengan arus.
- 2) Media Pemutus : Minyak, Vacuum, Gas SF6.
- 3) Kontrol : Hidraulik atau Elektronik
- 4) Phase : Fasa tunggal atau Fasa tiga

b. Prinsip Kerja SSO

- 1) SSO bekerjanya dikoordinasikan dengan pengaman di sisi sumber (seperti relai *recloser*) dengan menghitung *counter open recloser* untuk mengisolir secara otomatis seksi SUTM yang terganggu.
- 2) SSO pada pola ini membuka pada saat rangkaian tidak ada tegangan tetapi dalam keadaan bertegangan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat.
- 3) SSO ini dapat juga dipakai untuk dan menutup rangkaian berbeban. Saklar ini bekerja atas dasar penginderaan tegangan.
- 4) SSO dilengkapi dengan alat pengatur dan trafo tegangan sebagai sumber tenaga penggerak dan pengindera.

2.2.3.6. Recloser

Recloser atau penutup balik otomatis (PBO) adalah PMT (pemutus tenaga) yang dilengkapi dengan peralatan kontrol dan relai penutup balik. Relai penutup balik adalah relai yang dapat mendeteksi arus gangguan dan memerintahkan PMT membuka (trip) dan menutup kembali. PBO dipasang pada SUTM yang sering

mengalami gangguan hubung singkat fasa bersifat temporer atau permanen, berfungsi untuk^[9]:

- a. Menormalkan kembali SUTM atau memperkecil pemadaman tetap akibat gangguan temporer.
- b. Pengaman seksi dalam SUTM agar dapat membatasi / melokalisir daerah yang terganggu.

Berdasarkan tipe perintah *reclosing* ke PMT dapat dibedakan dalam 2 jenis *reclosing relay*, yaitu :

a. *Single-shot Reclosing Relay*

- 1) Relai hanya dapat memberikan perintah *reclosing* ke PMT satu kali dan baru dapat melakukan *reclosing* setelah *blocking time* terakhir.
- 2) Bila terjadi gangguan pada periode *blocking time*, PMT trip dan tidak

bisa *reclose* lagi (*lock – out*).

Gambar 2.3 *Relay PBO dengan satu kali Reclose*^[9].

b. *Multi Shot Reclosing Relay*.

- 1) Relai ini dapat memberikan perintah *reclosing* ke PMT lebih dari satu kali. *Dead time* antar *reclosing* dapat diatur sama atau berbeda.
- 2) Bila terjadi gangguan , relai GFR memberikan perintah trip ke PMT pada saat yang sama juga mengarjakan (meng-*energize*) *Reclosing relay*.
- 3) Setelah *dead time* t_1 yang sangat pendek (kurang dari 0,6 detik), relai memberi perintah *reclose* ke PMT .
- 4) Jika gangguan masih ada , PMT akan *trip* kembali dan *reclosing* relai akan melakukan *reclose* yang kedua setelah *dead time* t_2 yang cukup lama (antara 15- 60 detik).
- 5) Jika gangguan masih ada, maka PMT akan trip kembali dan *reclosing* relai akan melakukan *reclose* yang ke tiga setelah *dead time* t_3 .
- 6) Bila gangguannya juga masih ada dalam periode *blocking* t_B 3, maka PMT akan *trip* dan *lock out*.
- 7) Penggunaan *multi shot reclosing* harus disesuaikan dengan siklus

kerja dari PMT.

Gambar 2.4 Diagram waktu kerja *Multi Shot Reclosing Relay*^[9].

Keterangan gambar : t_1 = *dead time* dari *reclosing* pertama

t_2 = *dead time* dari *reclosing* kedua

t_3 = *dead time* dari *reclosing* ketiga

tR_1 = *blocking time* dari *reclosing* pertama

tR_2 = *blocking time* dari *reclosing* kedua

tR_3 = *blocking time* dari *reclosing* ketiga

c. Sifat Relai Penutup Balik

- 1) Operasi cepat (*fast tripping*): untuk antisipasi gangguan temporer.
- 2) Operasi lambat (*delayed tripping*) : untuk koordinasi dengan pengaman di hilir.
- 3) Bila gangguan telah hilang pada operasi cepat maka PBO akan *reset* kembali ke status awal. Bila muncul gangguan setelah waktu *reset*, PBO mulai menghitung dari awal.
- 4) *Repetitive* : riset otomatis setelah *recloser success*.
- 5) *Non repetitive* : memerlukan reset manual (bila terjadi gangguan permanen dan bila gangguan sudah dibebaskan).
- 6) PBO atau *Recloser* adalah relai arus lebih sehingga karakteristik PBO dengan OCR dan GFR adalah sama.

2.2.3.7. *Ground Fault Relay (GFR)*

Ground Fault Relay dipergunakan untuk mengamankan sistem distribusi, jika ada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Pemasangannya dapat di *incoming feeder* (penyulang masuk), di *outgouing feeder* (penyulang keluar) atau di gardu hubung^[9].

Peralatan bantu untuk pengaman, terdiri dari :

a. Trafo Arus

Gunanya adalah jika ada gangguan pada sistem, meneruskan arus dari sirkit sistem tenaga listrik ke sirkit relai.

b. Relai pengaman

Sebagai elemen perasa yang signalnya diperoleh dari trafo arus.

c. Pemutus Tenaga

Sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkit terganggu.

d. Batterai/Aki

Sebagai sumber tenaga untuk mentriapkan pemutus tenaga.

Relai ini akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai *setting* arusnya (Iset). Relai ini bekerja dengan membaca *input* berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus yang terbaca oleh relai melebihi nilai *setting*, maka relai akan mengirim perintah *trip* (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada *setting*.

2.2.3.7.1. Karakteristik GFR

Prinsip kerja GFR hampir sama dengan OCR, hanya saja GFR berfungsi saat gangguan fasa-tanah sedangkan OCR antar fasa^[9]. Berdasarkan karakteristik waktu kerja, GFR dapat dibagi menjadi :

- a. Waktu kerja seketika (*instantaneous/moment*).

Relai arus ini digunakan untuk proteksi arus hubung singkat yang besar (*high set*) sehingga tripping time pada arus gangguan yang besar relai akan bekerja seketika. Walaupun secara teoritis *operating time*-nya sama dengan nol tetapi pada daerah kerja mendekati settingnya masih ada kelambatan waktu beberapa milidetik (tipikal di bawah 150 % Iset, *operating time* lebih kecil dari 150 mili detik).

Gambar 2.5 Karakteristik *Instantaneous*^[9].

- b. Waktu tunda tertentu (*definite time* GFR).

Jangka waktu relai mulai *pick-up* sampai selesai kerja relai diperpanjang dengan nilai waktu tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang

menggerakkannya., namun *setting* relai tersebut akan *trip* pada saat nilai *setting* arus dan *setting* waktu memenuhi.

Gambar 2.6 Karakteristik *Definite Time*^[9].

c. Waktu Berbanding Terbalik (*Inverse time* GFR)

Jangka waktu relai mulai *pick-up* sampai selesai kerjanya diperpanjang dengan nilai yang berbanding terbalik dengan besarnya arus yang menggerakkannya. Semakin besar arus yang lewat rele, maka semakin cepat rele bekerja, dan sebaliknya. Beberapa jenis karakteristik relai ini adalah :

- 1) *Long Time Inverse*
- 2) *Standard Inverse*
- 3) *Very Inverse*

- 4) *Extremely Inverse*

Gambar 2.7 Karakteristik *Inverse*^[9].

Gambar 2.8 Pengaman Arus Lebih GFR^[9].**2.2.3.8. Load Break Switch (LBS)**

Saklar pemutus beban (*Load Break Switch*, LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. Saklar dengan penempatan di atas tiang pancang ini dioptimalkan melalui kontrol jarak jauh dan skema otomatisasi. Saklar pemutus beban juga merupakan sebuah sistem penginterupsi yang terisolasi oleh gas SF₆ dalam sebuah tangki baja anti karat dan disegel. Sistem kabelnya yang *full-insulated* dan sistem pemasangan pada tiang pancang yang sederhana membuat proses instalasi lebih cepat dengan biaya yang rendah.

LBS digunakan sebagai saklar yang bertujuan untuk manipulasi beban pada jaringan. Dirancang untuk fleksibilitas dan cocok untuk aplikasi pada sistem *remote* kontrol. Tujuannya adalah untuk mencapai keandalan tertinggi dalam sistem distribusi tenaga listrik dari pembangkit menuju ke konsumen.

Sistem pengendalian elektroniknya ditempatkan pada sebuah kotak pengendali yang terbuat dari baja anti karat sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Panel pengendali tersebut mudah digunakan (*user-friendly*) dan tahan segala kondisi cuaca^[1].



Gambar 2.9 *Load Break Switch*^[27].

Ciri-ciri LBS :

1. Dapat digunakan sebagai pemisah maupun pemutus tenaga dengan beban nominal;
2. Tidak dapat memutuskan jaringan dengan sendirinya saat terjadi gangguan pada jaringan;
3. Dibuka dan ditutup hanya untuk memanipulasi beban.

Prinsip kerja LBS yaitu:

1. Ketika LBS dioperasikan dari posisi tertutup maka akan menggerakkan kontak bergerak, sehingga pisau LBS akan terbuka.
2. Konsep ABSW dan LBS sebenarnya sama, yang membedakan adalah pengoperasian dan sistematika pemadaman busur api, dimana ABSW digerakan dengan stang dengan pemadam busur api media hembusan

angin, sedangkan LBS dengan operasi otomatis lewat panel kontrol dengan pemadam busur api hembusan angin atau gas SF₆.

3. Pemadam busur dan kontakannya terletak di dalam di reservoir kompresi media pemadam, sehingga pemadaman busur api terletak di dalam reservoir kompresi udara.
4. Pada saat yang sama, katup terbuka dan media pemadam busur api meninggalkan reservoir dan melewati *nozel*. Busur api tertiuip oleh media pemadam ke *arc-detector* elektroda dengan aliran media pemadaman terkompresi dan busur api dipadamkan.
5. Apabila pengoperasian dari kontak terbuka, maka sistematika kerja yang sama akan berulang kembali.

Digunakannya gas SF₆ ini dikarenakan memiliki sifat isolasi yang baik serta mempunyai sifat yang cepat mendinginkan. Prinsip kerja pemutus gas SF₆ sama dengan pemutus minyak banyak yaitu meredam busur listrik dengan menggunakan gas SF₆. Akan tetapi gas SF₆ akan berkurang seiringnya waktu penggunaan, oleh karena itu perlu pengisian gas apabila pengukur tekanan gas telah berkurang.

2.2.3. Koordinasi *Recloser* dengan *Sectionalizer*

Pada penyulang 20 KV biasanya pemadaman disebabkan oleh gangguan hubung singkat. Jika penyetela relai arus lebih (GFR) di sisi incoming atau di outgoing kurang baik, dapat menyebabkan pemadaman total (black out). Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mengevaluasi setting relai proteksi pada penyulang distribusi 20 KV, sehingga saling terkoordinasi dengan baik dan

diharapkan jika terjadi gangguan pada salah satu section jaringan distribusi 20 KV maka tidak akan membawa black out pada penyulang yang lain^[22]. Gangguan listrik yang terjadi pada sistem kelistrikan 3 fasa adalah :

- a. Gangguan 3 fasa
- b. Gangguan 2 fasa
- c. Gangguan 2 fasa ke tanah dan
- d. Gangguan 1 fasa ke tanah

Pada penyettingan relai proteksi diperlukan besaran arus gangguan yang dimasukan pada setelan GFR, untuk keperluan penyettingan diperlukan data beban puncak, dan besarnya arus gangguan, penyetelan relai dapat menggunakan

karakteristik *instan*, *definite*, dan *inverse*

Gambar 2.10 Single Line Diagram Satu Feeder

Arti koordinasi secara umum adalah kerja antara 2 peralatan atau lebih , bekerja dengan cara berbeda untuk menghasilkan tujuan yang sama. Pada koordinasi recloser dan sectionalizer, koordinasi yang dimaksud yaitu koordinasi berdasarkan arus setting masing-masing peralatan proteksi. Berdasarkan gambar 2.10 dapat dilihat bahwa wilayah kerja recloser juga mencakup daerah setelah SSO. Sehingga arus setting pada recloser harus lebih besar dari setting arus pada

SSO. Apabila terjadi gangguan sebelum SSO, maka hanya recloser yang trip, SSO tidak trip karena tidak merasakan arus gangguan. Apabila gangguan terjadi setelah SSO maka yang pertama bekerja juga recloser, recloser yang akan trip, SSO akan membuka secara otomatis (lockout) apabila recloser telah trip dua kali atau hilang tegangan dua kali dan merasakan arus gangguan.

2.2.4. Peralatan Simulasi

2.2.5.1. Transformator

Transformator atau trafo adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian yang lain melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet^[6]. Dalam memindahkan energi listrik, trafo tidak merubah frekuensi, tetapi hanya dapat menaikkan atau menurunkan tegangan maupun arus.

2.2.5.2. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja trafo yaitu apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik maka akan menghasilkan fluks magnetik yang akan mengalir menuju inti magnetik. Fluks tersebut menimbulkan induksi magnetik pada kumparan sekunder sehingga kumparan tersebut timbul tegangan induksi yang besarnya sebanding dengan jumlah belitan.

Gambar 2.11 Rangkaian Trafo^[6]

Adapun rumus untuk menghitung tegangan dan arus pada masing-masing sisi primer dan sekunder yaitu:

$$E_1 = E_p = 4,44 \times f \times N_1 \times \phi \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.1)}$$

$$E_2 = E_s = 4,44 \times f \times N_2 \times \phi \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.2)}$$

Dari persamaan (2.1) dan persamaan (2.2) didapatkan:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.3)}$$

Karena rugi rugi daripada lilitan ini diabaikan maka dapat dikatakan bahwa transformator ini dalam kondisi ideal sehingga berlaku persamaan:

$$V_1 = E_1 = V_p = E_p \text{ dan } V_2 = E_2 = V_s = E_s \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.4)}$$

$$P_1 = P_2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.5)}$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.7)}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.7)}$$

Berdasarkan persamaan (2.3), (2.4), dan (2.7) maka trafo ideal berlaku perbandingan transformasi berikut,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Dengan keterangan:

$E_1=E_p$ = GGL yang dibangkitkan pada belitan pada belitan primer

$E_2=E_s$ = GGL yang dibangkitkan pada belitan pada belitan sekunder

$N_1=N_p$ = Banyaknya belitan pada sisi primer

$N_2=N_s$ = Banyaknya belitan pada sisi sekunder

ϕ = Fluks maksimum dalam besaran Weber

f = Frekuensi arus dan tegangan sistem (Hz)

$V_1=V_p$ = Tegangan sumber yang masuk primer (volt)

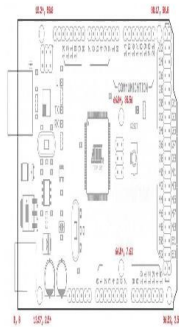
$V_2=V_s$ = Tegangan sekunder ke beban (volt)

2.2.5.3. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 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.

Mikrokontroler itu sendiri adalah *chip* atau *Integrated Circuit (IC)* yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan ditanamkannya program pada mikrokontroler adalah supaya rangkaian elektronik dapat membaca *input*, kemudian memproses *input* tersebut sehingga menghasilkan *output* yang sesuai dengan keinginan.

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis *Atmega 2560* yang memiliki 54 pin digital *input/output*, keterangan 15 pin diantaranya digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, 4 pin sebagai UART (port *serial hardware*), sebuah osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack* power, header ISCP, dan tombol *reset*^[16].



Gambar 2.12 *Arduino Mega 2560*^[16].

Tabel 2.2 Spesifikasi dari *Arduino Mega 2560*^[28]

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
<i>Input Voltage</i> (disarankan)	7-12V
<i>Input Voltage</i> (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	54 (yang 15 pin digunakan sebagai <i>output</i> PWM)
Pins <i>Input</i> Analog	16
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA

<i>Flash Memory</i>	256 KB (8 KB digunakan untuk <i>bootloader</i>)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

2.2.5.3.1. Catu Daya Arduino Mega 2560

Arduino Mega 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. Papan Arduino ATmega2560 dapat beroperasi dengan daya eksternal 6 Volt sampai 20 volt. Jika tegangan kurang dari 7 Volt, maka pin 5 Volt mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 Volt dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt^[16]. Pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino adalah sebagai berikut:

- 1) **VIN**, *Input* tegangan untuk papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal.
- 2) **5V**, sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 Volt, dari pin ini tegangan sudah diatur (ter-regulator) dari regulator yang tersedia (*built-in*) pada papan.
- 3) **3V3**, sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (*on-board*). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 mA.
- 4) **GND**, pin Ground.
- 5) **IOREF**, pin ini berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler. Sebuah perisai (*shield*) dikonfigurasi dengan benar untuk dapat membaca pin tegangan IOREF dan memilih sumber daya yang tepat atau mengaktifkan penerjemah tegangan (*voltage translator*) pada *output* untuk bekerja pada tegangan 5 Volt atau 3,3 Volt.

2.2.5.3.2. Memori Arduino Mega 2560

Arduino ATmega2560 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).

2.2.5.3.3. Input dan Output Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 memiliki 54 digital pin pada Arduino Mega dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Beberapa pin memiliki fungsi khusus, antara lain:

- 1) **Serial**, terdiri atas pin 0 (RX) dan 1 (TX), pin *Serial* 19 (RX) dan 18 (TX), pin *Serial* 17 (RX) dan 16 (TX), pin *Serial* 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data *serial* TTL. Pins 0 dan 1 juga terhubung ke pin chip ATmega16U2 *Serial* USB-to-TTL.
- 2) **Eksternal Interupsi**, berupa pin 2 (*interrupt* 0), pin 3 (*interrupt* 1), pin 18 (*interrupt* 5), pin 19 (*interrupt* 4), pin 20 (*interrupt* 3), dan pin 21 (*interrupt* 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau berubah nilai.
- 3) **SPI**, terdiri dari pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), pin 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga terhubung dengan *header* ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Arduino Uno, Arduino Duemilanove dan Arduino Diecimila.
- 4) **LED**, berupa pin 13. Tersedia secara built-in pada papan Arduino ATmega2560. LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin *diset* bernilai *HIGH*, maka LED menyala (*ON*), dan ketika pin *diset* bernilai *LOW*, maka LED padam (*OFF*).
- 5) **TWI**, terdiri atas pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL). Yang mendukung komunikasi TWI menggunakan perpustakaan *Wire*. Perhatikan bahwa pin ini tidak di lokasi yang sama dengan pin TWI pada Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila.

Arduino Mega2560 memiliki 16 pin sebagai analog *input*, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default pin ini dapat diukur/diatur dari mulai *ground* sampai dengan 5 Volt, juga

memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan pin AREF dan fungsi *analogReference()*.

Ada beberapa pin lainnya yang tersedia, antara lain:

- 1) **AREF**, merupakan referensi tegangan untuk *input* analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference()*.
- 2) **RESET**, merupakan jalur *LOW* ini digunakan untuk me-*reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Jalur ini biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama *Arduino*.

2.2.5.3.4. Komunikasi Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, *Arduino* lain, bahkan mikrokontroler lain. *ATmega 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)^[16].

2.2.5.4. Catu Daya

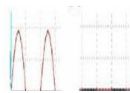
Catu daya merupakan suatu rangkaian yang paling penting bagi sistem

elektronika. Ada dua sumber catu daya yaitu sumber AC dan sumber DC. Sumber AC yaitu sumber tegangan bolak – balik, sedangkan sumber tegangan DC merupakan sumber tegangan searah. Dengan osiloskop seperti Gambar 2.13

Gambar 2.13 Tegangan AC^[17].

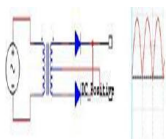
Gambar 2.14 Tegangan DC^[17].

Bila diamati sumber AC tegangan berayun sewaktu-waktu pada kutub

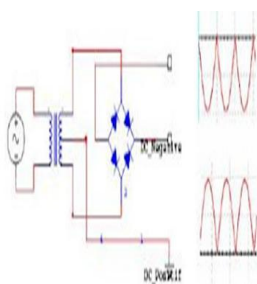


positif dan sewaktu-waktu pada kutub negatif, sedangkan sumber AC selalu pada satu kutub saja, positif saja atau negatif saja. Dari sumber AC dapat disearahkan menjadi sumber DC dengan menggunakan rangkaian penyearah yang dibentuk dari dioda. Ada tiga macam rangkaian penyearah dasar yaitu penyearah setengah gelombang, gelombang penuh dan sistem jembatan.

Gambar 2.15 Penyearah Setengah Gelombang^[17].



Gambar 2.16 Penyearah Setengah Gelombang^[17].



Gambar 2.17 Penyearah Sistem Jembatan^[17].

Rangkaian penyearah biasanya output dari rangkaian diberi suatu filter kapasitor untuk menghilangkan riak sehingga diperoleh tegangan DC yang stabil. Tegangan yang tersedia dari suatu sumber tegangan yang ada biasanya tidak sesuai dengan kebutuhan. Untuk itu diperlukan suatu regulator tegangan yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan bernilai konstan pada nilai tertentu. Regulator tegangan ini biasanya berupa IC dengan kode 78xx atau 79xx. Untuk seri 78xx digunakan untuk regulator tegangan DC positif, sedangkan 79xx digunakan untuk regulator DC negatif. Nilai xx menandakan tegangan yang akan diregulasikan. Misalnya kebutuhan sistem adalah positif 5 volt, maka regulator yang digunakan adalah 7805. IC regulator ini biasanya terdiri dari tiga pin yaitu *input*, *ground* dan *output*. Dalam menggunakan IC ini tegangan input harus lebih besar beberapa persen (tergantung pada data *sheet*) dari tegangan yang akan diregulasikan^[17].

2.2.5.3.1. Prinsip Kerja Catu Daya

Perangkat elektronika mestinya dicatu oleh suplai arus searah DC (*direct current*) yang stabil agar dapat bekerja dengan baik. Baterai atau *accu* adalah sumber catu daya DC yang paling baik. Namun untuk aplikasi yang membutuhkan catu daya lebih besar, sumber dari baterai tidak cukup. Sumber catu daya yang besar adalah sumber bolak-balik AC (*alternating current*) dari pembangkit tenaga listrik. Untuk itu diperlukan suatu perangkat catu daya yang dapat mengubah arus AC menjadi DC. Pada tulisan kali ini disajikan prinsip rangkaian catu daya (*power supply*) *linier* mulai dari rangkaian penyearah yang paling sederhana sampai pada catu daya yang ter-regulasi^[17].

2.2.5.3.2. Penyearah (*Rectifier*)

Prinsip penyearah (*rectifier*) yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar 2.18 berikut ini. Transformator (T1) diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC

yang lebih kecil pada kumparan sekundernya.

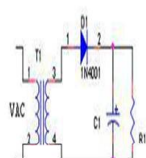
Gambar 2.18 Penyearahan Gelombang^[17].

Pada rangkaian ini, dioda (D1) berperan hanya untuk merubah dari arus AC menjadi DC dan meneruskan tegangan positif ke beban R1. Ini yang disebut

dengan penyearah setengah gelombang (*half wave*). Untuk mendapatkan penyearah gelombang penuh (*full wave*) diperlukan transformator dengan *center tap* (CT).

Gambar 2.19 Penyearahan Gelombang Penuh^[17].

Tegangan positif fase yang pertama diteruskan oleh D1 sedangkan fase



yang berikutnya dilewatkan melalui D2 ke beban R1 dengan CT transformator sebagai *common ground*. Dengan demikian beban R1 mendapat suplai tegangan gelombang penuh seperti gambar 2.19. Untuk beberapa aplikasi seperti misalnya untuk men-catu motor dc yang kecil atau lampu pijar dc, bentuk tegangan seperti ini sudah cukup memadai. Walaupun terlihat di sini tegangan *ripple* dari kedua rangkaian di atas masih sangat besar.

Gambar 2.20 Penyearahan dengan Filter C^[17].

Gambar 2.20 adalah rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter kapasitor C yang paralel terhadap beban R. Ternyata dengan filter ini bentuk gelombang tegangan keluarannya bisa menjadi rata. Gambar 2.21 menunjukkan bentuk keluaran tegangan DC dari rangkaian penyearah setengah gelombang

dengan filter kapasitor. Garis b-c kira-kira adalah garis lurus dengan kemiringan tertentu, dimana pada keadaan ini arus untuk beban R1 dicatu oleh tegangan kapasitor. Sebenarnya garis b-c bukanlah garis lurus tetapi eksponensial sesuai dengan sifat pengosongan kapasitor.

Gambar 2.21 Bentuk Gelombang *Filter* Kapasitor^[17].

Kemiringan kurva b-c tergantung dari besar arus (I) yang mengalir ke beban R. Jika arus $I = 0$ (tidak ada beban) maka kurva b-c akan membentuk garis horizontal. Namun jika beban arus semakin besar, kemiringan kurva b-c akan semakin tajam.

Penyearah gelombang penuh dengan filter C dapat dibuat dengan menambahkan kapasitor pada rangkaian gambar 2.22. Bisa juga dengan menggunakan transformator yang tanpa CT, tetapi dengan merangkai 4 dioda

seperti pada gambar 2.22.

Gambar 2.22 Penyearahan Gelombang Penuh dengan *Filter C*^[17].

Sebagai contoh, anda mendesain rangkaian penyearah gelombang penuh dari catu jala-jala listrik 220V/50Hz untuk mensuplai beban sebesar 0.5 A. Berapa

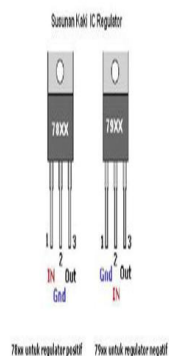
nilai kapasitor yang diperlukan sehingga rangkaian ini memiliki tegangan *ripple* yang tidak lebih dari 0.75 Vpp.

Untuk kapasitor yang sebesar ini banyak tersedia tipe *elco* yang memiliki polaritas dan tegangan kerja maksimum tertentu. Tegangan kerja kapasitor yang digunakan harus lebih besar dari tegangan keluaran catu daya. Untuk memahami mengapa rangkaian audio yang dibuat menjadi mendengung, coba periksa kembali rangkaian penyearah catu daya yang dibuat, apakah tegangan *ripple* ini cukup mengganggu. Jika dipasaran tidak tersedia kapasitor yang demikian besar, tentu bisa dengan memparalel dua atau tiga buah kapasitor.

2.2.5.3.3. Voltage Regulator

Rangkaian penyearah sudah cukup bagus jika tegangan *ripple*-nya kecil, namun ada masalah stabilitas. Jika tegangan PLN naik/turun, maka tegangan outputnya juga akan naik/turun. Seperti rangkaian penyearah di atas, jika arus semakin besar ternyata tegangan dc keluarannya juga ikut turun. Untuk beberapa aplikasi perubahan tegangan ini cukup mengganggu, sehingga diperlukan komponen aktif yang dapat meregulasi tegangan keluaran ini menjadi stabil.

Regulator voltage berfungsi sebagai filter tegangan agar sesuai dengan keinginan. Oleh karena itu biasanya dalam rangkaian power supply maka IC regulator tegangan ini selalu dipakai untuk stabilnya outputan tegangan^[16].



Gambar 2.23 susunan kaki IC regulator tersebut :

Gambar 2.23 Kaki Regulator^[16].

Misalnya 7805 adalah regulator untuk mendapat tegangan +5 volt, 7812 regulator tegangan +12 volt dan seterusnya. Sedangkan seri 79XX misalnya adalah 7905 dan 7912 yang berturut-turut adalah regulator tegangan -5 dan -12 volt.

Selain dari regulator tegangan tetap ada juga IC regulator yang tegangannya dapat diatur. Prinsipnya sama dengan regulator OP-amp yang dikemas dalam satu IC misalnya LM317 untuk regulator *variable* positif dan LM337 untuk regulator *variable* negatif. Bedanya resistor R1 dan R2 ada di luar IC, sehingga tegangan keluaran dapat diatur melalui resistor eksternal tersebut.

2.2.3.5.4. Sensor Arus ACS 712-30A

Sensor ini adalah sensor yang bekerja menggunakan prinsip *hall effect* atau sering disebut medan magnet, besar medan magnet tersebut dideteksi lalu diproses menjadi tegangan, tegangan yang dihasilkan sensor ini adalah tegangan DC sehingga dapat dijadikan *input* ke *ATMega*. Layaknya amperemeter pada

umumnya, sensor ini juga dipasang secara seri dengan beban^[16]. Gambar 2.24 rangkaiannya :



Gambar 2.24 Konfigurasi PIN Sensor ACS^[16]

Aliran arus listrik phase pada beban dilewatkan ke kaki 1, 2 dan kaki 3, 4 tersambung langsung pada beban, arus yang melewati beban akan menciptakan medan magnet (*hall effect*). Besaran medan magnet itulah yang kemudian menginduksi bagian *dynamic offset cancellation* dan setelah itu sinyal tegangan akan dikuatkan dan disaring oleh ampliflier dan filter pada ACS712 sebelum dikeluarkan melalui *v out* pada kaki 7^[14].

Gambar 2.25 Bentuk Fisik Sensor Arus ACS^[14]

Datasheet ACS712:

- Rendah *noise* jalur sinyal analog
- *Bandwidth* Perangkat diatur melalui *FILTER pin* baru

- 5 mikrodetik *output* dalam menanggapi langkah masukan
- *Bandwidth* 80 kHz
- Total *output error* 1,5% pada TA = 25 ° C
- Kecil tapak, *low-profile* paket SOIC8
- 1,2 miliOhm resistansi konduktor internal
- Isolasi tegangan 2,1 kVRMS minimum dari *pin* 1-4 ke *pin* 5-8
- Operasi catu daya tunggal 5.0 V
- Sensitivitas keluaran 66-185 mV / A
- Tegangan *output* sebanding dengan arus AC atau DC
- Keluaran tegangan *offset* sangat stabil
- Hampir nol *hysteresis magnetik*
- Keluaran *ratiometric* dari tegangan suplai

Cara pendeteksian besarnya arus gangguan hubungan singkat di jaringan tenaga listrik biasanya menggunakan elektromekanik. Gaya elektromagnetik pada kumparan yang dilalui arus gangguan hubung singkat dimanfaatkan untuk membuka relai. Dimana besarnya setelan arus, dapat di setel pada setelan *pickup*. Kerugian besarnya arus hubung singkat sangat membahayakan bagi pengaman dan peralatan yang dilalui oleh arus tersebut dan tingkat akurasinya rendah

2.2.5.5. Sensor Tegangan (Pembagi Tegangan)

Sensor tegangan menggunakan transformator tegangan sebagai penurun tegangan dari 220 ke 12 Volt AC kemudian disearahkan menggunakan jembatan diode untuk mengubah tegangan AC ke tegangan DC, kemudian di filter menggunakan kapasitor setelah itu masuk kerangkaian pembagi tegangan untuk

menurunkan tegangan, tegangan yang dihasilkan tidak lebih dari 5 Volt DC sebagai inputan ke mikrokontroler.

Rangkaian pembagi tegangan berfungsi membagi tegangan input menjadi beberapa bagian tegangan output. Pada contoh rangkaian dibawah, tegangan input V_{in} dibagi menjadi dua buah tegangan yaitu tegangan V_1 dan tegangan V_2 .

Berdasarkan hukum ohm dapat diketahui bahwa nilai V_1 sama dengan kuat arus (I) kali Resistor (R_1) dan V_2 sama dengan kuat arus (I) kali Resistor (R_2). Sedangkan nilai I adalah tegangan V_{in} dibagi resistor total (R_{total}) yang merupakan

hasil dari resistor R_1 ditambah resistor R_2 ^[19]. Maka diperoleh rumus tanpa

mengetahui arusnya:

Gambar 2.26 Rangkaian Pembagi Tegangan^[19].

2.2.5.6. *Relay*

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar. Kontak saklar akan

menghubungkan beban *relay* ke sumber lain yang biasanya menggunakan arus atau tegangan yang lebih besar dari pada arus atau tegangan untuk *input coil*.

Sebagai contoh, dengan *relay* yang menggunakan elektromagnet 5V dan 1 mA mampu menggerakkan *armature* relay (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A^[17].

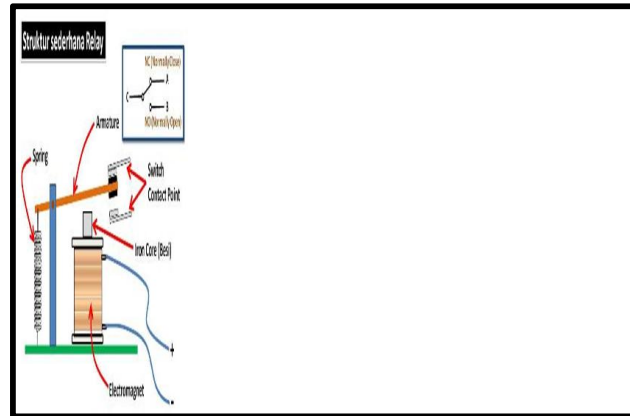


Gambar 2.27 Bentuk Relai dan Simbol Relai^[17].

Pada dasarnya, Di sebuah Relai sederhana terdiri dari 4 komponen dasar yaitu :

1. Elektromagnet (*Coil*);
2. *Armature*;
3. *Switch Contact Point* (Saklar);

4. *Spring*.



Gambar 2.28 Komponen Dasar Relai^[17].

Berdasarkan gambar di atas, inti besi yang dililit oleh kumparan (*coil*) berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan diberikan arus listrik searah, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik *Armature* untuk berpindah dari Posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana *Armature* tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi OPEN atau tidak terhubung.

Dalam relai kita mengenal istilah *Pole* dan *Throw*. *Pole* adalah Banyaknya Kontak (*Contact*) yang dimiliki oleh sebuah relai. Sedangkan *Throw* merupakan Banyaknya kondisi yang dimiliki oleh sebuah kontak.

Berdasarkan penggolongan jumlah *Pole* dan *Throw*-nya sebuah *relay*, maka *relay* dapat digolongkan menjadi :

1. *Single Pole Single Throw* (SPST) : *Relay* golongan ini memiliki 4 Terminal, 2 Terminal untuk Saklar dan 2 Terminalnya lagi untuk *Coil*;

2. *Single Pole Double Throw* (SPDT) : *Relay* golongan ini memiliki 5 Terminal, 3 Terminal untuk Saklar dan 2 Terminalnya lagi untuk *Coil*;
3. *Double Pole Single Throw* (DPST) : *Relay* golongan ini memiliki 6 Terminal, diantaranya 4 Terminal yang terdiri dari 2 Pasang Terminal Saklar sedangkan 2 Terminal lainnya untuk *Coil*. *Relay* DPST dapat dijadikan 2 Saklar yang dikendalikan oleh 1 *Coil*;
4. *Double Pole Double Throw* (DPDT) : *Relay* golongan ini memiliki Terminal sebanyak 8 Terminal, diantaranya 6 Terminal yang merupakan 2 pasang *Relay* SPDT yang dikendalikan oleh 1 (*single*) *Coil*. Sedangkan 2 Terminal lainnya untuk *Coil*.



Gambar 2.29 Jenis *Pole* dan *Throw*^[17].

Beberapa fungsi *Relay* yang telah umum diaplikasikan kedalam peralatan elektronika diantaranya adalah:

1. *Relay* digunakan untuk menjalankan fungsi logika (*Logic Function*);

2. *Relay* digunakan untuk memberikan fungsi penundaan waktu (*Time Delay Function*);
3. *Relay* digunakan untuk mengendalikan sirkuit tegangan tinggi dengan bantuan dari *signal* tegangan rendah;
4. Ada juga *relay* yang berfungsi untuk melindungi motor ataupun komponen lainnyadari kelebihan tegangan ataupun hubung singkat.



Gambar 2.30 Kaki Relai Omron LY2N

(Sumber : *IMG.jpg* . Gambar Diambil: 15 April 2018.)

2.2.5.7. Ethernet Shield

Ethernet Shield menambah kemampuan arduino board agar terhubung ke jaringan komputer. Perangkat *Ethernet Shield* ditunjukkan pada gambar 2.31.



Gambar 2.31 *Ethernet Shield*

(Sumber : www.produksielektronik.com. Diakses: 17 Juli 2018.)

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* menggunakan 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

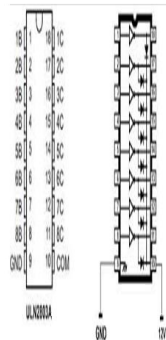
menggunakan *ethernet shield*. Karena *W5100* dan *SD card* berbagi bus *SPI*, hanya salah satu yang dapat aktif pada satu waktu.

Jika kita menggunakan kedua perangkat dalam program kita, hal ini akan diatasi oleh *library* yang sesuai. Jika kita tidak menggunakan salah satu perangkat dalam program kita, kiranya kita perlu secara eksplisit men-*deselect*-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 Protocol*) untuk secara dinamis menentukan sebuah IP. Selain itu juga diperlukan *gateway* jaringan dan *subnet*^[16].

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* mikrokontroler sebesar 5V tersebut belum bisa digunakan untuk mengaktifkan *relay*^[17].



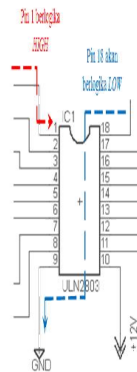
Gambar 2.32 *Pin-out Diagram* ULN 2803

(Sumber : www.produksielektronik.com. Diakses: 17 Juli 2018.)

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. Pasangan transistor *Darlington* adalah penggabungan dua buah transistor sejenis dengan dan umumnya mempunyai beta yang sama. Keuntungan transistor *Darlington* yakni mempunyai impedansi *input* tinggi dan impedansi *output* rendah.^[22]

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*.

Cara kerja *ULN2803* untuk mengendalikan *on-off* komponen relay sebagai berikut, misalkan ketika pin masukan *ULN2803* bernomor 1 mendapat logika *high* atau bertegangan 5 VDC dari pin digital Arduino maka pada pin keluaran *ULN2803* bernomor 18 akan menghasilkan logika *low* atau tidak bertegangan sehingga *coil* relay R1 akan mendapat tegangan 12 VDC.



Gambar 2.33 Skema ULN2803 ketika pin masukan berlogika *high*.

Sumber : (Eagle Project Schematic diambil pada 20 Juli 2018).

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 1 IC ULN2803 berlogika *low*, maka pin keluaran 18 IC ULN2803 akan berkondisi *floating*. Gambar 3.34 menunjukkan skema rangkaian ULN2803 apabila pin masukan mendapat logika *low*.

Gambar 2.34 Skema ULN2803 ketika pin masukan berlogika *low*.

Sumber : (Eagle Project Schematic diambil pada 20 Juli 2018).

2.2.5.9. Push Button

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

Sebagai *device* penghubung atau pemutus, *push button switch* hanya memiliki 2 kondisi, yaitu *On* dan *Off* (1 dan 0). Istilah *On* dan *Off* ini menjadi sangat penting karena semua perangkat listrik yang memerlukan sumber energi listrik pasti membutuhkan kondisi *On* dan *Off*. Karena sistem kerjanya yang *unlock* dan langsung berhubungan dengan operator, *push button switch* menjadi *device* paling utama yang biasa digunakan untuk memulai dan mengakhiri kerja mesin di industri. Secanggih apapun sebuah mesin bisa dipastikan sistem kerjanya tidak terlepas dari keberadaan sebuah saklar seperti *push button switch* atau perangkat lain yang sejenis yang bekerja mengatur pengkondisian *On* dan *Off*.



Gambar 2.35 Push Button

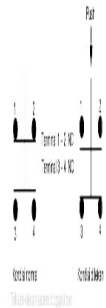
(Sumber : www.ebay.co.uk. Diakses : 7 Juli 2018.)

Berdasarkan fungsi kerjanya yang menghubungkan dan memutuskan, *push button switch* mempunyai 2 tipe kontak yaitu NC (*Normally Close*) dan NO (*Normally Open*).

2.2.5.9.1. Prinsip Kerja Push Button

- a. NO (*Normally Open*), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya terbuka (aliran arus listrik tidak mengalir). Dan ketika tombol saklar ditekan, kontak yang NO ini akan menjadi menutup (*Close*) dan mengalirkan atau menghubungkan arus listrik. Kontak NO digunakan sebagai penghubung atau menyalakan sistem *circuit* (*Push Button ON*).
- b. NC (*Normally Close*), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya tertutup (mengalirkan arus listrik). Dan ketika tombol saklar *push button* ditekan, kontak NC ini akan menjadi membuka (*Open*), sehingga memutus

aliran arus listrik. Kontak NC digunakan sebagai pemutus atau mematikan sistem *circuit* (*Push Button Off*).



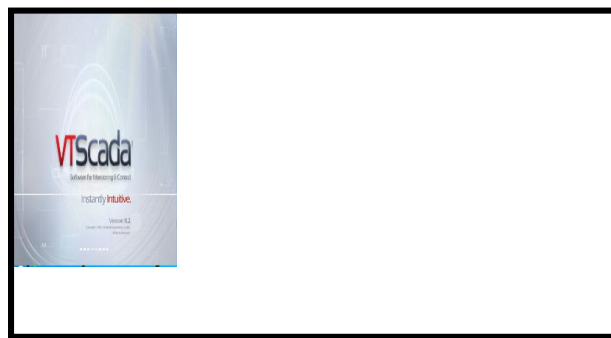
Gambar 2.36 Prinsip Kerja *Push Button Switch*^[17]

2.2.5.10. *Software* VTScada

VTScada dirancang untuk menampilkan satu set alat pemantauan dan kontrol yang baik melalui perangkat keras HMI (*Human Machine Interface*). Biasanya digunakan di peron pengeboran lepas pantai, pabrik pengolahan air, kapal, pabrik bir, pembangkit listrik tenaga air di seluruh dunia. Di dalam VTScada bisa dengan mudah untuk digunakan dalam pengembangan aplikasi dan bahasa pemrograman yang bagus. Dengan ini kita bisa mengoperasikan peralatan dengan mudah seperti konfigurasi alarm, mendapatkan data laporan, dan data statistik. Dalam *monitoring*-nya operator dapat melihat peralatan status dari jarak jauh dengan via alarm telepon, *email* atau sms. Kita juga bisa membuat tag untuk peralatan kita sendiri, karena tersedia banyak alamat I/O, alarm, *data logger*.

Software VTScada mampu untuk melakukan sistem kendali berbasis komputer yang dipakai untuk pengontrolan suatu proses tenaga listrik. Dapat juga menampilkan hasil besaran yang di ukur oleh sensor. Selain itu *software* juga

dilengkapi oleh *button* ataupun *switch* yang mampu untuk menggerakkan kontak *relay* pada rangkaian elektronika. Bedanya *software* ini dari *software* SCADA yang lain, *software* ini memiliki bermacam-macam *widget* yang bisa membuat tampilan HMI menjadi lebih menarik dan terkesan tidak monoton. Gambar 2.37 menunjukkan tampilan awal aplikasi VTScada.



Gambar 2.37 *Software VTScada*^[21]