

## **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<sup>[4]</sup>. 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<sup>[5]</sup>. .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* .

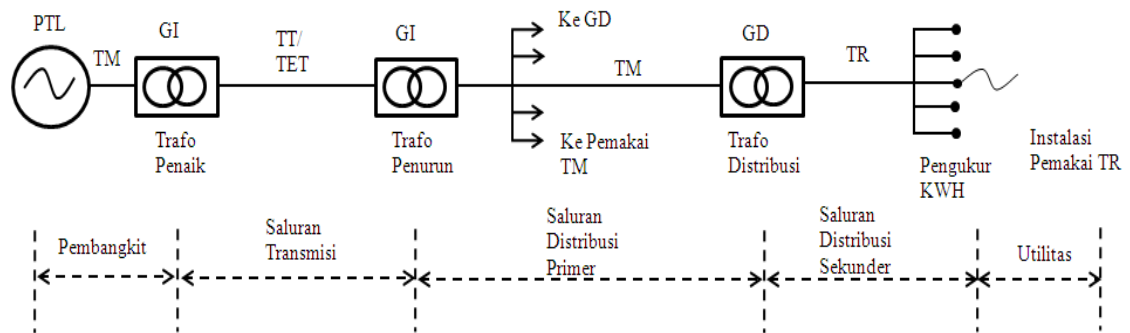
## **2.2 Dasar Teori**

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 tegangan 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)<sup>[1]</sup>.

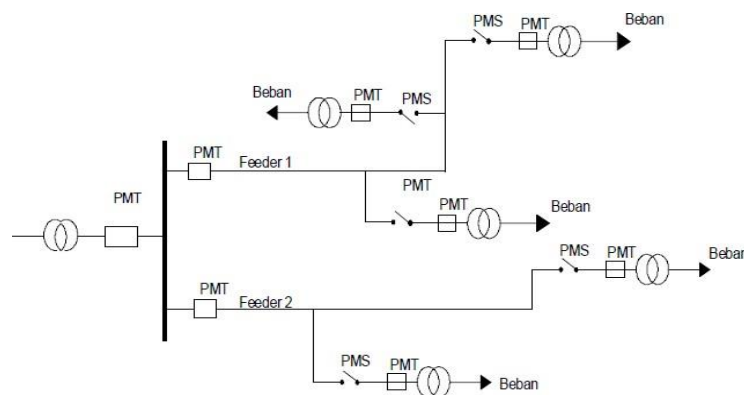


**Gambar 2- 1** Sistem Jaringan Distribusi <sup>[1]</sup>

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.





Kelebihan :

- Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin
- Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran amat kecil
- Dibanding dengan bentuk lain, paling flexible (luwes) dalam mengikuti penambahan 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



### 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<sup>[6]</sup>.

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, menurunnya 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 <sup>[7]</sup> .

### **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 <sup>[8]</sup>



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 <sup>[9]</sup>. Persentase kejadian terjadinya gangguan hubung singkat dapat dilihat dari tabel 2-1

**Tabel 2- 1** Persentase Gangguan Hubung Singkat <sup>[9]</sup>

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 <sup>[7]</sup>

### 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 <sup>[6]</sup>

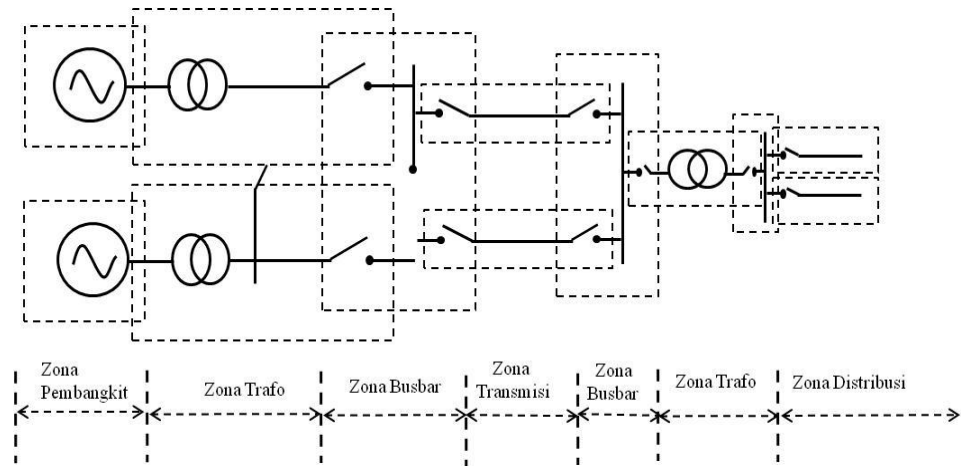
Untuk membatasi luasnya daerah sistem tenaga yang harus diisolasi bila terjadi gangguan maka sistem proteksi dibuat secara selektif berdasarkan zona proteksinya. Idealnya zona proteksi harus saling tumpang tindih (*overlap*) sehingga tidak ada jaringan yang tidak teramankan. Sistem proteksi dibedakan 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 yang 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 <sup>[6]</sup>



**Gambar 2- 5** Zona Proteksi <sup>[1]</sup>

Sistem proteksi yang baik harus mampu <sup>[10]</sup>:

- Melakukan koordinasi dengan sistem proteksi yang lain
- Mengamankan peralatan dari kerusakan yang lebih luas akibat gangguan
- Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan
- 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. <sup>[6]</sup>

### 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. <sup>[7]</sup>

### 2.2.3.2 Peralatan proteksi Jaringan Distribusi

Terdapat beberapa macam peralatan proteksi yang terpasangan di jaringan 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 <sup>[11]</sup>.



**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 <sup>[6]</sup>.

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



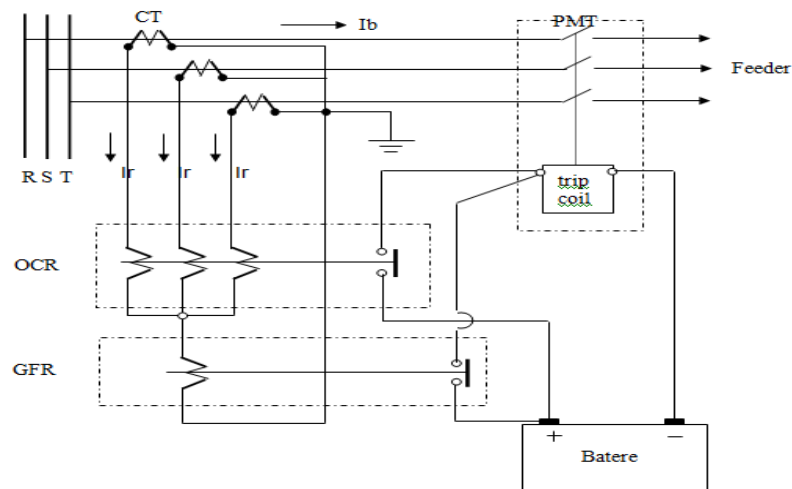
**Gambar 2- 7 Recloser**

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

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubahan 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*)<sup>[7]</sup>.



**Gambar 2- 8** Rangkaian Relay OCR dan GFR <sup>[9]</sup>

Secara prinsip ketika kondisi normal arus beban primer ( $I_b$ ) mengalir pada jaringan dan oleh trafo arus di transformasikan menjadi besaran arus sekunder ( $I_r$ ). Arus  $I_r$  yang mengalir pada relay nilainya lebih kecil dibanding dengan nilai setting sehingga relay tidak bekerja.

Jika terjadi arus hubung singkat maka nilai  $I_b$  akan naik sejalan dengan arus  $I_r$  yang ikut naik. Apabila arus  $I_r$  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. <sup>[11]</sup>



**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<sup>[11]</sup>.

Penggunaan SSO biasanya dipengaruhi oleh factor-faktor sebagai berikut :

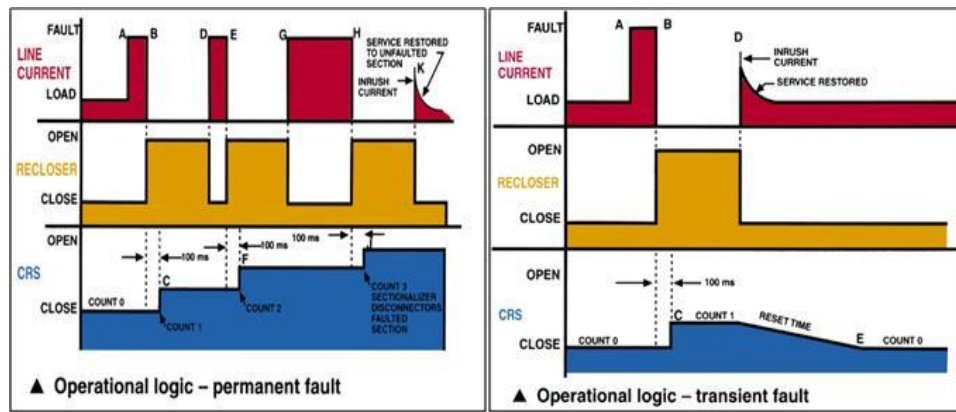
- a. Tegangan sistem
- b. Arus beban maksimal
- c. Arus gangguan maksimal
- d. Koordinasi dengan pengaman lain

#### **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 pengaman 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 besarnya 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<sup>[3]</sup>

## 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. *Telemetry* (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<sup>[11]</sup>.

#### **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<sup>[11]</sup>.

#### **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 ditematkannya 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 transducer awalnya berupa data analog untuk kemudian data tersebut dikirim oleh transducer 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* selalu 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<sup>[11]</sup> :

**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

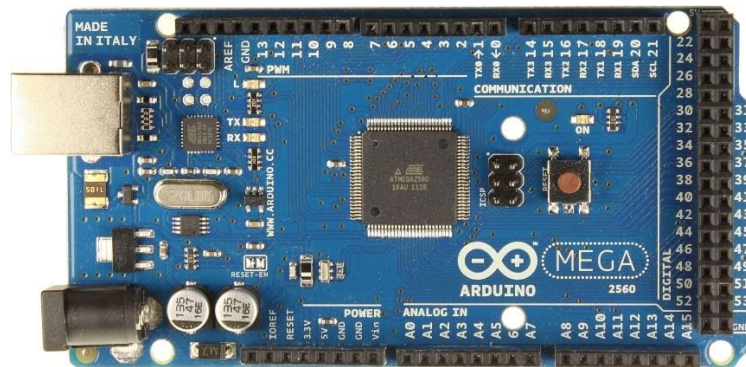
Pada sub bab ini, akan memuat dasar materi peralatan yang digunakan dalam pembuatan alat simulasi. Dalam membuat alat simulasi ini ada beberapa peralatan yang diperlukan, meliputi mikrokontroler, transformator, dioda, filter kapasitor, regulator, resistor, relai, driver relai ULN2803, sensor ACS712, dan resistor 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 komponen, yaitu CPU (*Central Processing Unit*), *memory*, dan I/O (*Input Output*)<sup>[13]</sup>

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 <sup>[13]</sup>. Gambar 2-11 dibawah ini merupakan foto dari bentuk fisik *Arduino Mega 2560*.



**Gambar 2- 11** Board Arduino Mega 2560

(Sumber: [www.arduino.cc](http://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 *Transceiver (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<sup>2</sup>C

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).

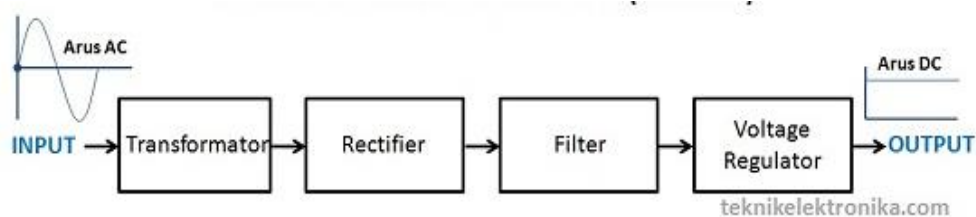
Arduino Mega 2560 memiliki 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (yang 8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM). Selain itu, Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, 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

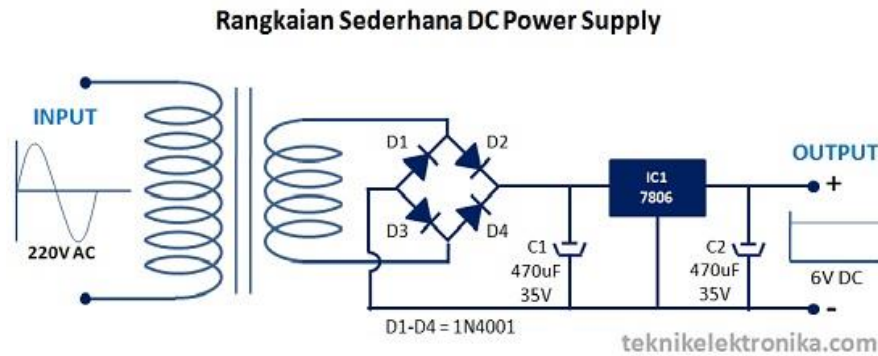
Arus listrik yang kita gunakan pada umumnya adalah arus bolak-balik atau arus *AC (Alternating Current)*. Akan tetapi, peralatan elektronika yang kita gunakan sekarang ini sebagian besar membutuhkan arus *Direct Current (DC)* dengan tegangan yang lebih rendah untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu, hampir setiap peralatan elektronika memiliki sebuah rangkaian yang berfungsi untuk melakukan konversi arus yang sesuai dengan rangkaian elektroniknya. Rangkaian yang mengubah arus listrik *AC* menjadi *DC* ini disebut dengan *DC Power Supply* atau Catu Daya, dikenal juga sebagai adaptor. Blok diagram *DC Power Supply* adalah<sup>[13]</sup> :



**Gambar 2- 12** Diagram Blok *DC Power Supply*<sup>[13]</sup>

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

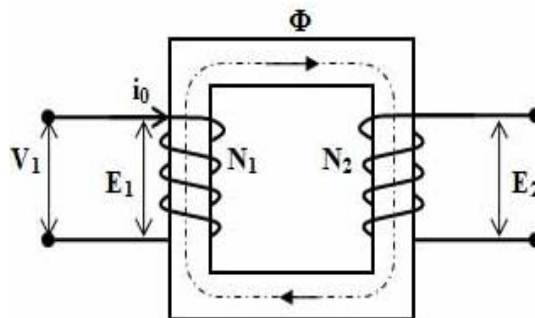




**Gambar 2- 13** Rangkaian DC *Power Supply* <sup>[13]</sup>

### 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 gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet.<sup>[19]</sup> 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 ( $I_0$ ). 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

$$E_1 = 4.44.N_1.f_1.\phi \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.21})$$

$$E_2 = - 4.44.N_2.f_2.\phi \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.22})$$

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

$\phi$  = fluks magnetik pada inti (weber)

Sehingga, didapat rumus :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.23})$$

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder sebesar  $I_2 = V_2 / Z_L$ . Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  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 :

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

Sehingga didapatkan perbandingan transformasinya adalah :

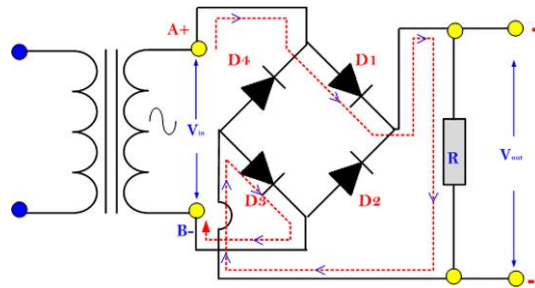
$$a = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{E_1}{E_2} \times \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.25)}$$

#### 2.2.6.4 Dioda

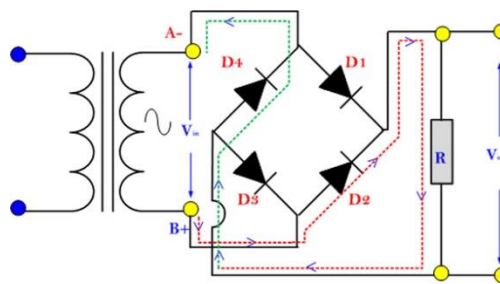
Dioda merupakan komponen listrik yang sering dipergunakan dalam beberapa aplikasi misalnya dalam rangkaian yang digunakan untuk merubah arus listrik AC menjadi DC karena sebagian besar peralatan elektronika menggunakan sumber daya listrik 220 volt/50 Hz dari PLN.

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 langkah 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.

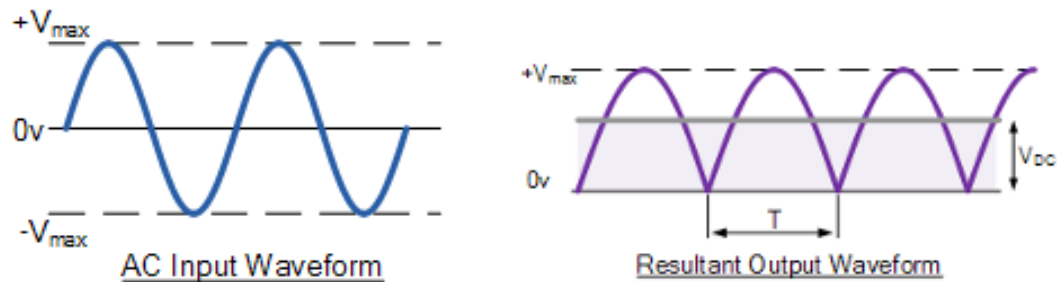


**Gambar 2- 15** Dioda Bridge Siklus Positif <sup>[13]</sup>



**Gambar 2- 16** Dioda Bridge Siklus Negatif <sup>[13]</sup>

Gambar 2- 15 dan 2- 16 menunjukkan penyearah dengan dioda bridge. Pada gambar 2-15 menunjukkan saat siklus positif yang membias forward adalah D1 dan D3. Sedangkan pada saat siklus negatif, 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 <sup>[13]</sup>

*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<sup>[13]</sup>.

#### 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<sup>[13]</sup>. Dari dua pelat logam, dipisahkan dengan lapisan tipis isolator yang disebut dielektrik. Kapasitor memiliki kemampuan menyimpan sejumlah 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 sebagainya.

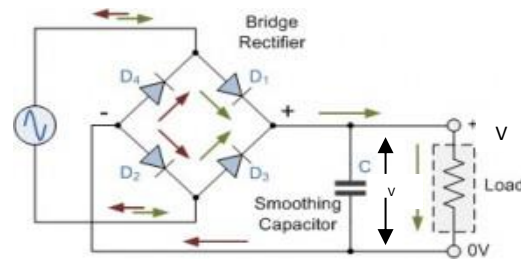


**Gambar 2- 18** Jenis-Jenis Kapasitor<sup>[13]</sup>

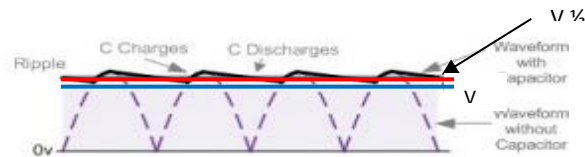
Memilih suatu kapasitor untuk aplikasi tertentu harus mempertimbangkan nilai, tegangan kerja, dan arus bocor. Nilai dari kapasitor yang ada dipasaran biasanya memiliki besaran dalam mikroFarad. Tegangan kerja dari kapasitor adalah tegangan maksimum yang dapat diberikan antara pelat kapasitor tanpa merusak 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 penyearang 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<sup>[13]</sup>

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

(b) Bentuk Gelombang *Output* Hasil Rangkaian Penyearah

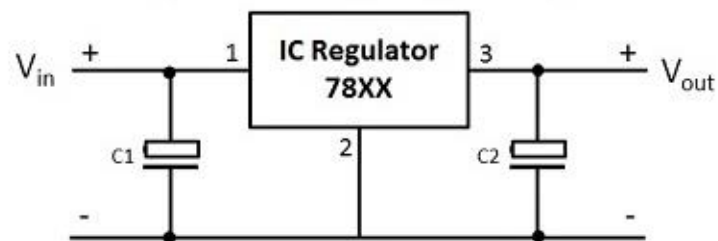
Fungsi kapasitor pada rangkaian di atas untuk menekan riak (*ripple*) yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang *filter* kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (*Direct Current*)

### 2.2.6.6 Regulator Tegangan

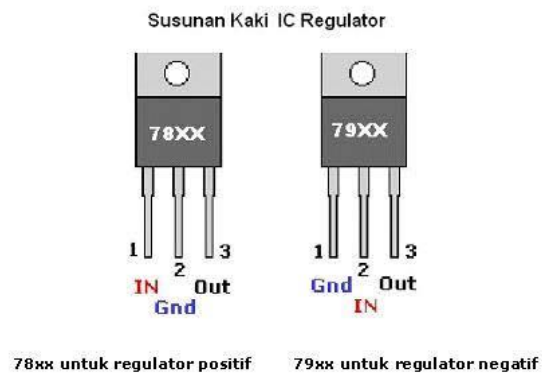
Regulator Tegangan diperlukan untuk menstabilkan tegangan yang sudah disearahkan. Ketidakstabilan suatu sumber daya bisa disebabkan oleh perubahan jaringan AC dari PLN atau dipengaruhi perubahan beban. Regulator tegangan ini mampu mengatasi kedua jenis perubahan tersebut. Rangkaian regulator tegangan 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<sup>[25]</sup>.



**Gambar 2- 21** Susunan Kaki IC Regulator 7812 dan 7912<sup>[25]</sup>.

**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 resistif 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  $\Omega$  (Omega) <sup>[15]</sup>

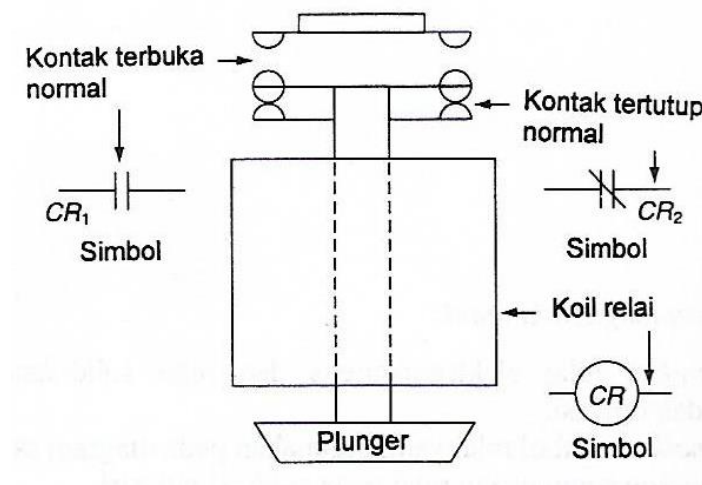


**Gambar 2- 22** Simbol Resistor

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 <sup>[16]</sup>. 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 <sup>[16]</sup>

(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.

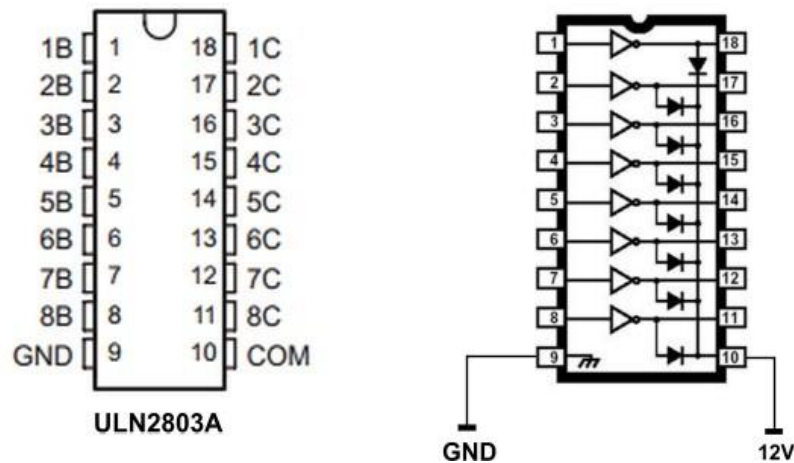
Kumparan relai dan kontak relai mempunyai kapasitas yang berbeda. Kumparan relai sangat peka terhadap pada rentang arus yang sangat kecil, sedangkan kontak dirancang untuk kemampuan kerja arus dan tegangan yang lebih tinggi. Apabila relai digunakan pada suatu aplikasi, maka langkah pertama adalah harus menentukan tegangan kontrol (kumparan) pada relai yang akan bekerja<sup>[15]</sup>. Sedangkan dalam menentukan spesifikasi kontak relai yang terpenting unjuk kerja arus. Tiga ukuran kerja arus adalah sebagai berikut <sup>[15]</sup>:

- *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.

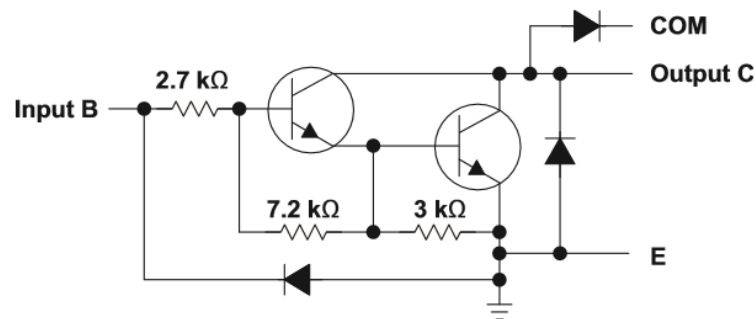


**Gambar 2- 24** Pin-out Diagram ULN 2803 <sup>[17]</sup>

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 Darlington yakni mempunyai impedansi input tinggi dan impedansi *output* rendah serta memiliki penguatan (*gain*) yang tinggi karena hasil penguatan transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor yang kedua<sup>[18]</sup>

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



**Gambar 2- 25** Pasangan Darlington Dalam ULN2803<sup>[17]</sup>

(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  $\beta$  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 *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 tersambung ke *ground*. Sehingga bisa dikatakan bahwa *output* dari ULN2803 adalah nol atau *ground*.

#### **2.2.5.9 Sensor Arus ACS712**

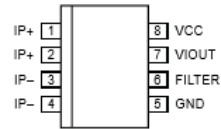
ACS712 merupakan suatu IC terpaket yang berfungsi sebagai sensor arus menggantikan transformator arus yang relatif besar dalam hal ukuran. ACS712 merupakan sensor yang ekonomis dan presisi baik untuk pengukuran AC ataupun DC dan sensor ini memiliki tipe variasi sesuai arus maksimalnya yakni 5A, 20A,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

Beberapa fitur dari sensor arus ACS712 adalah :

1. Waktu kenaikan perubahan luaran adalah 5  $\mu$ s.
2. Lebar frekuensi sampai dengan 80 kHz.
3. Total kesalahan luaran 1,5% pada suhu  $T_A=25^\circ\text{C}$ .
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	VIOU	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

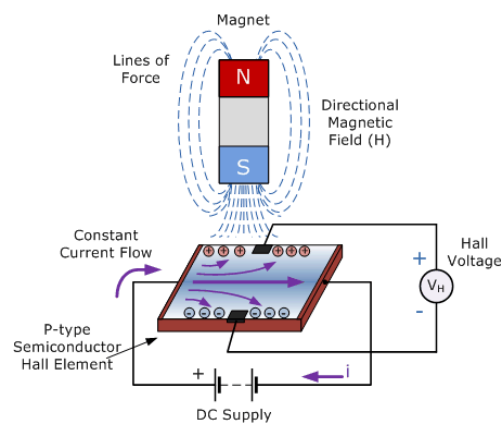
**Gambar 2- 26** Pin-out Diagram ACS712 <sup>[19]</sup>

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]

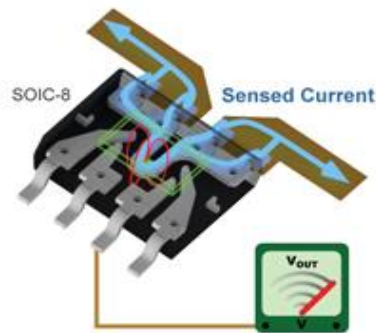
Ketika arus listrik ( $I$ ) mengalir pada lempengan logam dan logam tersebut terpengaruh oleh medan magnet ( $B$ ) yang tegak lurus dengan arus, maka pembawa muatan (*charge carrier*) yang bergerak pada logam akan mengalami pembelokan oleh medan magnet tersebut. Akibat dari proses itu akan terjadi penumpukan 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* <sup>[21]</sup>. Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2-27 berikut.



**Gambar 2- 27** Prinsip Kerja Efek Hall <sup>[22]</sup>

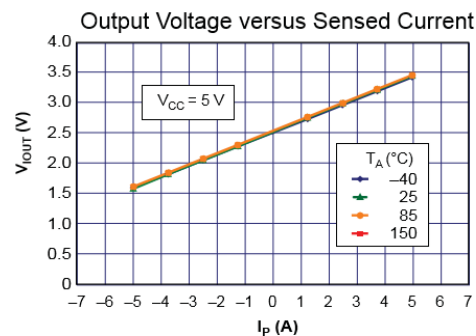
Pada ACS712 pin yang dialiri arus akan terhubung ke konduktor tembaga yang terhubung secara internal sehingga arus akan banyak mengalir pada bagian ini. ACS712 memiliki sensor efek *Hall* yang diletakkan di dekat konduktor tembaga sehingga jika arus mengalir melalui konduktor dan menghasilkan medan magnet, medan magnet ini akan dideteksi oleh sensor efek *Hall* (berupa lempengan bahan semikonduktor) yang *outputnya* 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 <sup>[23]</sup>

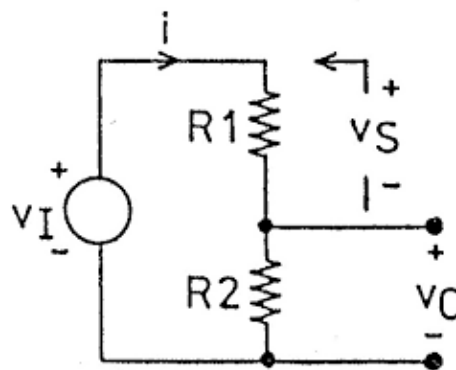
Karakteristik dari sensor ini adalah ketika tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian maka keluaran sensor adalah setengah dari  $V_{CC}$  yaitu 2,5 V. Dan ketika arus mengalir dari pin IP+ ke IP-, maka keluaran akan  $>2,5$  V, sedangkan ketika arus mengalir dari IP- ke IP+ maka keluaran akan  $<2,5$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



**Gambar 2- 29** Hubungan Tegangan Output dengan Arus <sup>[18]</sup>

#### 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 ( $V_{out}$ ) yang merupakan sebagian kecil dari tegangan masukan ( $V_{in}$ ). Pembagi tegangan biasanya menggunakan dua resistor atau dibuat dengan satu potensiometer. Tegangan output tergantung dari nilai-nilai komponen resistor atau dari pengaturan potensiometer. 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 <sup>[24]</sup>

#### 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 <sup>[25]</sup>

(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* 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 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 Protocol)* untuk secara dinamis menentukan sebuah IP. Selain itu juga diperlukan *gateway* jaringan dan *subnet* [26].