

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.j

Referensi yang diambil dari jurnal dengan judul “Studi Penempatan *Sectionalizer* Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Penyulang Kelingi Untuk Meningkatkan Keandalan”^[1] disebutkan bahwa Keandalan suatu sistem tenaga listrik dapat dinyatakan dengan indeks keandalan. Indeks keandalan yang digunakan yaitu SAIFI menyatakan frekuensi gangguan, SAIDI menyatakan lama gangguan, dan CAIDI menyatakan lamanya gangguan pada pelanggan. Jurnal ini disusun dengan tujuan menentukan penempatan lokasi *Sectionalizer* yang tepat pada jaringan distribusi untuk meningkatkan keandalan. Metode yang digunakan untuk penetapan lokasi *Sectionalizer* di penyulang Kelingi adalah metode FMEA yang mengidentifikasi dampak kegagalan suatu peralatan terhadap sistem. Hasil indeks keandalan sistem saat kondisi existing akan dibandingkan dengan setelah penempatan *Sectionalizer*.

Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penulis dengan referensi diatas adalah penulis mencoba untuk inovasi yaitu memecahkan bagaimana cara penempatan *Sectionalizer* yang optimal pada jaringan distribusi topologi cluster yang berdasar pada pengalaman yang penulis dapat ketika melakukan kegiatan kerja praktek di PT PLN Area Tegal. Penempatan LBS *Sectionalizer* yang baik

Adapun sistem kelistrikan di Jawa adalah sebagai berikut:

- Tegangan Ekstra Tinggi : 500 kV
- Tegangan Tinggi : 150 kV
- Tegangan Menengah : 20 kV
- Tegangan Rendah : 380 – 220 V

Penurunan tegangan dimulai dari gardu induk bertenaga besar, dimana tegangan diturunkan ke daerah sebesar 150kV. Untuk beberapa pelanggan industri besar sudah dapat dipasok dari tegangan 150kV ini. Penurunan tegangan selanjutnya terjadi di gardu induk distribusi primer, tegangan yang digunakan adalah sebesar 20kV untuk tegangan 3 fasa dan 11,5kV untuk tegangan 1 fasa. Sebagian besar beban untuk industri dicatu dengan sistem distribusi primer, yang mencatu transformator distribusi. Transformator ini menyediakan sisi sekunder tegangan rendah untuk mensuplay rumah tangga, dengan tegangan yang dikeluarkan sebesar 380V untuk 3 fasa dan 220V untuk 1 fasa.

2.2.2 Pengertian Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah jaringan tenaga listrik yang memasok kelistrikan ke beban (pelanggan) mempergunakan tegangan menengah 20kV dan tegangan rendah 220/380V. [3] jaringan distribusi dengan tegangan menengah 20kV disebut jaringan distribusi primer, dimana jaringannya mempergunakan, antara lain:

- Saluran kabel tegangan menengah (SKTM), mempergunakan kabel XLPE.

- Saluran udara tegangan menengah (SUTM), mempergunakan kawat A3C, A2C, ACSR atau *twisted cable*..

Sistem distribusi dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer merupakan sistem yang terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan , bisa disebut jaringan distribusi. ^[4]

Sistem distribusi primer berfungsi untuk menyalurkan pasokan tenaga listrik ke sisi primer trafo distribusi.

2. Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan sistem yang terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Sistem tegangan rendah ini langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik. ^[4]

Sistem Distribusi sekunder adalah suatu system yang berfungsi untuk menyalurkan pasokan tenaga listrik ke

konsumen, tegangan pada sistem distribusi sekunder ini adalah 220/380V

2.2.3 Topologi Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah jaringan yang menyalurkan listrik dari gardu induk distribusi menuju ke pusat beban. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer sebagai berikut:

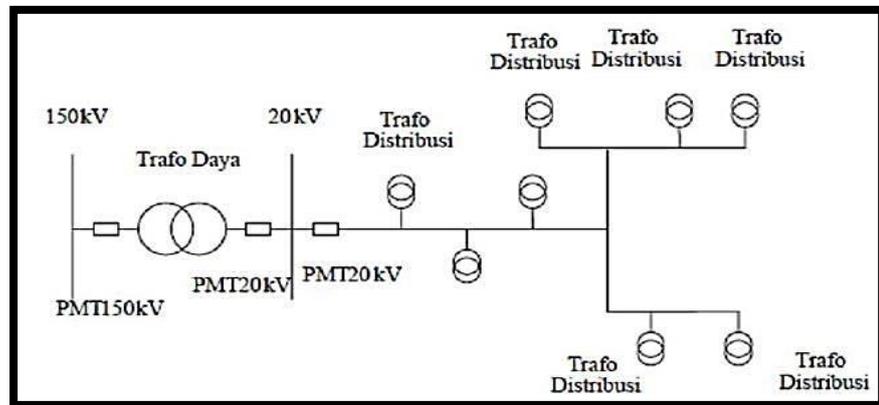
1. Jaringan Distribusi *Radial*

Disebut jaringan radial apabila dari titik sumber menuju ke titik beban hanya ada satu saluran (*line*) dan tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk jaringan ini adalah yang paling dasar dan sederhana karena hanya ditarik satu garis dari titik sumber dan kemudian dicabang-cabang.

Spesifikasi jaringan radial adalah sebagai berikut:

- 1) Bentuknya sederhana.
- 2) Biaya investasinya relatif murah.
- 3) Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- 4) Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh

rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami "black out" secara total.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial. ^[5]

2. Jaringan Distribusi Ring (*Loop*)

Disebut jaringan distribusi ring (*loop*) apabila di titik beban terdapat dua alternatif sumber dan jaringan ini berbentuk tertutup. Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.

Bentuk *loop* ini ada 2 macam, yaitu:

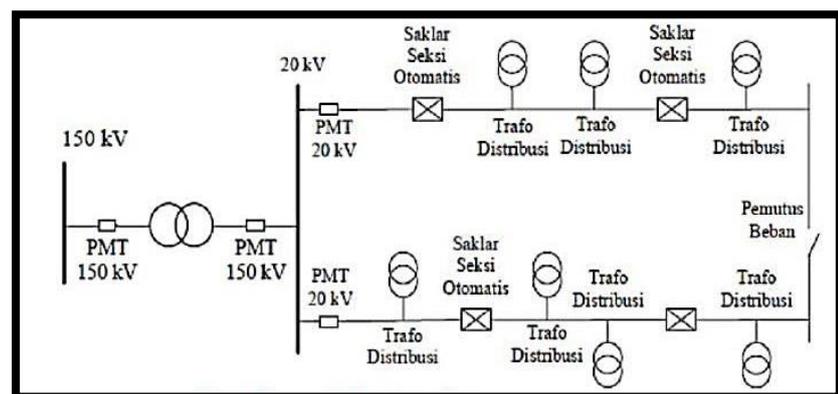
1) Bentuk *open loop*

Bila diperlengkapi dengan *normally-open switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

2) Bentuk *close loop*

Bila diperlengkapi dengan *normally-close switch*, yang dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Pada tipe ini, kualitas dan kontinuitas pelayanan daya lebih baik, tetapi biaya investasinya lebih mahal, karena memerlukan pemutus beban yang lebih banyak. Bila digunakan dengan pemutus beban yang otomatis (dilengkapi dengan *recloser*), maka pengamanan dapat berlangsung cepat dan praktis, dengan cepat pula daerah gangguan segera beroperasi kembali bila gangguan telah teratasi. Dengan cara ini berarti dapat mengurangi tenaga operator. Bentuk ini cocok untuk digunakan pada daerah beban yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Ring (Loop).^[5]

3. Jaringan Distribusi Jaring-jaring (*NET*)

Merupakan gabungan dari beberapa saluran mesh, dimana terdapat lebih satu sumber sehingga berbentuk saluran Interkoneksi.

Jaringan ini berbentuk jaring-jaring, kombinasi antara radial dan *loop*.

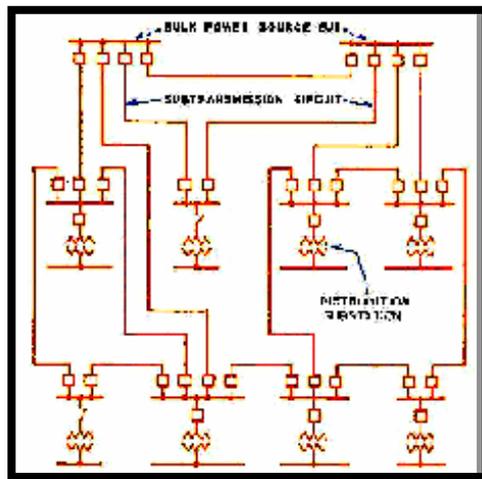
Titik beban memiliki lebih banyak alternatif saluran/penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu, dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin.

Spesifikasi Jaringan NET ini adalah sebagai berikut:

- 1) Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin.
- 2) Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran amat kecil.
- 3) Dibanding dengan bentuk lain, paling *flexible* dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban.
- 4) Sebelum pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit.
- 5) Memerlukan biaya investasi yang besar (mahal)
- 6) Memerlukan tenaga-tenaga terampil dalam pengoperasiannya.

Dengan spesifikasi tersebut, bentuk ini hanya layak (*feasible*) untuk melayani daerah beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain: instalasi militer, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, rumah sakit, dan sebagainya. Karena bentuk ini merupakan jaringan

yang menghubungkan beberapa sumber, maka bentuk jaringan NET atau jaring-jaring disebut juga jaringan "interkoneksi".



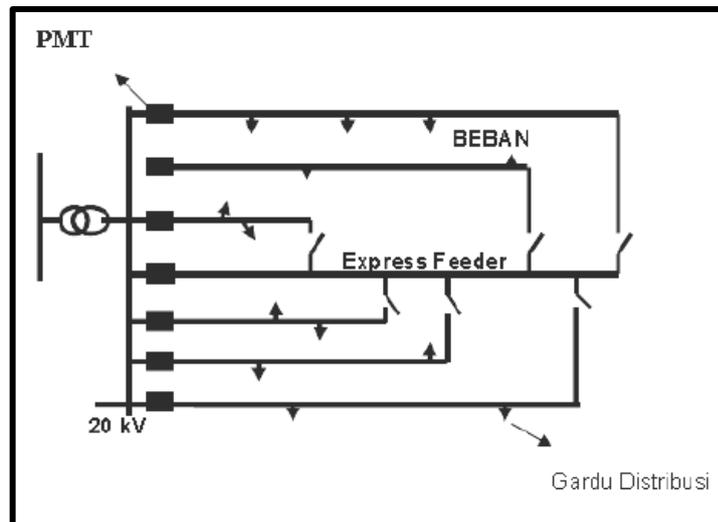
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Jaring-jaring. ^[4]

4. Jaringan Distribusi Cluster

sistem ini mirip dengan sistem spindle. bedanya pada sistem cluster tidak digunakan gardu hubung atau gardu switching, sehingga express feeder dari gardu hubung ke tiap jaringan. express feeder ini dapat berguna sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan.

keuntungan dan kerugian menggunakan sistem cluster :

1. operasi lebih mudah daripada sistem spindle
2. tidak memerlukan gardu hubung
3. jaringan bisa lebih pendek untuk jangkauan luas kawasan yang sama
4. switching bisa dilakukan sepanjang express feeder



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Cluster. ^[4]

2.2.4 Sistem Proteksi Tenaga Listrik.

A. Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah susunan satu atau lebih peralatan proteksi dan peralatan lain yang dimaksudkan untuk mengerjakan satu atau lebih fungsi proteksi. Dengan catatan sistem proteksi ini termasuk satu atau lebih peralatan proteksi, CT, wiring, rangkaian tripping, catu daya, dan sistem telekomunikasi jika diperlukan. (IEV 448-11-04)

Sistem proteksi berfungsi jika terjadi keadaan *abnormal* baik bersifat *permanent* atau sementara, sistem ini terdiri dari berbagai macam peralatan proteksi yang berkerja berkordinasi agar tidak terjadi kegagalan proteksi.

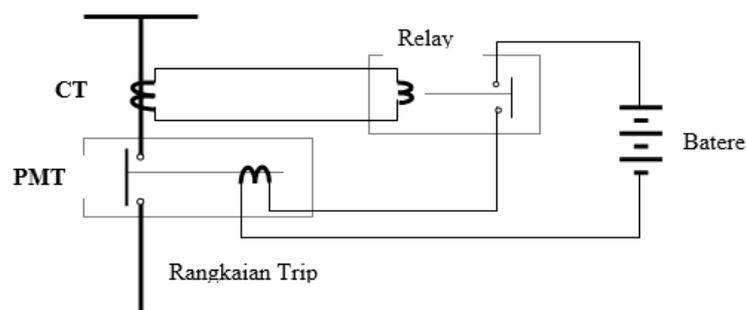
B. Tujuan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah sebagai berikut:

1. Mendeteksi kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik.
2. Memerintahkan trip pada PMT dan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem yang sehat, sehingga sistem dapat terus berfungsi.
3. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

C. Perangkat Sistem Proteksi

Sistem proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem dengan komponen-komponen yang ditunjukkan seperti gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Rangkaian Relai Proteksi Sekunder^[6]

1. Relay proteksi, adalah perlengkapan untuk mendeteksi gangguan atau kondisi ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik dalam rangka membebaskan/mengisolasi gangguan, menghilangkan kondisi tidak normal dan untuk menghasilkan sinyal atau indikasi. (IEV 448-11-01)

2. Trafo arus dan trafo tegangan, berfungsi sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer sistem yang diamankan ke besaran listrik sekunder (relay). Masing-masing relay memiliki jenis masukan tersendiri dari tiap-tiap trafo arus dan atau trafo tegangan.
3. Pemutus Tenaga (PMT), berfungsi untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.
4. Power Supply, berfungsi untuk menyuplai daya ke relai proteksi dan motor penggerak PMT.
5. Pengawatan (wiring), berfungsi untuk menghubungkan komponen proteksi dan terdiri dari sirkit sekunder (arus dan atau tegangan), sirkit tripping, dan sirkit peralatan bantu sehingga menjadi satu sistem.
6. Tripping Coil, merupakan rangkaian untuk mentripping PMT. Seperti diketahui bahwa dalam PMT terdapat motor penggerak yang mendapatkan trigger atau rangsangan dari rangkaian trippingnya untuk membuka atau menutup PMT.

D. Persyaratan Sistem Proteksi

Persyaratan desain proteksi harus dipertimbangkan untuk memastikan sistem tenaga listrik Jawa Bali dilengkapi dengan sistem proteksi yang andal. Persyaratan desain ini digunakan sebagai dasar yang harus dipenuhi pada aplikasi dan pemilihan sistem proteksi dalam sistem transmisi Jawa-Bali, khususnya pada instalasi baru. Desain juga harus mempertimbangkan tipe peralatan atau komponen sistem tenaga listrik yang akan diproteksi. [7]

Sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Sensitif

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi adanya gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum.

2. Selektif

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara tepat. Peralatan dan sistem proteksi hanya memisahkan bagian dari jaringan yang sedang terganggu. Zona proteksi harus tepat dan memadai untuk memastikan bahwa hanya bagian yang terganggu yang dipisahkan dari sistem pada saat terjadi gangguan atau kondisi abnormal.

3. Andal

Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak diharapkan. (SPLN T5.0021: 2010)

Keandalan sistem proteksi terbagi dua yaitu:

a. Keterpercayaan (Dependability)

Derajat kepastian suatu sistem proteksi tidak mengalami gagal kerja pada kondisi yang diperlukan dalam jangka waktu tertentu. (SPLN T5 002-1 2010).

b. Keterjaminan (Security)

Derajat kepastian suatu sistem proteksi tidak mengalami kesalahan kerja pada kondisi yang ditentukan dalam jangka waktu tertentu (IEV 448-12-06) (SPLN T5.002-1: 2010).

4. Cepat

Sistem proteksi harus memberikan respon sesuai dengan setting waktu peralatan yang dilindungi untuk meminimalisasi lama gangguan, luas gangguan, dan stabilitas sistem.

5. Ekonomis

Dengan biaya yang sekecil-kecilnya diharapkan relai proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya.

E. Penyebab Terjadinya Kegagalan Proteksi

Proteksi yang benar harus dapat bekerja cepat sesuai waktu kerjanya, selektif, dan andal sehingga kerusakan peralatan yang timbul akibat gangguan dapat dihindari dan kestabilan sistem tetap terjaga. Tetapi pada kenyataannya dilapangan terkadang banyak terjadi kegagalan dalam sistem proteksi yang mengakibatkan peralatan proteksi menjadi rusak atau jaringan menjadi kurang andal.

Kegagalan atau kelambatan kerja proteksi dapat disebabkan antara lain oleh:

1. Relay telah rusak atau tidak konsisten dalam bekerja. Hal ini diakibatkan karena setting relay yang tidak benar (kurang sensitif atau kurang cepat) atau karena umur relay yang sudah tua.
2. Hubungan kontak yang kurang baik pada sirkit tripping atau terputus. Hal ini diakibatkan karena kontak yang kotor, berkarat, patah, atau wiring yang kurang kencang.
3. Baterai lemah atau sistem power supply gagal bekerja sehingga tidak mampu mentripping PMT.
4. Kegagalan saluran komunikasi teleproteksi yang diakibatkan karena media telekomunikasi (PLC atau fiber optic) terputus, atau karena peralatan SCADA yang rusak.

F. Jenis Gangguan Pada Sistem Penyaluran

Jaringan tenaga listrik yang terganggu harus dapat segera diketahui dan dipisahkan dari bagian jaringan lainnya secepat mungkin dengan maksud agar kerugian yang lebih besar dapat dihindarkan.

Yang dimaksud gangguan dalam operasi sistem tenaga listrik adalah kejadian yang menyebabkan bekerjanya relai dan berujung pada trip-nya PMT diluar kehendak operator, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya yang melewati PMT tersebut.^[8]

Gangguan pada jaringan tenaga listrik dapat terjadi di pembangkit, jaringan transmisi, gardu induk, dan jaringan distribusi. Gangguan ini dibagi menjadi gangguan sistem dan gangguan non sistem.

1. Gangguan Sistem

Gangguan sistem adalah gangguan yang terjadi di sistem tenaga listrik seperti pada generator, trafo, SUTT, SKTT, dan lain sebagainya. Gangguan sistem dapat dikelompokkan menjadi gangguan permanen dan gangguan temporer.

- **Gangguan Permanen**

Gangguan Permanen adalah gangguan yang tidak hilang dengan sendirinya, sehingga untuk pemulihan diperlukan perbaikan, misalnya kawat SUTT putus.

- Gangguan Temporer

Gangguan Temporer adalah gangguan yang hilang dengan sendirinya.

2. Gangguan Non Sistem

PMT terbuka tidak selalu disebabkan oleh terjadinya gangguan pada sistem, dapat saja PMT terbuka karena relai yang bekerja sendiri atau kabel kontrol yang terluka atau oleh sebab interferensi dan lain sebagainya. Gangguan seperti ini disebut gangguan non sistem.

Jenis gangguan non sistem antara lain:

- a. Kerusakan komponen relai
- b. Kabel kontrol terhubung singkat
- c. Interferensi / induksi pada kabel control
- d. *Local Grounding* yang lupa dilepas saat penormalan.^[9]

G. Proteksi Utama dan Proteksi Cadangan

Suatu peralatan sistem tenaga listrik yang diproteksi, mampu mengalami kegagalan operasi karena beberapa faktor. Oleh karena itu proteksi dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Proteksi Utama (Main Protection)

Merupakan proteksi yang menjadi prioritas pertama untuk membebaskan/mengisolasi gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal di sistem tenaga listrik (IEV 448-11-13).

Catatan: untuk suatu instalasi tenaga listrik, dapat digunakan dua atau lebih proteksi utama.

Ciri-ciri proteksi utama:

- Waktu kerjanya sangat cepat (basic time) atau tidak ada waktu tunda (time delay).
- Tidak dikoordinasikan dengan relai proteksi lainnya (independen).
- Daerah kerjanya terbatas. Pada relai differensial, daerahnya dibatasi oleh pasangan trafo arus.

2. Proteksi Cadangan

Merupakan proteksi yang akan bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan atau diisolasi oleh proteksi utama. (SPLN T5.002-1: 2010)

2.2.5 Gangguan Sistem Distribusi.

A. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih terjadi jika suatu jaringan terdapat banyak konsumen namun kemampuan jaringan tersebut tidak sesuai dengan jumlah konsumen yang ada.

B. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat, dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa) atau 1 fasa ke tanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen.

1. Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang tidak hilang secara sendirinya, gangguan ini harus dilokalisir dan dihilangkan terlebih dahulu.

2. Gangguan Temporer

Gangguan temporer adalah gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya setelah PMT trip.

C. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih yang diakibatkan adanya kelainan pada sistem, dimana tegangan lebih biasanya disebabkan karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik atau saat pemutus (PMT) yang menimbulkan kenaikan tegangan yang disebut surja hubung.

2.2.6 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi.

Jaringan Distribusi tidak terlepas dari keadaan *abnormal* atau gangguan yang bersumber dari sistem maupun non-sistem, maka dari itu diperlukan peralatan pengaman untuk menghilangkan atau membebaskan jaringan yang terganggu dari jaringan yang sehat.

Peralatan pengaman merupakan alat yang berfungsi melindungi atau mengamankan suatu sistem penyaluran tenaga listrik dengan cara membatasi tegangan lebih (*over voltage*) atau arus lebih (*over current*) yang mengalir pada sistem tersebut, dan mengalirkannya ke tanah (*ground*). Dengan demikian alat pengaman harus dapat menahan

tegangan sistem agar kontinuitas pelayanan ke pusat beban (*load center*) tidak terganggu hingga waktu yang tidak terbatas. Dan harus dapat melakukan atau mengalirkan arus lebih dengan tidak merusak alat pengaman dan peralatan jaringan yang lain. Oleh karena itu fungsi alat pengaman adalah:

1. Mendeteksi adanya gangguan,
2. Mencegah kerusakan (peralatan & jaringan),
3. Pengamanan terhadap manusia,
4. Meminimumkan daerah padam bila terjadi gangguan pada system

Untuk dapat bekerja sesuai fungsinya, maka peralatan tersebut harus memenuhi kriteria berikut:

1. Kepekaan (*sensitivity*)
2. Keandalan (*reliability*)
3. Selektifitas (*selectivity*)
4. Kecepatan (*speed*)

A. Peralatan Proteksi Jaringan Distribusi

Secara umum peralatan pengaman yang terdapat jaringan distribusi primer adalah Pelebur, Pemutus Tenaga (PMT), Pemisah (PMS), Saklar Seksi Otomatis (SSO), Penutup Balik Otomatis (PBO)/ Recloser.

1. Pelebur (Fuse) atau Fuse Cut Out

Merupakan pengaman lebur yang ditempatkan pada sisi tegangan menengah yang gunanya untuk mengamankan jaringan

tegangan menengah dan peralatan kearah GI terhadap gangguan hubung singkat di trafo, atau sisi tegangan menengah sebelum trafo tetapi setelah fuse cut out. Untuk menentukan besarnya fuse cut out yang terpasang, harus diketahui arus nominal trafo pada sisi tegangan dan besarnya nilai arus fuse cut out harus lebih besar dari arus nominal trafo sisi tegangan menengah.

2. Pemutus Rangkaian (Circuit Breaker) / PMT

Merupakan saklar yang didesain untuk memutuskan arus gangguan hubung singkat, menghilangkan gangguan permanen dengan cara memisahkan dari bagian yang terganggu, bekerja secara otomatis

3. Saklar Pemisah (Disconnecting Switch) / PMS

Merupakan saklar yang didesain memutus rangkaian listrik pada kondisi tanpa beban yang bekerja secara manual.

4. Penutup Balik Otomatis (Automatic Circuit Recloser)

Alat pelindung arus lebih yang waktu membuka dan menutupnya dapat diatur guna menghilangkan gangguan sementara, atau memutus gangguan permanen yang bekerja secara otomatis

5. Saklar Pemutus Beban (*Load Break Switch*)

Saklar Pemutus Beban merupakan peralatan system distribusi yang berfungsi untuk memutuskan beban, alat ini dilengkapi tiga

buah pisau kontak dengan media pemadam busur api berupa gas SF₆.

B. Pengertian *Load Break Switch* berbasis *Sectionalizer*

LBS berbasis *Sectionalizer* merupakan suatu alat proteksi yang berfungsi sebagai pemutus jaringan dan pengaman jaringan. Oleh karena itu LBS jenis ini dapat meningkatkan keandalan sistem proteksi pada jaringan distribusi.

Sectionalizer atau yang disebut juga saklar seksi otomatis (SSO) adalah sebuah alat pemutus beban yg secara otomatis dapat dibebankan dan dapat melokalisir gangguan pada seksi yang terganggu, sehingga sistem yang tidak mengalami gangguan tetap mendapat energi listrik.

Perbedaan antara LBS pada umumnya dan LBS berbasis *Sectionalizer* adalah pada cara kerjanya, jika LBS pada umumnya harus dioperasikan oleh manusia baik itu secara local ataupun *remote*, LBS berbasis *Sectionalizer* dapat memutuskan aliran listrik secara otomatis tidak melalui perintah manusia. LBS berbasis *Sectionalizer* bekerja terikat oleh dua syarat yaitu merasakan arus gangguan/arus lebih dan hilang tegangan.

C. Prinsip Kerja LBS berbasis *Sectionalizer*

Sectionalizer bekerja berkordinasi dengan peralatan pengaman disisi sumber (seperti recloser atau PB) untuk melokalisir secara otomatis seksi yang terganggu. *Sectionalizer* dapat

memisahkan seksi terganggu, agar proses penyaluran tenaga listrik dapat terus menerus tersedia.

Sectionalizer bekerja dengan dua syarat yaitu merasakan arus gangguan dan merasakan hilang tegangan, pada kenyataannya konfigurasi hilang tegangan dapat kita sesuaikan sesuai kebutuhan baik satu kali hilang tegangan atau dua kali hilang tegangan.

2.2.7 Pengoptimalisasian Penempatan *Sectionalizer*

Sectionalizer akan bekerja secara maksimal jika konfigurasi dan lokasi penempatannya tepat, maka dari itu penempatan *Sectionalizer* merupakan factor penting yang dapat menunjang kinerja *Sectionalizer* itu sendiri.

Penempatan *Sectionalizer* dipengaruhi oleh beberapa Faktor yaitu:

A. Berada pada zona *Time Delay* peralatan pengaman pada sisi sumber.

Sectionalizer akan bekerja dengan optimal jika di tempatkan pada titik *Time delay* peralatan pengaman pada sisi sumber. Karena apabila *Sectionalizer* di tempatkan pada zona instant recloser, *Sectionalizer* tidak akan bekerja jika ada gangguan pada zona instant namun setelah *Sectionalizer*, recloser akan merasakan gangguan Instant yang mana jika Recloser merasakan gangguan instant, recloser akan langsung trip tanpa reclose kembali dengan demikian *Sectionalizer* akan berada pada posisi close, itu artinya jaringan tersebut sama saja tidak dilengkapi oleh LBS *Sectionalizer*.

Berbeda dengan *Sectionalizer* yang ditempatkan pada zona time delay, jika terdapat gangguan pada zona time delay, recloser akan trip dan reclose kembali tetapi *Sectionalizer* masih berada pada posisi close, apabila gangguan pada zona time delay masih dirasakan oleh recloser, maka recloser akan trip kembali dan memberi perintah *Sectionalizer* untuk open, dengan demikian seksi terganggu sudah dipisahkan oleh *Sectionalizer* dan ketika recloser reclose, recloser tidak akan merasakan gangguan kembali dan relay akan mereset gangguan tersebut sehingga tidak terjadi lockout pada recloser.

B. Berada dekat titik percabangan.

Penempatan *Sectionalizer* dekat titik percabangan memudahkan proses recovery time pada seksi tersebut, sehingga KWH yang terjual akan semakin besar.

Seperti contoh, jika terdapat gangguan tetapi keadaan *Sectionalizer* berada pada posisi close, dapat kita simpulkan bahwa gangguan berada pada titik sebelum *Sectionalizer* tersebut. Langkah yang dapat dilakukan adalah dengan cara memosisikan *Sectionalizer* pada posisi open dan melakukan maneuver jaringan dari penyulang lain agar seksi sehat tetap mendapatkan supply tenaga listrik.

C. Berada pada titik sebelum seksi yang memiliki pelanggan besar.

Pelanggan besar merupakan konsumen yang diprioritaskan oleh PLN karena Pelanggan besar mengkonsumsi KWH dengan nilai paling produktif, maka dari itu pelayanan yang diberikan oleh PLN lebih istimewa. Dengan demikian PLN harus selalu menjaga ketersediaan tenaga listrik bagi konsumen besar karena jika terjadi gangguan pada sistem penyalurannya akan berdampak kepada penghasilan konsumen besar tersebut.

Sectionalizer sebaiknya ditempatkan di sebelum seksi yang memiliki pelanggan besar, hal itu dilakukan demi meningkatkan kecepatan recovery time. Contohnya jika terdapat gangguan sebelum *Sectionalizer*, Langkah yang dapat dilakukan adalah dengan cara memposisikan *Sectionalizer* pada posisi open dan melakukan manuver jaringan dari penyulang lain agar seksi sehat tetap mendapatkan supply tenaga listrik.

2.2.8 Dampak Penempatan Sectionlizer yang Optimal.

Penempatan LBS berbasis *Sectionalizer* yang tepat dapat berdampak pada banyak hal, yaitu:

A. Recovery Time

Recovery Time merupakan lamanya proses pernormalan jaringan dari mulai jaringan tersebut mengalami gangguan sampai menyala normal kembali.

Penempatan *Sectionalizer* yang tepat dapat mempercepat proses Recovery Time dari Zona yang mengalami gangguan. Sehingga kinerja kantor area dan kantor rayon setempat dapat meningkat.

B. KWH terjual

Sectionalizer mampu mengisolasi daerah yang mengalami gangguan, sehingga section yang tidak mengalami gangguan dapat menyala dengan normal tanpa mengalami padam, sehingga KWH yang seharusnya tidak terjual menjadi terjual karena daerah gangguan dapat dipisahkan oleh *Sectionalizer*.

C. SAIDI & SAIFI

Penempatan *Sectionalizer* yang baik dapat berpengaruh pada nilai SAIDI dan SAIFI.

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah lamanya padam}}{\text{Total Konsumen}} \times \text{periode waktu}$$

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah konsumen padam}}{\text{Total Konsumen}} \times \text{periode waktu}$$

D. Waktu Lokalisir Gangguan

Penempatan *Sectionalizer* yang tepat juga dapat berpengaruh kepada kecepatan pencarian titik gangguan.

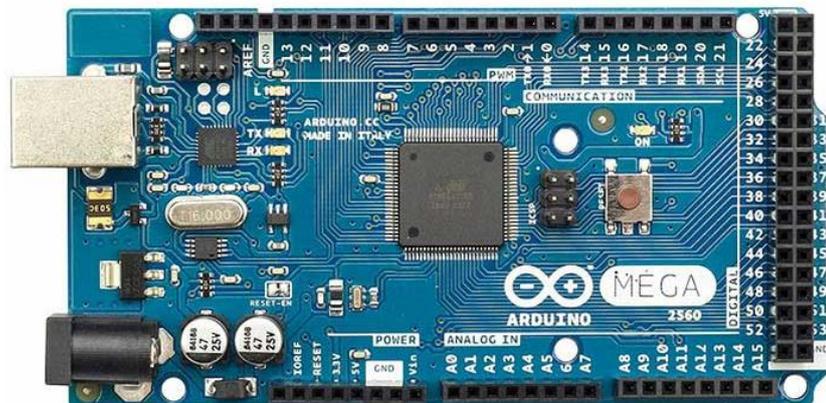
E. Recloser Trip

Penempatan *Sectionalizer* yang tepat juga dapat berpengaruh kepada besarnya angka Recloser Trip.

2.2.9 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*).^[14]

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 *feature* lengkap yang mampu mendukung *microcontroller* di dalamnya. ^[15] Gambar 2.7 dibawah ini merupakan foto dari bentuk fisik *Arduino Mega 2560*.



Gambar 2.7 *Arduino Mega 2560*^[10]

Untuk mengaktifkan *Arduino Mega 2560* cukup dengan mengkoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB atau

dengan *adaptor* AC/DC atau bisa juga menggunakan baterai. *Arduino Mega 2560* kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk *Arduino Duemilanove* atau *Arduino Diecimila*.

Tabel 2.1 berikut adalah spesifikasi dari *Arduino Mega 2560* :

Tabel 2.1 Spesifikasi *Arduino Mega 2560*^[10]

<i>Microcontroller</i>	<i>Atmega 2560</i>
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input (rekomendasi)	7-12 V
Tegangan Input (batasan)	6-20 V
Jumlah pin <i>I/O</i> digital	54 pin (14 pin sebagai <i>output</i> PWM)
Jumlah pin <i>input</i> analog	16 pin
Arus DC pada setiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB (8 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

H. Power Supply

Arduino Mega 2560 dapat diaktifkan menggunakan kabel USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Sumber daya eksternal (tanpa USB) dapat diambil dari adaptor AC/DC atau baterai. Jika menggunakan adaptor maka pemasangannya dengan mencolokkan steker 2,1 mm yang bagian tengahnya terminal positif ke power jack pada papan. Sedangkan jika menggunakan baterai maka sambungkan ujung positif dan negatif baterai ke pin Vin dan Gnd pada papan Arduino.

Papan Arduino dapat bekerja dengan sumber eksternal dari 6 sampai 20 V. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, maka tegangan pada pin output 5V pada Arduino menjadi turun, dan menyebabkan papan Arduino menjadi tidak stabil. Jika diberi tegangan lebih dari 12 V, maka penstabil tegangan (voltage regulator) akan mengalami panas yang berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang direkomendasikan adalah 7 sampai 12 V.

Berikut ini adalah pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino :

1. VIN, pin untuk input tegangan ke Arduino jika menggunakan sumber eksternal.
2. 5, pin output ter-regulator dengan tegangan 5V. Tegangan ini sudah diatur dari regulator yang tersedia (built-in) pada papan Arduino.

3. 3.3V, pin output ter-regulator dengan tegangan 3.3V. Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 mA.
4. GND, pin ground.

I. Memori

Mikrokontroler Atmega 2560 mempunyai 256 KB flash memori untuk menyimpan kode (yang mana 8KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM (Static Random Access Memory), dan 4 KB EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory).

J. Input dan Output

Setiap pin digital pada Arduino Mega 2560, yang berjumlah 54 pin dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Setiap pin mempunyai arus maksimum 40 mA dan mempunyai resistor pull-up internal dengan hambatan 20-50 kOhms.

Berikut adalah beberapa pin yang memiliki fungsi khusus :

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). Pin ini digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial TTL.
2. Interupsi Eksternal: 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 perubahan nilai.

3. PWM: pin 0 sampai 13. Pin ini digunakan untuk output PWM dengan fungsi `analogWrite()`.
4. SPI: pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan SPI library.
5. LED: pin 13. Pin ini dilengkapi dengan LED yang sudah tersedia pada papan Arduino (built-in). Ketika pin bernilai tinggi maka LED akan menyala, dan sebaliknya akan mati jika bernilai rendah.
6. I2C: pin 20 (SDA) dan 21 (SCL). Pin ini mendukung 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()`.

Berikut adalah pin lain yang tersedia di papan :

1. AREF, digunakan untuk mengubah tegangan referensi pada input analog.
2. Reset, digunakan untuk menghidupkan ulang microcontroller. Biasanya digunakan untuk membuat tombol reset tersendiri yang akan menghentikan fungsi tombol reset pada papan.

K. Komunikasi

Arduino Mega 2560 mempunyai beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, dengan Arduino yang lain, atau dengan microcontrollers 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).

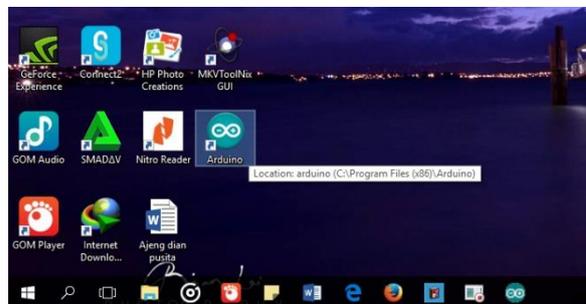
L. Pemrograman

Arduino Mega 2560 dapat diprogram menggunakan aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) yang merupakan *software open source* dari *Arduino*. *Software* ini berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner, dan meng-*upload* ke dalam *memory* mikrokontroler.

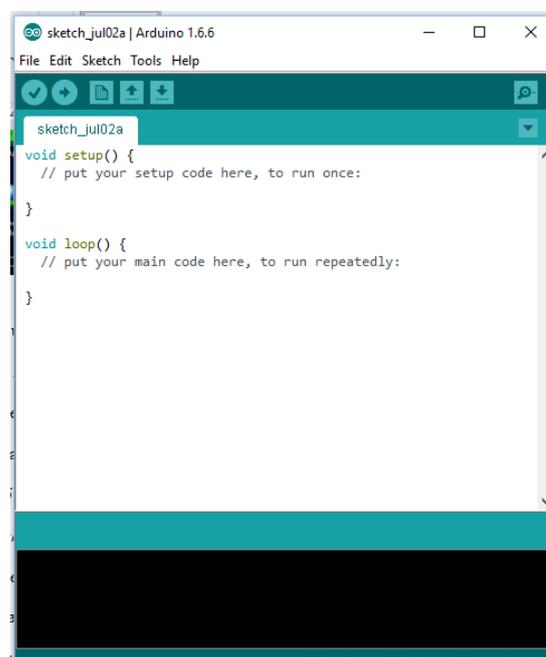
Berikut adalah cara menggunakan *software Arduino IDE* :

1. Jalankan aplikasi *Arduino IDE*

Jalankan aplikasi *arduino* IDE yang sudah terinstall pada komputer, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. Kemudian gambar 2.9 merupakan tampilan awal dari aplikasi *Arduino IDE*.



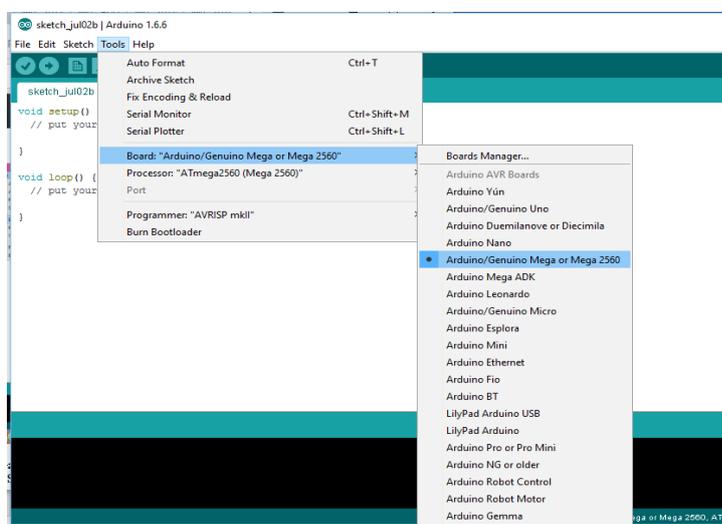
Gambar 2.8 Aplikasi *Arduino IDE*



Gambar 2.9 Tampilan Awal Aplikasi *Arduino IDE*

2. Pilih menu *Tools* → *Board*

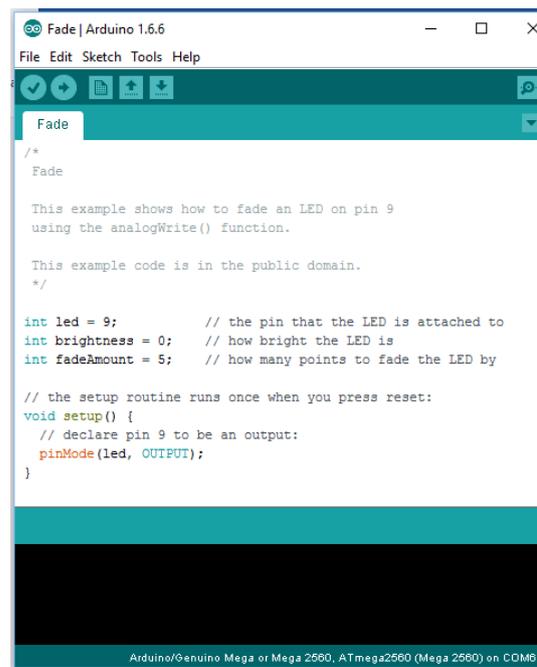
Karena *Arduino* yang digunakan dalam tugas akhir adalah *Arduino Mega 2560*, maka pilih *board* yang bernama “*Arduino Mega or Mega 2560*”, ditunjukkan pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Memilih *Board Arduino Mega 2560*

3. Tulis *sketch* (program)

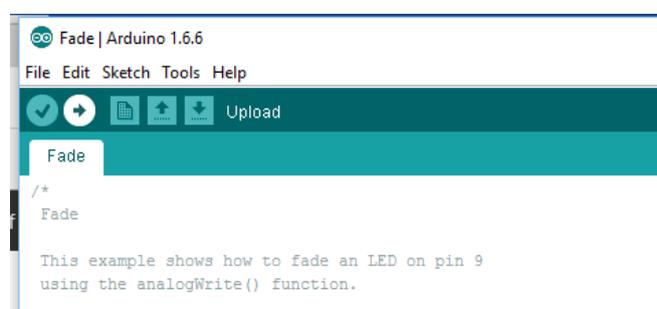
Tulislah *sketch* sesuai *project* yang dikerjakan, atau dapat memilih menu *File* → *Examples* → *Basics*, kemudian pilih *library* yang hendak dijalankan. Bagian *examples* ini berisi contoh-contoh *sketch* bawaan *Arduino* yang sangat mempermudah *user* ketika memprogram *Arduino*.



Gambar 2.11 Contoh *Sketch*

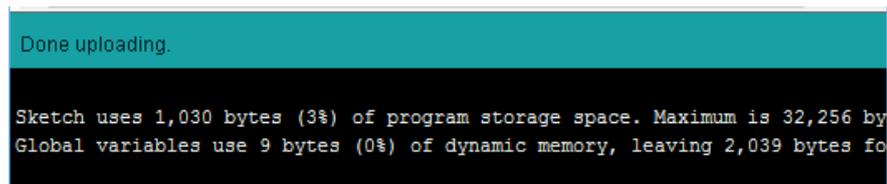
4. Upload Sketch

Klik tombol **Upload** pada *toolbar* untuk mengirim *sketch* tersebut ke *Arduino*, seperti ditunjukkan pada gambar 2.13. Dapat dilihat bahwa lampu LED RX pada *Arduino* akan berkedip-kedip ketika menerima program.



Gambar 2.12 *Icon Upload*

Jika program berhasil di-*upload* maka akan muncul tampilan seperti gambar 2.13.



```
Done uploading.

Sketch uses 1,030 bytes (3%) of program storage space. Maximum is 32,256 bytes.
Global variables use 9 bytes (0%) of dynamic memory, leaving 2,039 bytes free.
```

Gambar 2.13 Tampilan Pengiriman *Sketch* Berhasil

Sebaliknya, jika terjadi kesalahan pada program dan pengiriman data gagal, maka akan muncul tampilan seperti gambar 2.14.



```
Problem uploading to board. See http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#upload for suggestions.
Copy error messages

avrduide: ser_drain(): read error: The handle is invalid.

Problem uploading to board. See http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#upload for suggestions.

Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM8
```

Gambar 2.14 Tampilan Pengiriman *Sketch* Gagal

Apabila program gagal dikirim, maka *user* harus meneliti kembali program yang ditulis karena mungkin ada kesalahan dalam *sketch*

2.2.10 DC Power Supply

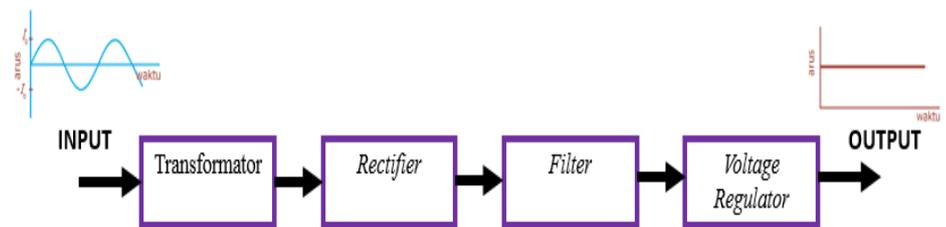
Catu daya atau sering disebut dengan *Power Supply* adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain. Pada peralatan elektronika yang sebagian besar membutuhkan arus DC dengan tegangan rendah dalam pengoperasiannya, maka catu daya DC merupakan rangkaian yang wajib ada.

Untuk menghasilkan *output* DC yang stabil, sebuah *power supply* harus memiliki 4 komponen berikut, yaitu :

- a. Transformator
- b. *Rectifier* (Penyearah)

- c. *Filter* (Penyaring)
- d. *Regulator* Tegangan

Blok diagram dari DC *Power Supply* ditunjukkan pada gambar 2.15 berikut:

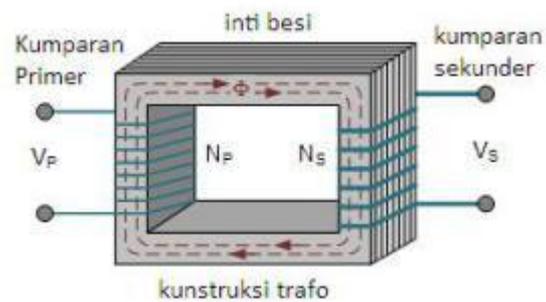


Gambar 2.15 Blok Diagram *Power Supply*

A. Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.^[11]

Gambar 2.16 menunjukkan bagan sederhana dari transformator.



Gambar 2.16 Bagan Sederhana Transformator^[12]

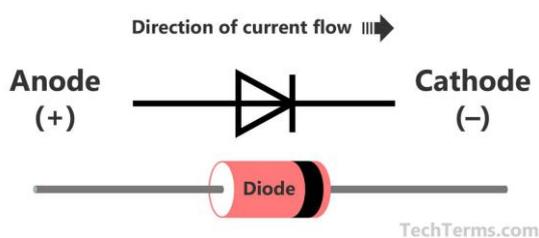
Prinsip kerja trafo adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum *Faraday*, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika belitan primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka arus akan mengalir ke belitan primer, arus ini akan menimbulkan medan elektromagnet yang berubah-ubah disebabkan gelombang sinusoidal dan menginduksi inti trafo.



Gambar 2.17 Transformator

B. Rectifier (Penyearah)

Penyearah merupakan suatu rangkaian dalam *power supply* yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Komponen dalam rangkaian penyearah adalah dioda yakni komponen yang merupakan pertemuan (*junction*) antara semikonduktor tipe *p* dan tipe *n*.^[13] Gambar 2.18 dibawah merupakan struktur dari *diode*.



Gambar 2.18 Struktur Dioda^[14]

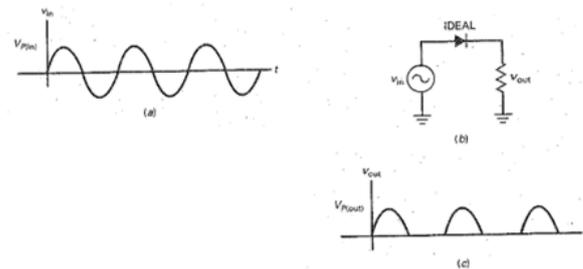
Dioda semikonduktor hanya dapat melewatkan arus pada satu arah saja, yaitu ketika dioda memperoleh catu arah maju (*forward bias*). Dalam kondisi ini dikatakan dioda dalam keadaan konduksi/menghantar dengan tahanan dalam yang relatif kecil. Sebaliknya jika dioda diberi *reverse bias*, maka arus akan sulit mengalir disebabkan tahanan dalam dioda yang besar.

Rangkaian dioda sebagai penyearah dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Penyearah Setengah Gelombang

Penyearah setengah gelombang merupakan suatu rangkaian yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC berdenyut.

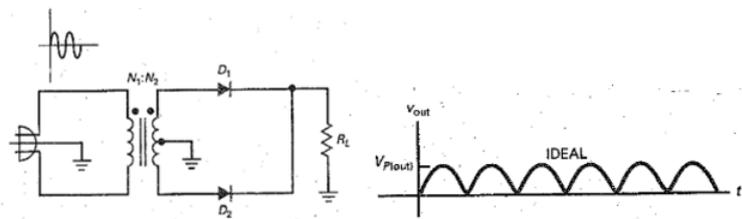
Gambar 2.19 menunjukkan proses penyearahan gelombang AC menjadi DC berdenyut.



Gambar 2.19 Penyearah Setengah Gelombang^[13]

Pada setengah siklus positif tegangan AC, maka dioda akan di *bias forward* sedangkan pada setengah siklus negatif, dioda akan di *bias reverse*.^[18]

2. Penyearah *Center-Tap*



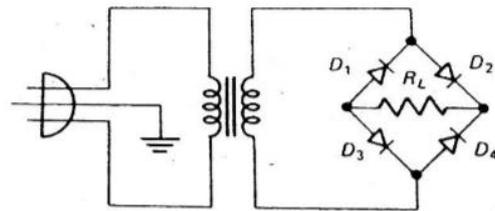
Gambar 2.20 Penyearah *Center Tap*^[13]

Pada penyearah *center tap* seperti pada gambar 2.20 diatas, ditunjukkan bahwa selama setengah siklus positif, maka dioda sebelah atas akan di *bias forward* dan dioda di sebelah bawah akan di *bias reverse*. Oleh sebab itu arus akan mengalir melalui dioda atas menuju ke beban. Sedangkan selama setengah siklus negatif maka dioda bawah yang akan di *bias forward* dan dioda atas akan di *bias reverse*. Arus akan mengalir melalui

dioda bawah menuju ke beban. Inilah mengapa tegangan beban merupakan sinyal gelombang penuh.

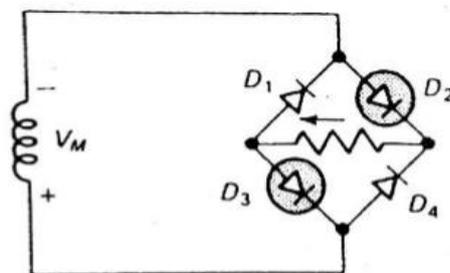
3. Penyearah Jembatan

Penyearah jembatan merupakan penyearah yang paling banyak digunakan. Gambar 2.21 menunjukkan rangkaian dari penyearah jembatan.



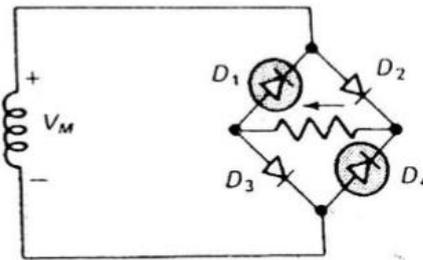
Gambar 2.21 Penyearah Jembatan^[13]

Prinsip kerja penyearah jembatan yakni selama setengah siklus positif tegangan sekunder trafo, dioda D2 dan D3 akan dibias *forward* sedangkan dioda D1 dan D4 *bias reverse*, oleh sebab itu arus beban ke arah kiri. Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2.22 berikut :

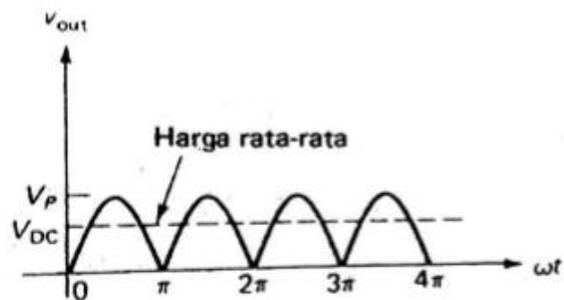


Gambar 2.22 Penyearah Jembatan Setengah Siklus Positif^[13]

Kemudian selama setengah siklus negatif, dioda D_1 dan D_4 akan dibias *forward*, sehingga arus beban akan ke arah kiri. Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2.23.



Gambar 2.23 Penyearah Jembatan Setengah Siklus Negatif^[13]



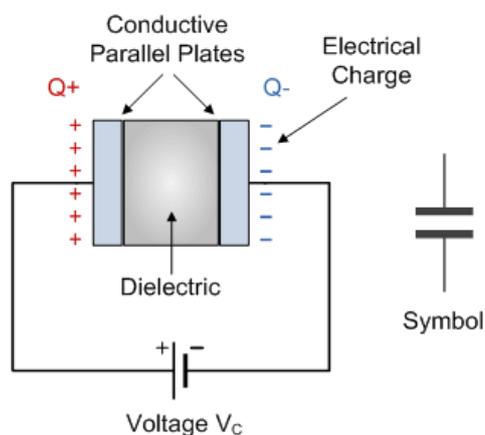
Gambar 2.24 Sinyal Gelombang Penuh^[18]

Dapat terlihat bahwa kedua siklus ini mempunyai arah arus yang sama, sehingga tegangan beban adalah sinyal gelombang penuh seperti ditunjukkan pada gambar 2.24.

C. Filter

Suatu penyaring (*filter*) listrik adalah suatu rangkaian yang melewatkan arus searah dan menolak komponen arus bolak-balik.^[1]

Penyaring yang digunakan dalam rangkaian catu daya adalah kapasitor, yaitu komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Kemampuan kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron dinamakan kapasitansi dimana kapasitor akan memiliki kapasitansi 1 *farad* jika dengan tegangan 1 volt ia dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 *coulomb* ($6,25 \times 10^{18}$). Gambar 2.25 merupakan struktur dari kapasitor.



Gambar 2.25 Struktur Kapasitor^[15]

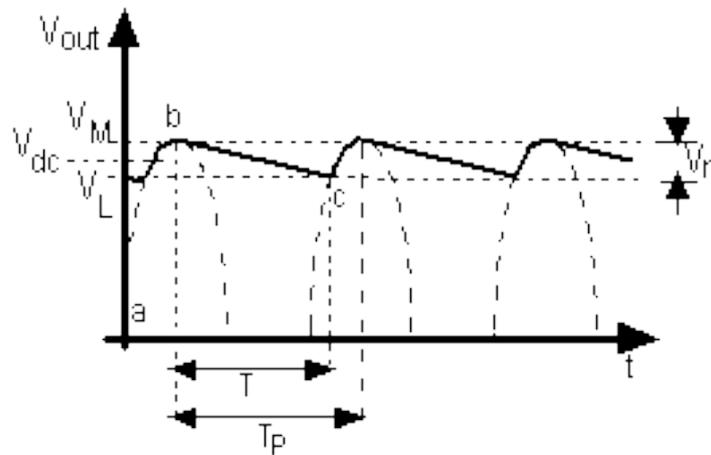
Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah pelat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan *dielektrik* (keramik, gelas, kertas, dll) ditunjukkan pada gambar 2.26. Jika kedua ujung pelat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki elektroda metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang lain. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif.

Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya.

Dalam rangkaian *power supply*, kapasitor digunakan untuk meratakan sinyal *output* dari penyearah dan memperlemah riak/*ripple* (komponen AC). Prinsip kerjanya adalah :

1. Selama $\frac{1}{4}$ perioda pertama tegangan input, dioda dibias *forward*. Secara ideal akan terlihat seperti saklar tertutup. Kapasitor akan terus diberi muatan listrik sampai tegangan puncak V_p , sebab dioda menghubungkan sumber secara langsung ke kapasitor.
2. Setelah sinyal melewati puncak positif, maka dioda akan berhenti konduksi yang terlihat seperti saklar terbuka. Hal demikian terjadi karena kapasitor mempunyai $+V_p$ volt. Dengan tegangan sumber yang sedikit saja kurang dari $+V_p$, kapasitor akan memaksa arus kembali melalui dioda. Hal ini akan membias dioda secara *reverse*.
3. Karena dioda *off*, maka kapasitor mulai mengosongkan diri melalui resistansi beban R_L . Muatan kapasitor akan hilang sedikit.
4. Pada puncak *input* positif berikutnya maka dioda akan bias *forward* dan mengisi kapasitor kembali.
5. Penyearah *center-tap* dan jembatan yang diberi *filter* kapasitor akan menghasilkan penyearahan puncak yang lebih baik karena kapasitor dimuati dua kali lebih sering. Hasilnya, *ripple* akan

lebih kecil dan tegangan *output* DC mendekati tegangan puncak. Gelombang hasil *filtering* kapasitor ini ditunjukkan pada gambar 2.26 berikut.

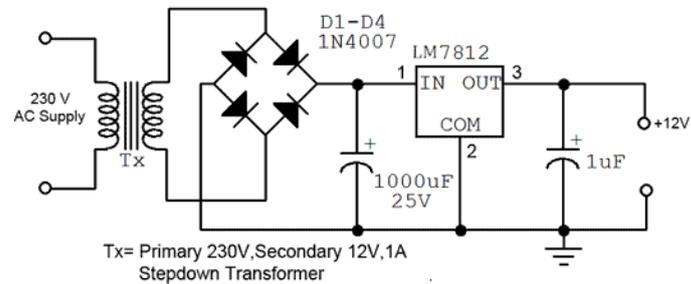


Gambar 2.26 Konsep *Filter* Kapasitor ^[13]

D. Regulator Tegangan

Regulator tegangan merupakan rangkaian yang digunakan sebagai penstabil tegangan catu daya. Rangkaian ini dapat memberikan *output* tegangan DC yang teratur pada nilai yang telah ditentukan meskipun tegangan masukan catu yang tersambung berubah-ubah. ^[16]

Gambar 2.27 dibawah merupakan rangkaian catu daya yang menggunakan regulator tegangan sebagai penstabil tegangan.



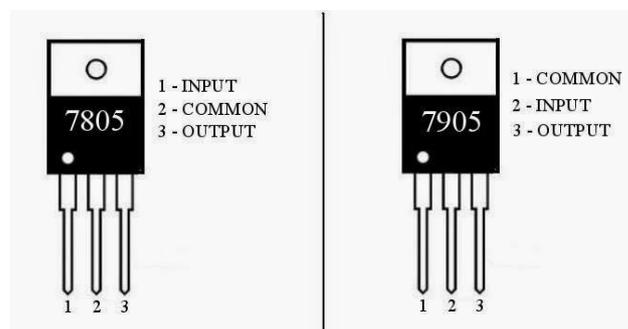
Gambar 2.27 Regulator Tegangan pada Catu Daya^[17]

Regulator ini memiliki prinsip kerja hampir sama dengan dioda zener. Ciri khas dioda zener yakni bila dibias *forward*, maka dioda zener akan bertindak sebagai dioda pada umumnya, sedangkan bila dibias *reverse* dioda zener akan mengalirkan arus dari katoda ke anoda dengan syarat diberi catu tegangan yang lebih besar dari tegangan spesifikasi dioda tersebut.

Oleh karena itu, meski mendapatkan catu secara *reverse*, apabila tegangan catu kurang dari tegangan tembus maka arus dari katoda tidak akan mengalir menuju anoda. Dioda zener akan memberikan tegangan *output* yang relatif tetap sesuai dengan spesifikasi tegangan zener tersebut. Misalnya dioda zener memiliki spesifikasi tegangan 5 Volt, maka ketika dilewati sebuah tegangan 6,5 Volt, tegangan *output* dioda akan tetap pada batas 5 Volt. Namun ketika tegangan yang melewati dioda zener sudah melewati batas toleransi yang diijinkan, misal 8 Volt, maka dioda zener sudah tidak

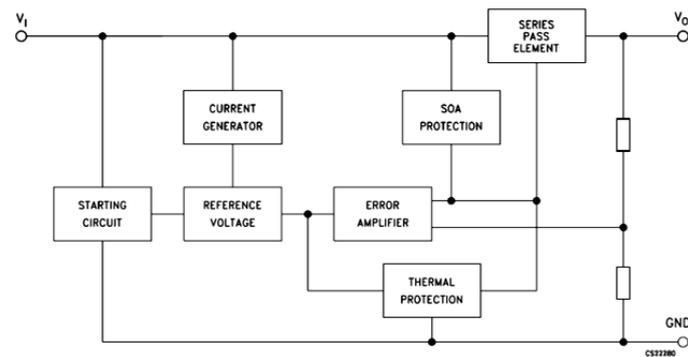
mampu lagi menahan tegangan spesifikasi 5 Volt tersebut. Akibatnya, kondisi dioda zener akan mengalami kerusakan.

Penggunaan *regulator* tegangan yang sekarang banyak digunakan sudah dalam bentuk *chip* IC, seperti ditunjukkan pada gambar 2.28. IC *regulator* tegangan tetap adalah keluarga 78XX untuk tegangan positif dan seri 79XX untuk tegangan negatif.



Gambar 2.28 Diagram *Pinout* dari *Voltage Regulator*^[18]

Besarnya tegangan keluaran IC seri 78XX dan 79XX ini dinyatakan dengan dua angka terakhir pada serinya. Contoh IC 7812 adalah regulator tegangan positif dengan tegangan keluaran 12 volt, sedangkan IC 7912 adalah regulator tegangan negatif dengan tegangan keluaran -12 volt.^[19]



Gambar 2.29 Blok Diagram Internal IC 78XX^[20]

Pada gambar 2.29 yang merupakan blok diagram internal IC 78XX, blok tegangan referensi adalah dimana dioda zener berada. Bila tegangan *input* yang masuk pada LM7805 sesuai dengan tegangan minimalnya, misal 8 Volt, maka *output* zener akan menjadi 5 V namun bila *input* berada dibawah nilai tersebut, maka zener akan *cut-off*. Rangkaian *pass element* dan *error amplifier* digunakan untuk mengatur parameter pada rangkaian sehingga tegangan *output* akan tetap konstan meskipun arus beban dan tegangan *input* berubah. IC 78XX dilengkapi dengan *thermal protection*, yakni jika disipasi daya pada regulator terlalu besar maka tegangan *output* regulator akan turun ke 0 V sampai IC dingin kembali.

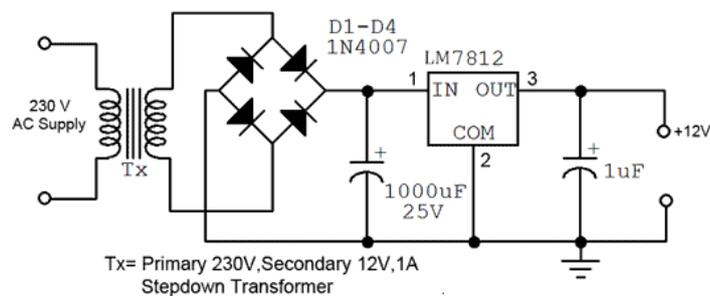
Tabel 2.2 berikut ini menunjukkan beberapa tipe regulator beserta batasan tegangannya.

Tabel 2.2 Tegangan *Input* IC L7805 dan IC L7812^[20]

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

Batasan nilai tegangan masukan IC regulator yang terdapat dalam tabel adalah nilai DC, bukan tegangan sekunder dari trafo. Berdasarkan tabel 2.4 diatas, diambil kesimpulan bahwa nilai tegangan *output* akan tetap konstan meskipun tegangan *input* bervariasi, namun dalam *range* tertentu. Rangkaian catu daya menggunakan IC 7812 ditunjukkan dalam gambar 2.30 berikut.



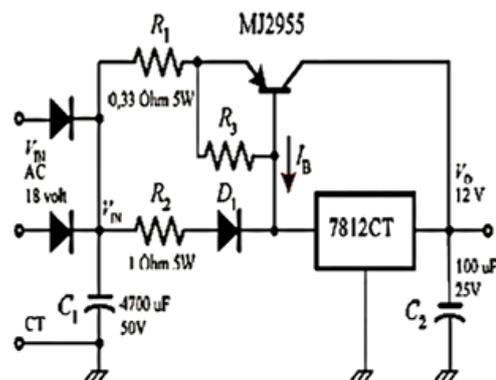
Gambar 2.30 Voltage Regulator dalam Catu Daya^[16]

Pemakaian *heatsink* (aluminium pendingin) dianjurkan jika komponen ini digunakan untuk mencatu arus yang besar. Di dalam *datasheet*, komponen IC regulator tegangan hanya bisa dilewati arus maksimal 1 Ampere. Kemampuan memberikan catu daya dari IC regulator tegangan dapat ditingkatkan kapasitasnya dengan menambahkan transistor eksternal, bisa transistor NPN atau PNP.

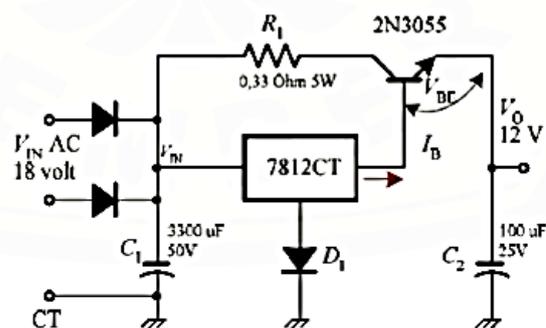
Transistor adalah komponen semikonduktor yang terdiri atas sebuah bahan tipe *p* dan diapit oleh dua bahan tipe *n* (transistor NPN)

atau terdiri atas sebuah bahan tipe n dan diapit oleh dua bahan tipe p (transistor PNP). Ketiga terminal transistor disebut *Emitor*, *Basis*, dan *Collector*.

Dengan penambahan transistor luar, maka sebagian besar dari arus akan dilewatkan pada transistor ini, sehingga IC regulator tegangan hanya berfungsi sebagai pengontrol tegangan saja. Jika pemasangan menggunakan transistor pnp maka *basis* terhubung ke *input* IC regulator seperti ditunjukkan pada gambar 2.31, sedangkan jika menggunakan transistor nnp maka *basis* terhubung ke *output* IC regulator seperti ditunjukkan pada gambar 2.32.

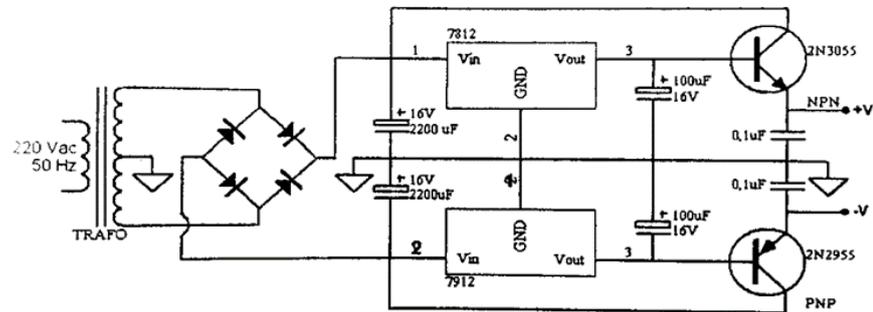


Gambar 2.31 Rangkaian Transistor pnp dengan LM 7812^[21]



Gambar 2.32 Rangkaian Transistor nnp dengan LM 7812^[21]

Gambar 2.33 menunjukkan rangkaian catu daya ± 12 V yang dilengkapi dengan transistor *nnp* dan *pnp*.



Gambar 2.33 Rangkaian Catu Daya ± 12 V^[22]

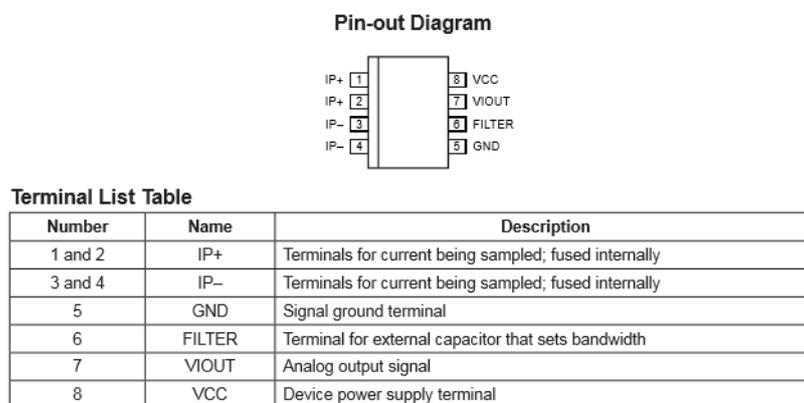
2.2.11 Sensor Arus ACS 712

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 V_{cc} 5V.

Beberapa fitur dari sensor arus ACS712 adalah :

1. Waktu kenaikan perubahan luaran adalah 5 μ 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 2.34 dibawah menunjukkan diagram *pinout* dari sensor arus ACS712.

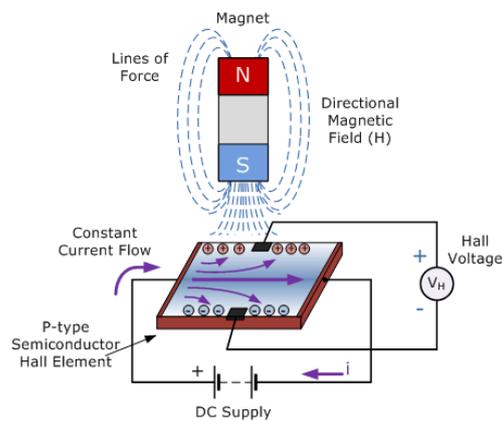


Gambar 2.34 *Pin-out Diagram ACS712*^[23]

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 elektrik. 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.

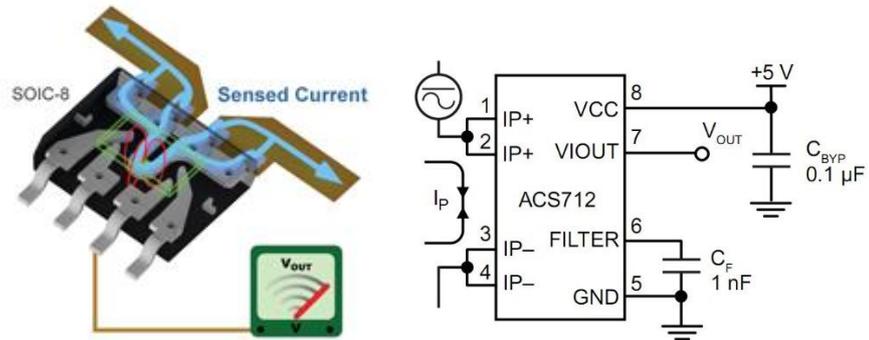
Efek *Hall* adalah peristiwa membeloknya arus listrik di dalam pelat konduktor karena adanya pengaruh medan magnet.^[24] Ketika arus listrik (I) mengalir pada lempengan logam dan logam tersebut terpengaruh oleh medan magnet (B) yang tegak lurus dengan arus, maka pembawa muatan (*charge carrier*) yang 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*.^[25] Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2.35 berikut.



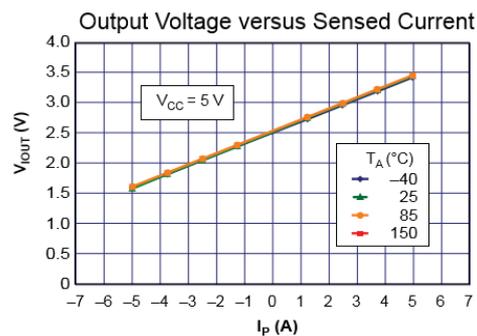
Gambar 2.35 Prinsip Kerja Efek *Hall*^[26]

Pada ACS712 pin yang dialiri arus akan terhubung ke konduktor tembaga yang terhubung secara internal sehingga arus akan banyak mengalir pada bagian ini. ACS712 memiliki sensor efek *Hall* yang diletakkan di dekat konduktor tembaga sehingga jika arus mengalir melalui konduktor dan menghasilkan medan magnet, medan magnet ini akan dideteksi oleh sensor efek *Hall* (berupa lempengan bahan semikonduktor) yang *output*nya berupa tegangan dengan nilai sesuai dengan arus *input*. Proses deteksi arus ACS712 ini ditunjukkan dalam gambar 2.36 berikut.



Gambar 2.36 Prinsip Kerja Sensor Arus ACS 712^[27]

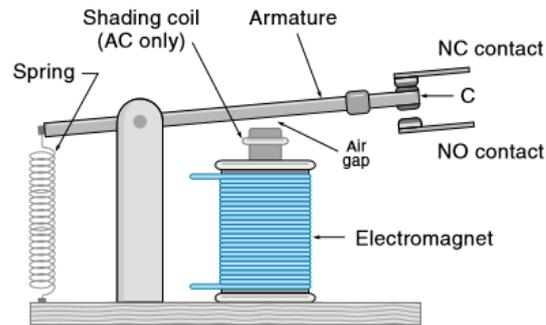
Karakteristik dari sensor ini adalah ketika tidak ada arus yang mengalir pada rangkaian maka keluaran sensor adalah setengah dari V_{cc} yaitu 2,5 V. Dan ketika arus mengalir dari pin IP+ ke IP-, maka keluaran akan $>2,5$ V, sedangkan ketika arus mengalir dari IP- ke IP+ maka keluaran akan $<2,5$ V. Gambar 2.37 Menunjukkan hubungan antara tegangan *output* dengan arus yang dideteksi sensor.



Gambar 2.37 Hubungan Tegangan *Output* dengan Arus^[23]

2.2.12 Relay OMRON 24 VDC

Relay elektromekanik adalah peralatan yang menggunakan elektromagnet untuk menghasilkan tenaga penutupan/pembukaan kontak, dengan kata lain, *relay* merupakan saklar elektrik. Gambar 2.38 Menunjukkan bagian-bagian dari *relay*.^[33]



Gambar 2.38 Bagian-Bagian dari *Relay*^[28]

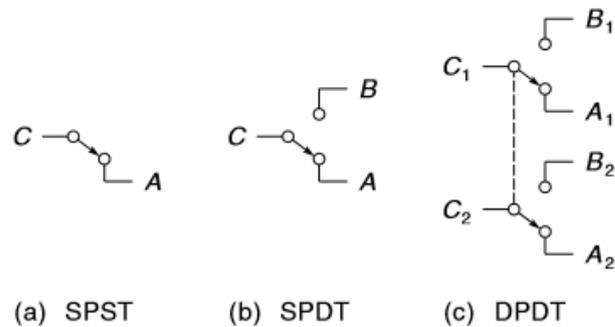
Di dunia elektronika, *relay* dikenal sebagai komponen yang dapat mengimplementasikan logika *switching*. Penggunaan *relay* elektromekanik merupakan cara termudah untuk memutus / menghubungkan arus yang menuju ke beban, yang mana dibutuhkan juga isolasi antara rangkaian kontrol dengan rangkaian beban.^[29]

Relay elektromekanik terdiri atas *coil* (kumparan) dan kontak. Cara kerja *relay* yaitu jika *coil* diberikan arus listrik, maka *coil* tersebut akan menjadi elektromagnet yang menarik kontak. Kontak dapat berupa kontak *normally open* (NO) maupun kontak *normally closed* (NC). Kontak NO berarti kondisi awal *relay* sebelum diaktifkan statusnya terbuka dan jika diberi *input* maka kontak akan menutup, sedangkan kontak NC berarti kondisi awal *relay* sebelum diaktifkan berstatus tertutup.^[30]

Berdasarkan jumlah *pole* (kontak) dan jumlah *throw* (kondisi kontak) maka *relay* dapat digolongkan menjadi :

1. *Single Pole Single Throw (SPST)*
2. *Single Pole Double Throw (SPDT)*

3. Double Pole Double Throw (DPDT)



Gambar 2.39 Jenis *Relay* Berdasarkan *Pole* dan *Throw*^[28]

Gambar 2.40 menunjukkan salah satu contoh *relay* yang ada di pasaran yakni *relay Omron* yang beroperasi pada tegangan 24 V DC.

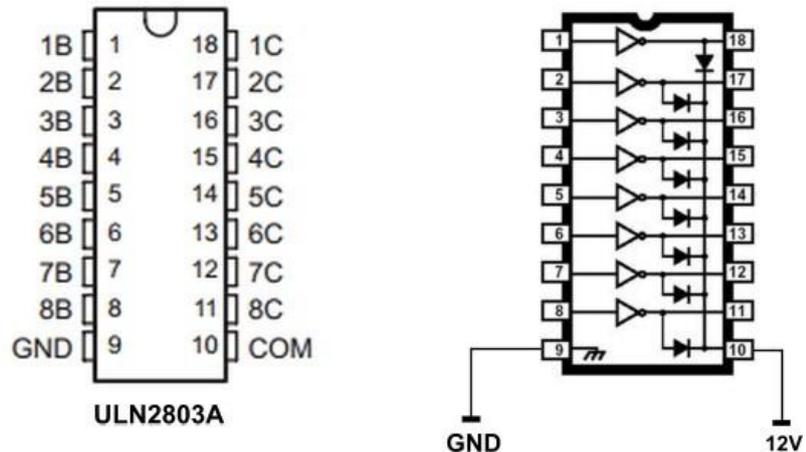


Gambar 2.40 *Relay Omron DPDT*^[31]

2.2.13 Driver Relay IC ULN 2803

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*. Gambar 2.41 merupakan diagram *pin-out* dari ULN2803.

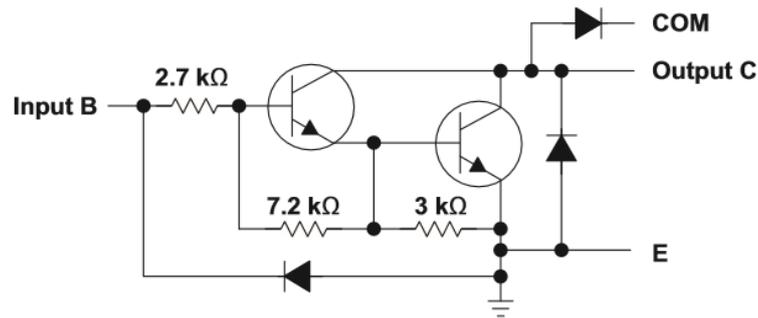


Gambar 2.41 Pin-out Diagram ULN 2803^[32]

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.^[33]

Pasangan *Darlington* didalam IC ULN 2803 ditunjukkan pada gambar 2.42 berikut.



Gambar 2.42 Pasangan *Darlington* Dalam *ULN2803*^[32]

Gambar 2.42 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.

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*.

2.2.14 Ethernet Shield



Gambar 2.44 Ethernet Shield.^[39]

Ethernet Shield adalah modul yang digunakan untuk mengkoneksikan Arduino dengan internet menggunakan kabel (Wired). Arduino Ethernet Shield dibuat berdasarkan pada Wiznet W5100 ethernet chip. Wiznet W5100 menyediakan IP untuk TCP dan UDP, yang mendukung hingga 4 socket secara simultan. Untuk menggunakannya dibutuhkan library Ethernet dan SPI. Dan Ethernet Shield ini menggunakan kabel RJ-45 untuk mengkoneksikanya ke Internet, dengan integrated line transformer dan juga Power over Ethernet.

Spesifikasi:

1. Chip Wiznet W5100 dengan internal buffer 16 Kb,
2. Kecepatan koneksi 10 / 100Mb (Fast-Ethernet).
3. Papan ini terhubung dengan Arduino melalui port SPI.
4. Dapat mendukung hingga 4 koneksi simultan