

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penyusunan Tugas Akhir ini atas dasar observasi yang dilakukan pada saat penulis melakukan kerja praktik di PT PLN Unit Pelaksana Pengatur Distribusi Jateng DIY Semarang pada tanggal 7 Januari – 29 Maret 2019. Penulis melakukan kerja praktik di bagian pemeliharaan dan proteksi. Oleh karena itulah, penulis berkeinginan mengambil tema Tugas Akhir mengenai sistem proteksi yang ada di jaringan distribusi.

Penulis sudah melakukan telaah terhadap beberapa karya ilmiah yang ada. Ada beberapa yang mempunyai keterkaitan dengan rancangan yang akan dibuat penulis. Walaupun terdapat kemiripan dalam perihal tujuan, maksud dan pengaplikasiannya, dalam pelaksanaan dan penulisan Tugas Akhir ini tetap mempunyai perbedaan dari referensi karya ilmiah yang diambil oleh penulis.

Referensi pertama diambil dari judul “Simulasi Manuver Jaringan 20 kV Guna Menghindari *Overload Shedding* pada Penyulang 20 kV Berbasis Arduino Mega 2560 dengan Tampilan *Human Machine Interface* (HMI)” yang disusun pada tahun 2018 oleh Bagus Aji Septian, mahasiswa Teknik Elektro Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Karya ilmiah tersebut membahas dan meyimulasikan *manuver* yang dilakukan sebelum terjadinya *overload shedding* untuk pencegahan pemadaman area yang luas yang disebabkan trip nya PMT *incoming*^[1]. Persamaan karya ilmiah tersebut dengan karya ilmiah yang dibuat penulis adalah pembahasan mengenai *overload shedding* dan *manuver* beban. Letak perbedaannya, karya

ilmiah tersebut menyimulasikan bagaimana *manuver* beban untuk menghindari *overload shedding* sedangkan penulis menyimulasikan bagaimana terjadinya *overload shedding* dan penanggulangannya setelah terjadi *overload shedding* dengan melakukan *manuver* beban.

Referensi kedua diambil dari judul “Penerapan Pelepasan Beban Lebih (*OLS*) pada Transformator Daya 30 MVA 70/20 kV di Gardu Induk Boom Baru PT PLN (Persero)” yang disusun pada tahun 2015 oleh Akbar Merjurie Lestari mahasiswa Diploma III Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya. Karya ilmiah tersebut membahas cara kerja *relay overload shedding* dan bagaimana koordinasinya dengan *over current relay*^[2]. Persamaan karya ilmiah tersebut dengan karya ilmiah yang dibuat oleh penulis adalah pembahasan mengenai proteksi *overload shedding* pada gardu induk. Letak perbedaannya, karya ilmiah tersebut membahas koordinasi *Relay Overload Shedding* dengan *Relay Overcurrent* sedangkan penulis hanya akan membahas *Relay Overload Shedding* dan mengaplikasikannya dalam bentuk alat simulator. Perbedaan yang lain adalah lokasi Gardu Induk yang ditinjau. Penulis meninjau Gardu Induk Purwodadi di Jawa tengah, sedangkan referensi yang diambil meninjau Gardu Induk Boom Baru di Sumatera Selatan.

Referensi ketiga diambil dari judul “Simulasi *Manuver* Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20kV dengan LBS Join untuk Pelimpahan Beban Menggunakan VT SCADA 11.2 Berbasis Arduino Mega 2560” yang disusun pada tahun 2018 oleh Anisa Putri Apsari, mahasiswa Teknik Elektro Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Karya ilmiah tersebut membahas dan menyimulasikan

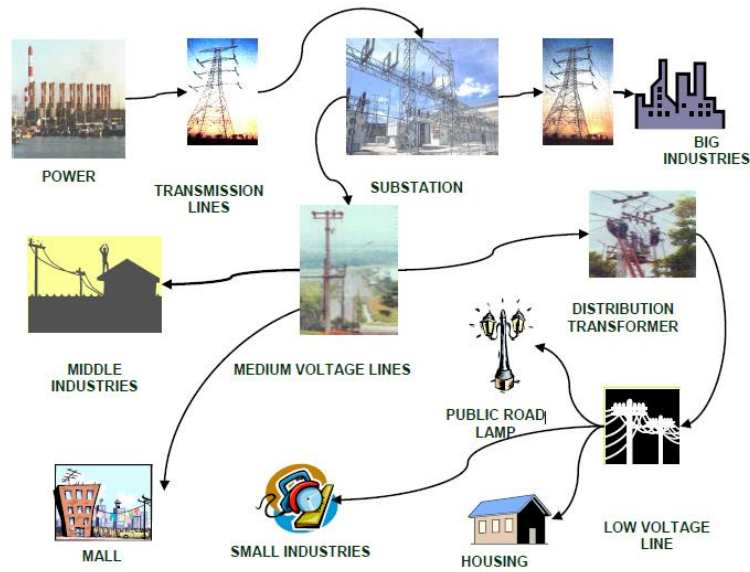
bagaimana proses *manuver* beban pada jaringan^[3]. Persamaan karya ilmiah tersebut dengan karya ilmiah yang dibuat penulis adalah simulasi *manuver* beban dengan LBS Join. Letak perbedaannya, penulis menyimulasikan *manuver* sebagai tindak lanjut dari terjadinya *overload shedding*.

Alat simulasi penulis dirancang untuk memonitoring tegangan dan arus secara *realtime*, *controlling* peralatan *switching* juga dapat dilakukan dengan local maupun remote melalui SCADA yang terintegrasi dengan alat simulasi ini. Penulis melakukan simulasi berdasarkan kasus nyata yang pernah terjadi di PT PLN. Penempatan peralatan *switching* pada alat simulasi didasarkan pada kenyataan di lapangan. Penulis membuat alat simulasi berdasar pada data *single line diagram* PT PLN (Persero) UP2D Jateng DIY Semarang dan data gangguan *Overload Shedding* yang pernah terjadi di Gardu Induk Purwodadi.

2.2 Dasar Teori

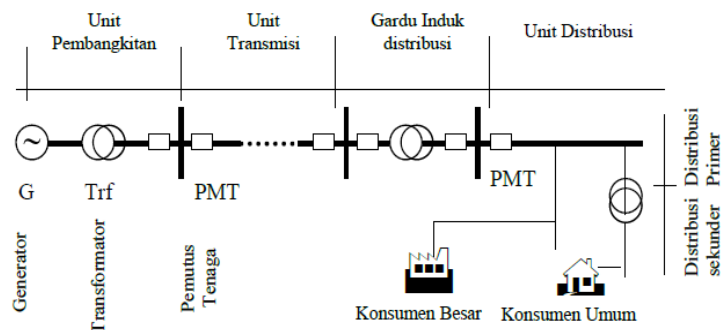
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.^[4] Gambaran sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik^[4]

Di dalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat, Dengan demikian maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Blok diagram sistem tenaga listrik digambarkan pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Blok Diagram Sistem Tenaga Listrik^[4]

Tenaga Listrik dibangkitkan di Pusat-pusat Tenaga Listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step up transformer) yang ada di Pusat Listrik. Pemberian nama PLTA PLTU PLTP dan sebagainya yang umum diberikan kepada unit pembangkit listrik di lingkungan PLN didasarkan atas nama tenaga penggerak mulanya. PLTA misalnya dimana mesin pembangkit listriknya (generator) yang ada di kawasan tersebut digerakan atau diputar oleh suatu turbin penggerak yang berputar karena digerakan oleh pergerakan aliran air (turbin air) demikian juga halnya dengan PLTU mesin pembangkit listriknya digerakan oleh turbin uap.

Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan gardu induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standard tegangan tinggi dikatakan sebagai saluran transmisi tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT. Dilingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 KV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 KV dimana SUTT 150 KV lebih banyak digunakan dari pada SUTT 70 KV. Khusus untuk tegangan 500 KV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. yang disingkat dengan nama SUTET

Pada saat ini masih ada beberapa saluran transmisi dengan tegangan 70 KV namun tidak dikembangkan lagi oleh PLN. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah maka saluran transmisi PLN kebanyakan berupa saluran udara. Kerugian dari saluran udara dibandingkan dengan saluran kabel tanah adalah saluran udara mudah terganggu oleh gangguan yang

ditimbulkan dari luar sistemnya , misalnya karena sambaran petir, terkena ranting pohon , binatang, layangan dan lain sebagainya.

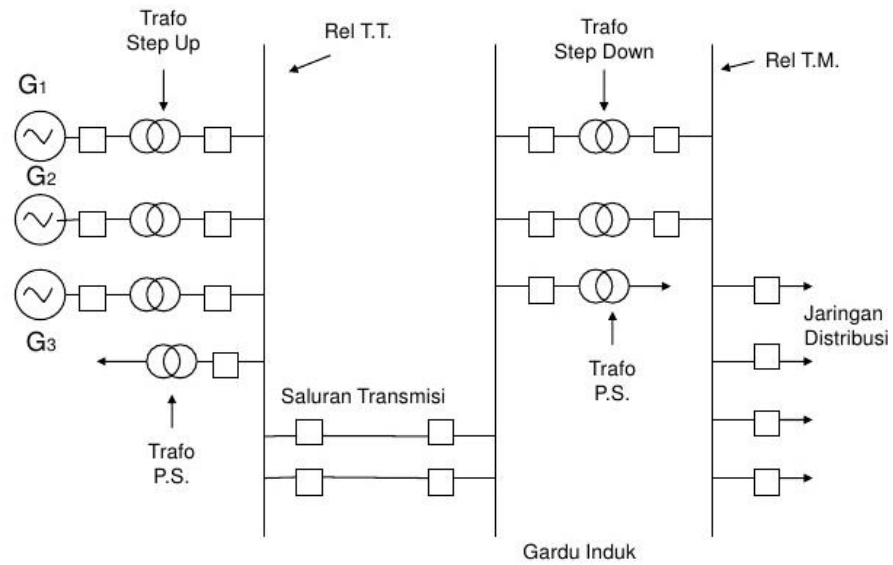
Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 KV.

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (*step down transformer*) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt atau 220/127 Volt dimana standar tegangan 220/127 Volt pada saat ini tidak diberlakukan lagi dilingkungan PLN. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR.

Sama halnya pada JTM jenis saluran yang dipergunakan pada JTR dapat menggunakan tiga jenis saluran yaitu SUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kawat terbuka SKUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel udara yang dikenal dengan sebutan kabel twisted yang sering disebut dengan singkatan TIC singkatan dari *Twisted Insulation Cable* SKTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel tanah.

Tenaga listrik dari jaringan tegangan rendah ini untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) melalui suatu sarana yang disebut Sambungan Pelayanan atau Sambungan Rumah yang dapat dipisahkan menjadi dalam 2 bagian yaitu Sambungan Luar Pelayanan dan Sambungan Masuk Pelayanan .

Dalam proses bisnis PLN pelanggan-pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar aturannya tidak disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melainkan disambung langsung pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan yang sangat besar disambung pada Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya tersambung. Bentuk skema sistim tenaga listrik ditunjukkan oleh gambar 2.3



Gambar 2. 3 Skema Pusat Listrik yang dihubungkan melalui saluran Transmisi ke Gardu Induk.

Keterangan :

- G : Generator
- PS : Pemakaian Sensiri
- TT : Tegangan Tinggi
- TM : Tegangan Menengah

Dari gambar diatas terlihat bahwa di Pusat Listrik maupun di GI selalu ada transformator Pemakaian Sendiri guna melayani keperluan-keperluan peralatan listrik yang digunakan didalam Pusat Listrik maupun GI, misalnya untuk keperluan penerangan, mengisi batere listrik dan menggerakkan berbagai motor listrik. , Dalam praktek karena luasnya jaringan distribusi sehingga diperlukan banyak sekali transformator distribusi, maka Gardu Distribusi seringkali disederhanakan menjadi transformator tiang/Gardu Trafo Tiang yang rangkaian listriknya lebih sederhana, yang digambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 GTT. Type Portal

Setelah tenaga listrik melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah (SR) maka tenaga listrik selanjutnya dilewatkan alat pembatas daya dan KWH meter di sisi pelanggan.

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

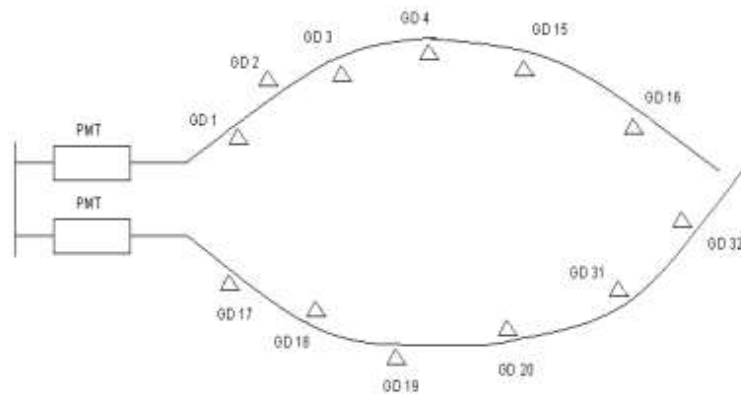
Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang dimulai dari PMT *incoming* di Gardu Induk sampai dengan Alat Penghitung dan Pembatas (APP) di instalasi konsumen yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk sebagai pusat pusat beban ke pelanggan pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai sesuai stándar pelayanan yang berlaku. dengan demikian sistem distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Dimana sistem adalah perangkat

unsur-unsur yang saling ketergantungan yang disusun untuk mencapai suatu tujuan tertentu dengan menampilkan fungsi yang ditetapkan^[4]. Dilihat dari tegangannya sistim distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu

- 1) Distribusi Primer, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV
- 2) Distribusi Sekunder, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt

2.2.3 Topologi Jaringan Distribusi Sistem Jaringan Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.5 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil. ^[5] Topologi jaringan distribusi sistem jaringan loop dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Jaringan Distribusi Loop

2.2.4 Gangguan Sistem Distribusi

2.2.4.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih terjadi karena perubahan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan.^[6] Beban lebih terjadi ketika arus yang mengalir melebihi dari kepastian peralatan listrik dan pegaman yang terpasang melebihi kapasitas peralatan, sehingga saat beban melebihi pegaman tidak trip.

2.2.4.2 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.

2.2.4.2.1 Gangguan Permanen

Salah satu contoh gangguan permanen adalah gangguan hubung singkat, yang bisa terjadi pada kabel atau belitan transformator tenaga yang disebabkan karena arus gangguan hubung singkat melebihi kapasitasnya, sehingga penghantar

menjadi panas yang dapat mempengaruhi isolasi atau minyak transformator, sehingga isolasi tembus.

Pada generator yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau pembebanan yang melebihi kapasitas. Sehingga rotor memasok arus dari eksitasi berlebih yang dapat menimbulkan pemanasan yang dapat merusak isolasi tembus.

Disini pada titik gangguan memang terjadi kerusakan yang permanen. Peralatan yang terganggu tersebut, baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti^[6].

2.2.4.2.2 Gangguan Temporer

Salah satu contoh gangguan temporer adalah *flashover*. *Flashover* terjadi karena sambaran petir (penghantar terkena sambaran petir), *flashover* dengan pohon, penghantar tertiuup angin yang dapat menimbulkan gangguan antar fasa atau penghantar fasa menyentuh pohon yang dapat menimbulkan gangguan 1 fasa ke tanah. Gangguan ini yang tembus (*breakdown*) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen^[6].

Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh relay pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali.

Gangguan hubung singkat dapat merusak peralatan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Termis atau pemanasan berlebih pada peralatan listrik yang dilalui oleh arus gangguan dapat merusak peralatan listrik. Dimana

kerusakan akibat arus gangguan tergantung pada besar dan lamanya arus gangguan.

- 2) Mekanis atau gaya tarik-menarik/tolak-menolak pada penghantar fasa yang terganggu karena adanya frekwensi listrik yang dapat menimbulkan frekuensi mekanis.

2.2.4.3 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih yang diakibatkan adanya kelainan pada sistem, dimana tegangan lebih dibedakan atas:

- 1) Dengan *Power Frequency*

Tegangan lebih dengan *power frequency*, 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*).

- 2) Dengan *Transient*

Tegangan lebih *Transient* disebabkan karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik atau saat pemutus (PMT) yang menimbulkan kenaikan tegangan yang disebut surja hubung^[6].

2.2.4 Dasar Sistem Proteksi

Menurut Iman Setiono dalam buku Sistem Proteksi Tenaga Listrik, sistem proteksi adalah sistem pengamanan pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik terhadap kondisi tidak normal pengoperasian sistem tenaga listrik karena adanya gangguan.^[7]

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

- 1) Mendeteksi gangguan yang terjadi dengan cara mengenali gejala gangguan yang dapat berupa perubahan besaran tegangan, arus, sudut fasa maupun frekuensi.
- 2) Membebaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu dari sistem yang tidak terganggu. Sistem proteksi tidak bisa menghilangkan datangnya gangguan, namun dengan adanya sistem proteksi yang bekerja dengan baik maka beberapa kerugian dan kemungkinan timbulnya bahaya atau kerusakan dapat dihindarkan.

Berikut ini adalah beberapa manfaat dari adanya sistem proteksi :

- 1) Mencegah kerusakan lebih jauh dari peralatan yang terganggu. Peralatan yang terganggu tentu telah mengalami kelainan atau kerusakan awal. Apabila peralatan tersebut tidak dibebaskan dari tegangan tentu kerusakan akan menjadi semakin besar.
- 2) Mencegah bahaya terhadap manusia dan properti. Gangguan hubung singkat yang melalui peralatan atau properti (misal rumah, pohon) tentu akan membahayakan kalau tidak segera dibebaskan dari tegangan, karena semua benda yang bersentuhan dengan sistem akan mempunyai tegangan sentuh yang membahayakan bagi manusia.

- 3) Mencegah meluasnya pemadaman atau gangguan. Bila gangguan yang terjadi pada suatu tempat tidak segera dipisahkan, maka gejala gangguan akan dirasakan oleh seluruh atau sebagian besar sistem sehingga bisa menimbulkan gangguan yang meluas atau bahkan bisa mengakibatkan pemadaman total (*black out*).
- 4) Mengurangi stress pada peralatan yang tidak terganggu. Gejala gangguan yang terjadi pada suatu tempat akan dirasakan oleh peralatan yang tidak terganggu disekelilingnya. Misalnya gangguan hubung singkat maka akan mengalirkan arus yang sangat besar yang melewati komponen sistem (peralatan) disekitarnya dan ini menimbulkan stress pada peralatan tersebut yang pada akhirnya bisa mengurangi umur (life time) peralatan^[8].

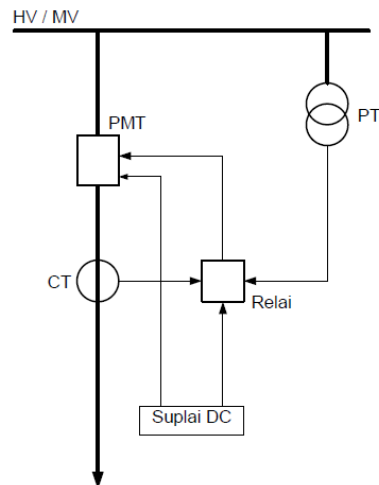
2.2.5 *Fault Clearing System (FCS)*

Implementasi suatu sistem proteksi pada dasarnya diwujudkan sebagai rangkaian peralatan yang saling terkait dan bekerja sama. Rangkaian peralatan tersebut dinamakan *Fault Clearing System*, peralatan-peralatan yang dirangkai adalah sebagai berikut :

- 1) Trafo instrumen (*Instrument Transformer*)
- 2) *Relay (Relay)*
- 3) Pemutus Tenaga (*Circuit breaker*)
- 4) Suplai arus searah (*DC supply*)
- 5) Pengawatan (*Wiring*)

6) Sistem telekomunikasi (*Communication system*)

Pemasangan *Fault Clearing System* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Fault Clearing System^[8]

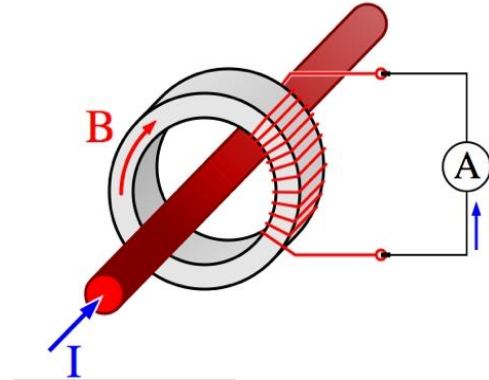
2.2.5.1 Trafo Instrumen

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet.^[9]

Trafo dalam *Fault Clearing System* berupa trafo arus (*current transformer/CT*) dan trafo tegangan (*potential transformer/PT*). Trafo arus berfungsi untuk mendeteksi arus yang mengalir pada sistem tenaga kemudian mentransfer ke arus yang cukup kecil sehingga bisa dipakai sebagai masukan *Relay* atau alat ukur, untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.7 dan 2.8. Trafo tegangan difungsikan untuk memonitoring tegangan jaringan, untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.9 dan 2.10.



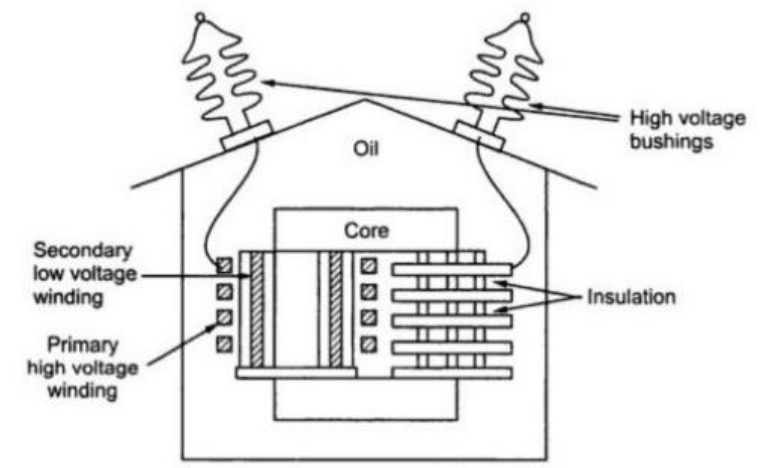
Gambar 2. 8 CT 20
KV



Gambar 2. 7 Konstruksi CT



Gambar 2. 10 PT 24kV



Gambar 2. 9 Konstruksi PT

2.2.5.2 Relay

Merupakan peralatan pengambil keputusan dalam sistem proteksi. Dengan melihat masukan dari trafo instrumen dan mempertimbangkan setting yang diterapkan pada *relay* tersebut, maka *relay* dapat mengambil keputusan untuk memberi order trip atau tidak kepada peralatan pemutus (PMT) [8].

Pada prinsipnya *Relay* mempunyai komponen utama yaitu perangkat input, perangkat *setting*, perangkat pengolah dan perangkat *output*. Gejala sistem yang dideteksi oleh CT atau PT diterima oleh perangkat input kemudian diteruskan ke perangkat pengolah. Pada elemen pengolah dilakukan pemrosesan yang pada dasarnya adalah membandingkan nilai gejala sistem dengan nilai *setting*, apabila nilai gejala sistem melebihi nilai *setting* maka diberikan perintah ke perangkat *output* untuk bekerja. Perangkat *output* bekerja dengan membuat perubahan 6 status dari kontak output (misal dari terbuka menjadi tertutup) yang selanjutnya bisa dimanfaatkan untuk mengerjakan pemutus tenaga, alarm, indikator dan sejenisnya. Gambaran fisik *relay* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Relay Numerik

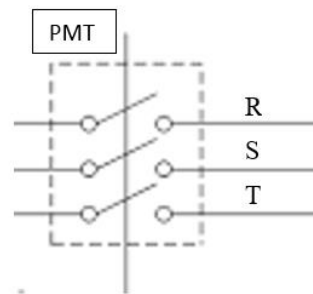
2.2.5.3 Pemutus Tenaga (PMT)

Adalah peralatan untuk memutuskan rangkaian sistem tenaga dalam keadaan berbeban maupun mengalami gangguan. Karena arus yang diputus adalah arus gangguan, maka PMT harus mempunyai kemampuan memutus arus yang sangat besar. Disamping itu PMT juga harus bisa bekerja dengan cepat (sekitar 20 – 60 mili detik) agar pemutusan rangkaian yang terganggu tidak terlambat^[8].

Dalam hal terjadi gangguan yang mengakibatkan *relay* bekerja, maka *relay* menyambungkan tripping coil dari PMT ke suplai dc sehingga *tripping coil* bekerja. Bekerjanya *tripping coil* membuat mekanik PMT bekerja menggerakkan kontak PMT sehingga membuka (*trip*). Single line PMT dapat dilihat pada gambar 2.12 dan Gambaran PMT secara fisik dapat dilihat di gambar 2.13.

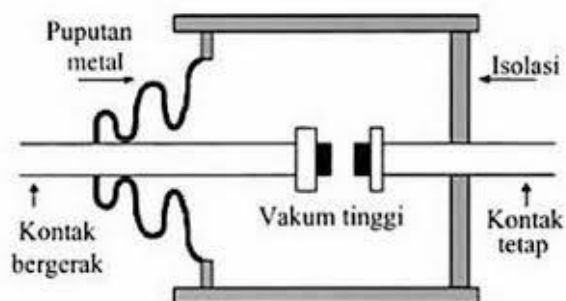


Gambar 2. 13 PMT 20 KV



Gambar 2. 12 Single Line PMT

PMT dilengkapi juga dengan peredam busur api. Peredam ini digunakan saat PMT membuka (*open*) dalam keadaan berbeban agar letupan api yang dihasilkan bisa diredam. Peredam busur api PMT biasanya berupa : gas SF₆, banyak minyak (*bulk oil*), sedikit minyak (*small oil*), dan hampa udara (*vacuum*). Untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Prinsip Kerja PMT

Prinsip kerja PMT dimulai saat kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisi termis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron-elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda, elektron-elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi proses ionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

2.2.5.4 Sumber Arus Searah

Berupa baterai yang berfungsi untuk memberi suplai kepada *relay* dan rangkaian kontrol / proteksi. Batere harus mempunyai tegangan yang cukup untuk menghidupkan *relay* dan peralatan lainnya seperti tripping coil, *relay* bantu dan lain lain. Batere juga harus mempunyai kapasitas *ampere-hour* (Ah) yang cukup sehingga dalam hal tidak ada suplai dari *rectifier*, batere masih mampu bekerja beberapa saat^[8].

2.2.5.5 Pengawatan (*Wiring*)

Keseluruhan peralatan proteksi tersebut diatas harus dirangkai sehingga merupakan suatu sistem yang disebut *Fault Clearing System (FCS)*.

2.2.5.6 Sistem Komunikasi

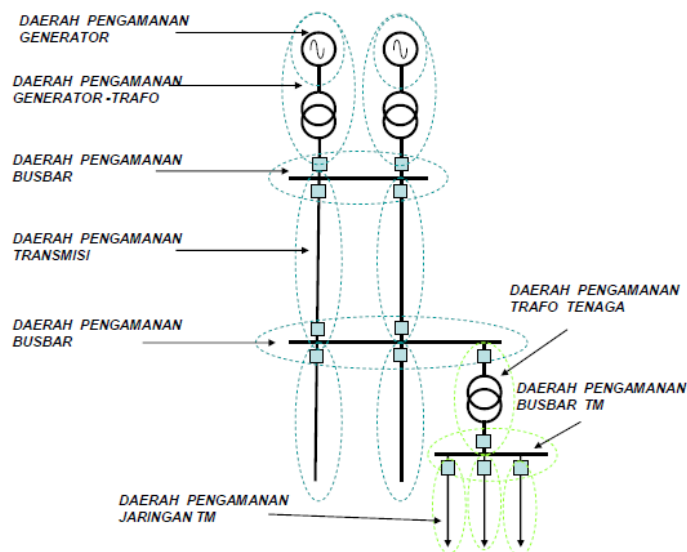
Dalam beberapa hal, agar sistem proteksi bisa berjalan sesuai dengan yang diperlukan, diperlukan koordinasi antar *relay* yang dapat dilaksanakan melalui media komunikasi. Media komunikasi yang lazim dipakai dalam sistem proteksi antara lain *pilot cable*, *fiber optic* dan *power line carrier (PLC)*^[8].

2.2.6 Persyaratan Kerja Sistem Proteksi

Agar bisa memberikan manfaat yang maksimum, suatu sistem proteksi harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Sensitif

Sistem harus bisa mendeteksi gangguan terkecil yang ada pada kawasan pengamanannya. Dengan sistem proteksi yang sensitif maka seluruh gangguan yang ada pada kawasan pengamanannya akan dilihat dan direspons. Kawasan pengamanannya adalah bagian dari sistem tenaga listrik dimana bila disitu ada gangguan, maka sistem proteksi yang terkait harus bekerja. Untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Kawasan Pengamanan

2. Selektif.

Suatu sistem proteksi dikatakan selektif apabila bisa memilih daerah yang terganggu saja yang dipisahkan. Pada prinsipnya sistem proteksi

hanya boleh bekerja bila ada gangguan pada kawasan pengamanannya. Bila gangguan terletak pada kawasan pengamanan utama maka proteksi harus bekerja cepat. Bila gangguan terjadi diluar kawasan pengamanannya maka sistem proteksi tidak boleh bekerja.

3. Cepat

Untuk mencapai manfaat yang maksimum , sistem proteksi harus bekerja cepat dalam memisahkan gangguan. Apabila pemisahan daerah yang terganggu tidak dilaksanakan dengan cepat maka kerusakan peralatan akan berlanjut. Untuk proteksi cadangan biasanya diberi tunda waktu untuk memberi kesempatan proteksi utama bekerja terlebih dulu, namun tunda waktu ini hanya seperlunya saja dan tidak boleh berlebihan.

4. Andal

Sistem proteksi harus setiap saat siap melaksanakan fungsinya dan tidak salah kerja. Keandalan pada prinsipnya mempunyai tiga aspek :

- 1) *Dependability*, yaitu tingkat kepastian bekerjanya. Proteksi yang mempunyai dependability tinggi dapat dipastikan selalu bekerja apabila kondisi mengharuskan bekerja.
- 2) *Security*, yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Proteksi yang mempunyai security tinggi menjamin untuk tidak salah kerja.
- 3) *Availability*, yaitu kesiapan beroperasinya. Angka availability menunjukkan perbandingan antara waktu dimana proteksi dalam keadaan siap dengan waktu total terpasangnya^[8].

2.2.7 *Overload Shedding*

Salah satu gangguan pada transformator daya ketika beroperasi yaitu gangguan beban lebih seperti pembebanan *feeder* yang semakin hari semakin bertambah, pengalihan beban feeder dari gardu hubung distribusi akibat gangguan dan pengalihan beban feeder akibat pemeliharaan transformator daya, akibatnya beban pada transformator daya bertambah semakin cepat sehingga beban sistem dapat mencapai harga yang melebihi harga yang seharusnya. Sehingga untuk mencegah kegagalan total sistem, maka perlu melepas sejumlah beban tertentu dari sistem (pemadaman). Setelah pelepasan sejumlah beban, diharapkan terjadi keseimbangan antara kapasitas transformator daya dan pembebanan transformator daya pada sistem gardu induk^[10].

Pada pelaksanaannya pelepasan beban dapat dilakukan dua cara, yaitu:

- 1) Pelepasan beban manual (*Manual Load Shedding*)
- 2) Pelepasan beban otomatis (*Automatic Load Shedding*)

Pelepasan beban dilakukan secara bertahap agar sistem tidak mengalami pelepasan beban yang terlalu besar atau pelepasan beban yang tidak diperlukan.

Overload Shedding (OLS) yang bekerja atas dasar arus, diset pada suatu harga setting arus dibawah arus nominalnya (I) dan kemudian akan memberikan perintah pemutus daya (PMT) untuk melaksanakan pelepasan beban feeder.

Karena beban lebih merupakan salah satu gangguan yang menyebabkan arus lebih maka setting *Overload Shedding* (OLS) akan dikoordinasikan dengan setting *Overcurrent relay* (OCR) pada *incoming* 20 kV dan *OCR* penyulang 20 kV.

Agar pada saat terjadi pemutusan PMT, tidak terjadi kesalahan waktu pemutusan dan indikasi relai yang kerja. Kriteria sistem proteksi dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kriteria sistem proteksi sesuai SPLN 52 83-1983

No	Jenis Proteksi	Kapasitas (MVA)		
		≤ 10	10 – 30	≥ 30
1	Relay Suhu	+	+	+
2	Relay Bucholz	+	+	+
3	Relay Jansen	+	+	+
4	Relay Tekanan Lebih	+	+	+
5	Relay Differensial	-	-	+
6	Relay Tangki Tanah	-	+	-
7	Relay Hubung Tanah Terbatas (REF)	-	-	+
8	Relay Beban Lebih (OLR)	-	+	+
9	Relay Arus Lebih (OCR)	+	+	+
10	Relay Hubung Tanah (GFR)	+	+	+
11	Pelebur (Fuse)	+	-	-

2.2.8 Manuver Jaringan Distribusi

Manuver merupakan kegiatan sebelum dan sesudah pekerjaan instalasi, baik pada instalasi pembangkitan maupun penyaluran. Kegiatan *manuver* berupa pembukaan atau penutupan komponen sistem tenaga listrik.^[11]

2.2.8.1 Kegiatan *Manuver Jaringan*

Kegiatan yang dilakukan dalam manuver adalah:

- 1) Memisahkan bagian – bagian jaringan yang semula terhubung dalam keadaan bertegangan atau tidak bertegangan.
- 2) Menghubungkan bagian – bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya dalam keadaan bertegangan atau tidak bertegangan.

Dalam sebuah operasi *manuver* dilakukan sebuah perubahan posisi jaringan dari kondisi tidak operasi (keluar dari sistem) ke kondisi operasi (masuk kedalam sistem) atau sebaliknya. Dalam manuver terjadi pembukaan dan penutupan peralatan – peralatan penghubung / *switching* seperti ABSW, FCO, LBS, dan PMT atau bentuk kegiatan lain dalam pemutusan atau penyambungan sirkuit serta pemasangan atau pelepasan sistem pentanahan / *Grounding local*.

2.2.8.2 Tujuan Pelaksanaan Manuver

Secara singkat tujuan dari manuver dalam instalasi ketenagalistrikan untuk:

- 1) Kebutuhan sistem.
- 2) Keamanan / keselamatan personil.
- 3) Mempersempit daerah padam atau meminimalisir daerah padam.
- 4) Mempercepat penormalan jaringan.

2.2.8.3 Pelaksana Manuver Jaringan

Pelaksana manuver jaringan distribusi biasanya dilakukan dalam rangka pemeliharaan jaringan, adanya gangguan, dan guna keandalan suatu wilayah atau

tempat. Petugas yang memberikan perintah manuver jaringan distribusi 20 kV yaitu:

- 1) *Dispatchcer* UP2D
- 2) *Dispatcher* Area
- 3) *Dispatcher* Unit / Rayon
- 4) Pengawas Lapangan
- 5) Petugas pelaksana / Petugas gangguan

2.2.8.4 Syarat-syarat Manuver Jaringan Distribusi 20kV

Syarat – syarat yang harus dipenuhi saat melakukan manuver jaringan distribusi adalah :

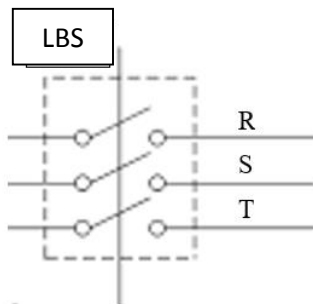
- 1) Tegangan dan frekuensi antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama, maksimal beda tegangan 0,5 kV.
- 2) Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
- 3) Urutan ketiga fasa antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama.
- 4) Peralatan manuver / switching harus dalam keadaan baik untuk beroperasi.
- 5) Frekuensi antara kedua penyulang yang akan dimanuver dalam keadaan sama.
- 6) Jaringan yang dimanuver harus dalam satu subsistem yang sama, apabila berbeda subsistem akan terjadi pemadaman sesaat.

- 7) Apabila kedua penyulang berasal dari transformator yang berbeda tegangannya maka harus dimintakan persamaan tegangan terlebih dahulu ke pihak UP2D atau Area atas permintaan Rayon.
- 8) Kapasitas daya trafo maksimal adalah setengah dari trafo yang akan diberi *dijoin*.

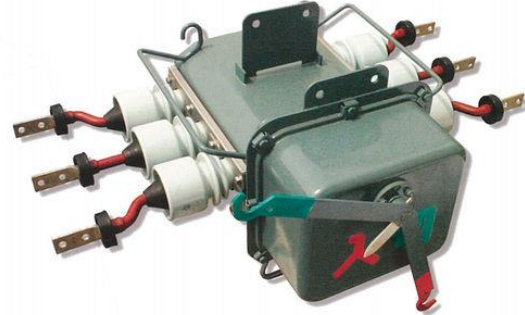
2.2.9 Load Break Switch

Load Break Switch (LBS) merupakan saklar pemutus beban yang disertai dengan peredam busur api (medium minyak, gas SF₆, *vacuum interrupter*, dll) terhadap beban besar yang dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban maupun tidak. Cara pengoperasian biasanya melalui suatu kotak panel kontrol yang terdapat di tombol sehingga pengoperasiannya lebih mudah dan aman. Tetapi, apabila panel kontrolnya tidak bisa maka dioperasikan dengan menggunakan *stick* untuk menarik tuas LBS. Biasanya setelah dimasukkan atau dilepas akan terdengar bunyi yang menandakan bahwa kondisi LBS telah berubah yakni dari NO (*normally open*) menjadi NC (*normally close*) maupun sebaliknya^[3]. LBS juga dapat dioperasikan secara remote melalui *dispatcher*.

LBS difungsikan untuk *manuver* beban ketika terjadi gangguan maupun adanya pekerjaan pemeliharaan PLN. Dengan difungsikannya LBS maka daerah yang berdampak karena gangguan maupun pekerjaan dapat teraliri listrik dari sumber yang berbeda. Single line LBS dapat dilihat pada gambar 2.16 dan Gambaran LBS secara fisik dapat dilihat di gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Single Line LBS



Gambar 2. 16 Load Break Switch

2.2.10 *Overload Shedding* Trafo *Incoming* 03 Gardu Induk Purwodadi

Overload Shedding pada trafo *incoming* dapat terjadi karena adanya arus yang mengalir pada trafo yang melebihi kapasitasnya yang mengakibatkan *Relay Overload Shedding* bekerja. *Setting* arus *relay overload shedding* tergantung kapasitas trafo yang terpasang. Berikut adalah spesifikasi trafo *incoming* 03 Gardu Induk Purwodadi :

Daya Terpasang : 30 MVA

Rasio Tegangan: 150kV/20kV

Kapasitas daya trafo digunakan untuk menentukan *setting* nilai arus *Overload Shedding* dengan mencari arus nominalnya. Berikut adalah formula untuk menghitung Daya Semu untuk trafo 3 phasa:

$$S = V \times I \times \sqrt{3}$$

Dari rumus tersebut, nilai arus nominal bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut

$$I = S / (V \times \sqrt{3})$$

Menghitung I_p (Arus nominal sisi *high voltage*)

$$I_p = S / (V \cdot \sqrt{3})$$

$$I_p = 30.000 \text{ kVA} / (150 \text{ kV} \cdot 1,732)$$

$$I_p = 115,5 \text{ A}$$

Menghitung I_s (Arus nominal sisi *low voltage*)

$$I_s = S / (V \cdot \sqrt{3})$$

$$I_s = 30.000 \text{ kVA} / (20 \text{ kV} \cdot 1,732)$$

$$I_s = 866 \text{ A}$$

Setting arus *Relay Overload Shedding* pada trafo *incoming* berdasar pada arus nominal pada sisi *low voltage*. Jadi, *relay overload shedding* akan bekerja jika arus yang melewati trafo *incoming* pada sisi *low voltage* melebihi 866A.

Pada keadaan normal trafo *incoming* 03 Gardu Induk Purwodadi mensupply PMT *outgoing* PWI 06, PWI 08 dan PWI 09 dengan total arus nominal maksimal 866 A. *Overload Shedding* dapat terjadi apabila ada gangguan di jaringan yang menyebabkan pemadaman. PLN melakukan penindakan dengan *maneuver* beban yang padam ke PMT *outgoing* yang disupply oleh trafo *incoming* 03 Gardu Induk Purwodadi, padahal sebenarnya keadaan trafo tersebut tidak mampu lagi mensupply beban. *Manuver* tersebut merupakan suatu kesalahan, karena *maneuver* tersebut

trafo *incoming* mensupply beban lebih dari 866 A dan menyebabkan *overload shedding*.

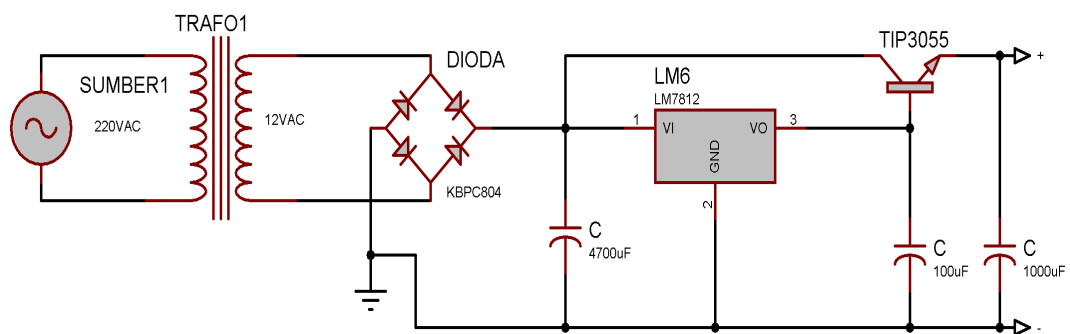
Saat terjadi *overload shedding* terjadi pada trafo *incoming*, *Relay Overload shedding* akan bekerja memerintahkan *trip* secara sengaja salah satu penyulang *outgoing*. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan mengurangi beban pada trafo *incoming* sehingga *overload shedding* dapat teratasi. *Setting PMT outgoing* yang sengaja diperintahkan untuk *trip* oleh *Relay Overload Shedding* mempertimbangkan prioritas pelanggan. Pelanggan premium ataupun objek-objek vital dihindarkan dari dampak *overload shedding*. Pada Gardu Induk Purwodadi, *Relay Overload Shedding* pada trafo *incoming* 03 Gardu Induk Purwodadi bekerja mentripkan *PMT Outgoing* 06

Akibat dari adanya pemadaman pada penyulang *PMT Outgoing* PWI 06, beban yang ada di *PMT Outgoing* PWI 06 dilimpahkan ke penyulang lain yang berbeda trafo *incoming*-nya. Untuk melimpahkan beban ke *PMT* lain, harus dipastikan kapasitas penyulang *outgoing* dan trafo *incoming* tertuju harus masih mampu mensupply beban pada *PMT* PWI 06 yang padam. Pelimpahan beban juga dapat dijoin dengan penyulang lain yang terhubung dengan memperhatikan syarat *manuver*. Setelah beban dimanuver maka kontinuitas tenaga listrik akan terpenuhi dan *overload shedding* sudah teratasi.

2.2.11 Power Supply

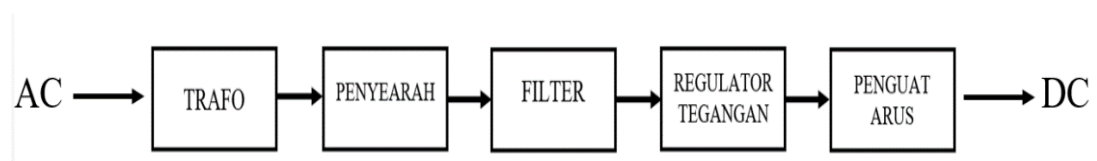
Catu daya atau sering disebut dengan *Power Supply* adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain yang

mempunyai *input* tegangan AC (*Alternating Current*) dan mempunyai *output* tegangan DC (*Direct Current*). Tegangan sumber AC awalnya ditransformasikan oleh transformator *step-down* menjadi tegangan AC dengan besaran yang lebih kecil. Kemudian tegangan *output* transformator yang masih berupa tegangan AC disearahkan oleh *rectifier* / dioda dengan penyearah gelombang penuh 4 dioda, setelah disearahkan tegangan *output rectifier* menjadi tegangan DC denyut yang masih harus difilter untuk menjadi tegangan DC murni. Kemudian untuk mendapat besaran tegangan yang dibutuhkan dan stabil digunakan *regulator* tegangan yang bekerja sesuai dengan tegangan referensinya. Dari serangkaian proses tersebut maka dihasilkan tegangan DC yang digunakan untuk *supply* perangkat elektronika^[12]. Rangkaian *power supply* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Rangkaian Power Suplly

2.2.10.1 Prinsip Kerja Power Supply

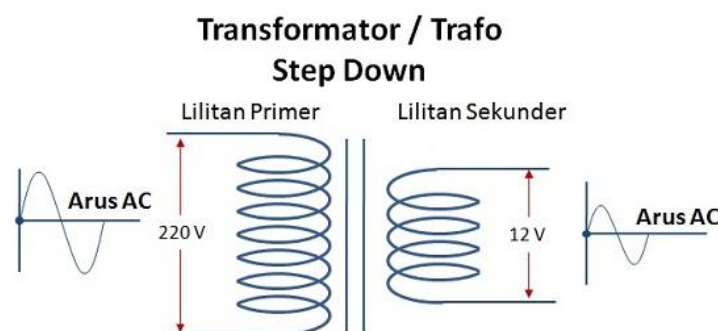


Gambar 2. 19 Diagran Blok DC Power Supply

Untuk mengubah bentuk gelombang dari sinyal AC ke DC diperlukan beberapa tahapan. Tahapan tersebut diantaranya tahap transformator (*step down* tegangan), penyearahan (*rectifier*), penyaringan (*filter*) dan tahap regulasi (*regulator*).

1. Transformator (Transformer/Trafo)

Trafo yang digunakan untuk DC Power supply adalah Transformer jenis *Stepdown* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan komponen Elektronika yang terdapat pada rangkaian adaptor (*DC Power Supply*). Transformator bekerja berdasarkan prinsip Induksi elektromagnetik yang terdiri dari 2 bagian utama yang berbentuk lilitan yaitu lilitan Primer dan lilitan Sekunder. Lilitan Primer merupakan Input dari pada Transformator sedangkan Output-nya adalah pada lilitan sekunder. Meskipun tegangan telah diturunkan, Output dari Transformator masih berbentuk arus bolak-balik (arus AC) yang harus diproses selanjutnya.^[13] Untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2. 20 Transformator^[13]

Prinsip kerja transformator menggunakan Hukum Induksi Faraday. Pada saat gelombang bolak-balik dititik nol, maka mengalirlah fluks magnet dalam inti trafo ke sisi sekunder sehingga belitan sekunder terinduksi dan menimbulkan tegangan induksi E_2 . Pada saat yang sama tegangan induksi primer merambah dari nol ke maksimum lagi, sehingga antara tegangan induksi primer dan sekunder berbeda 180° . Maka oleh Faraday, tegangan induksi dinyatakan negatif dari perubahan fluks yang mengakitkannya (timbul beda potensial).^[14]

Beda potensial menyebabkan timbulnya gaya gerak listrik (GGL). Nilai besar GGL dari sebuah transformator berbanding lurus dengan besar perubahan fluks pada saat terjadi induksi. Apabila sisi primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, sementara sisi sekunder transformator dalam keadaan tidak berbeban, maka di sisi primer akan mengalir arus yang disebut arus beban nol (I_0). Arus beban nol akan membangkitkan fluks bolak-balik pada inti besi transformator. Fluks bolak-balik tersebut dilingkupi oleh belitan primer dan belitan sekunder, sehingga pada kedua kumparan timbul gaya gerak listrik yang besarnya:

$$E_1 = 4,44 \cdot N_1 \cdot f_1 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-1)}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f_2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-2)}$$

$$\text{Sehingga, } E_1 E_2 = N_1 N_2$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor, maka perbandingan transformasi menjadi:

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-3)}$$

Trafo ideal ialah trafo yang mempunyai efisiensi sebesar 100%. Efisiensi sebesar 100% didapat apabila rugi-rugi pada trafo diabaikan sehingga trafo tersebut dianggap ideal. Pada trafo ideal mempunyai perbandingan daya primer dan daya sekunder yang sama yang lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.21, sehingga berlaku :

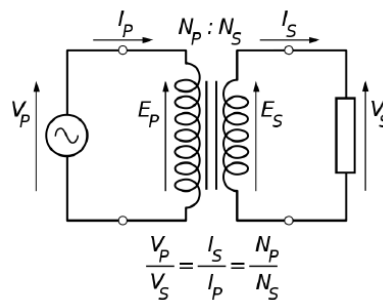
$$P_1 = P_2$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-4)}$$

Sehingga berlaku hubungan,

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-5)}$$



Gambar 2. 21 Hubungan Tegangan - Arus - Lilitan pada Trafo Ideal

2. Rectifier (Penyearah Gelombang)

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan bolak balik (AC) menjadi tegangan searah (DC).^[9]

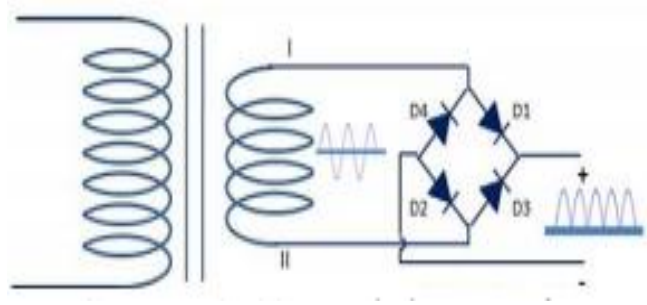
Menurut Zuhail dan Zhanggischan dalam buku *Prinsip Dasar Elektroteknik* dioda adalah suatu bahan semikonduktor (silikon) yang tersusun atas ‘pn junction’ dan didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan arus pada satu arah saja.^[9]

Terdapat 2 jenis rangkaian *Rectifier* dalam *Power Supply* yaitu “*Half Wave Rectifier*” yang hanya terdiri dari 1 komponen Dioda dan “*Full Wave Rectifier*” yang terdiri dari 2 atau 4 komponen dioda^[13]. Rangkaian *Full Wave Rectifier* dapat dilihat pada gambar 2.23.

Penyearah Gelombang menggunakan Dioda sebagai Komponen Utamanya. Hal ini dikarenakan Dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah Dioda dialiri arus Bolak-balik (AC), maka Dioda tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir, seperti pada gambar 2.22.

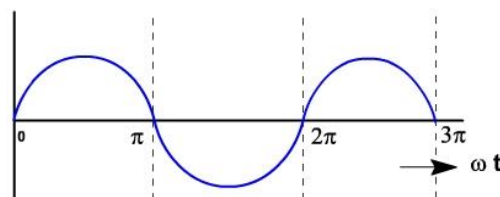


Gambar 2. 22 Prinsip Kerja Dioda^[13]

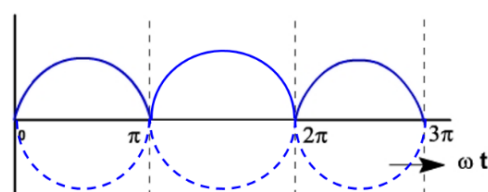


Gambar 2. 23 Full Wave Rectifier^[13]

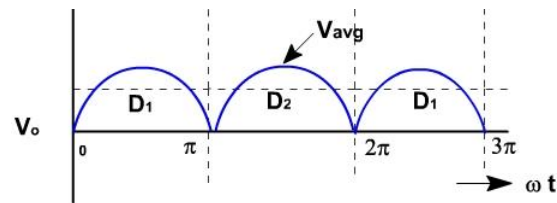
Rangkaian penyearah terdiri dari dioda *bridge*, yaitu empat buah dioda yang dirangkai membentuk sebuah jembatan seperti pada gambar 2.23. Dioda *bridge* digunakan sebagai penyearah arus bolak-balik satu gelombang penuh. Owen Bishop (2002) menyatakan bahwa selama setengah siklus positif, dioda D1 dan dioda D2 diberi bias maju, sehingga keduanya menghantarkan arus. Sementara dioda D3 dan dioda D4 diberi bias mundur sehingga keduanya tidak menghantarkan arus. Untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.24, 2.25 dan 2.26.



Gambar 2. 24 Gelombang AC input



Gambar 2. 25 Siklus Gelombang Rectifier



Gambar 2. 26 Gelombang Output Rectifier

Input dari rangkaian *rectifier* adalah gelombang AC. Output dari rangkaian *rectifier* adalah gelombang DC Denyut

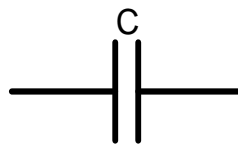
3. Filter (Penyaring)

Rangkaian *filter* merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengurangi faktor *ripple* yang terjadi pada suatu rangkaian penyearah.

Komponen yang digunakan pada umumnya adalah:

- 1) Kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada terminal *output* penyearah
- 2) Induktor yang dihubungkan secara seri pada penyearah^[9]

Pada pembuatan rangkaian catu daya kali ini, filter menggunakan kapasitor yang dihubungkan secara paralel dengan *output* penyearah. Gambar 2.27 merupakan symbol kapasitor dan gambar 2.28 merupakan bentuk fisik kapasitor.



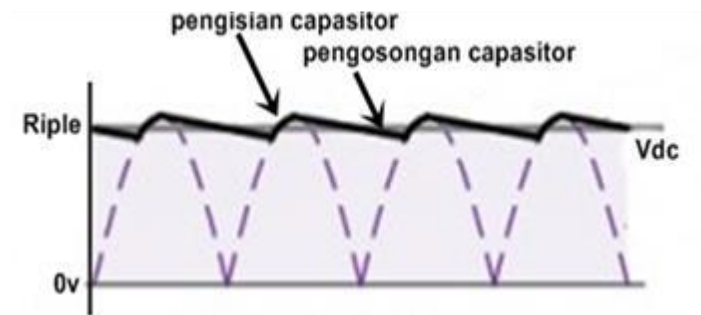
Gambar 2. 27 Simbol Kapasitor



Gambar 2. 28 Bentuk Fisik Kapasitor

Tujuan dari penyearahan adalah memperoleh arus searah. Dalam penyearah, kita tidak memperoleh arus searah murni melainkan arus searah yang berubah secara periodik, jadi arus searah ini mengandung komponen arus bolak-balik. Variasi tegangan ini disebut riak/*ripple* tegangan. Riak tegangan pada penyearah gelombang penuh lebih kecil dari riak tegangan pada penyearah setengah gelombang. Untuk lebih memperkecil riak tegangan ini digunakan filter yang bertugas untuk meloloskan komponen searah dan mencegah komponen bolak-balik.

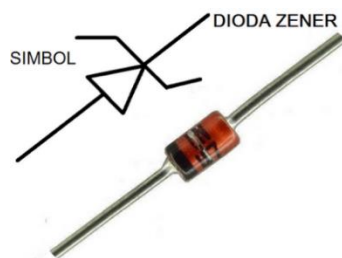
Kapasitor memiliki kemampuan untuk pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*). Kemampuan ini yang membuat kapasitor bisa berfungsi untuk mengurangi *ripple* pada arus listrik. Ketika gelombang mengalami penurunan nilai, maka kapasitor akan melakukan *discharge* sehingga bentuk gelombang mengalami kestabilan atau lurus. Semakin besar nilai kapasitansi suatu kapasitor maka itu semakin baik hasilnya^[13]. Untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.29.



Gambar 2. 29 Charging dan Discharging Kapasitor^[13]

4. *Voltage Regulator* (Pengatur Tegangan)

Untuk menghasilkan Tegangan dan Arus DC (arus searah) yang tetap dan stabil, diperlukan *Voltage Regulator* yang berfungsi untuk mengatur tegangan sehingga tegangan *Output* tidak dipengaruhi oleh suhu, arus beban dan juga tegangan input yang berasal *Output Filter*. *Voltage Regulator* pada umumnya terdiri dari Dioda Zener, Transistor atau *IC (Integrated Circuit)*. Gambar 2.30 merupakan gambar fisik diode zeener

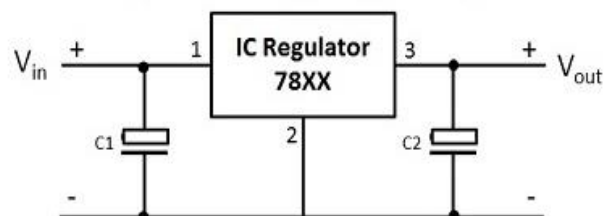


Gambar 2. 30 Dioda Zeener

Komponen elektronika yang digunakan sebagai regulator tegangan adalah 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

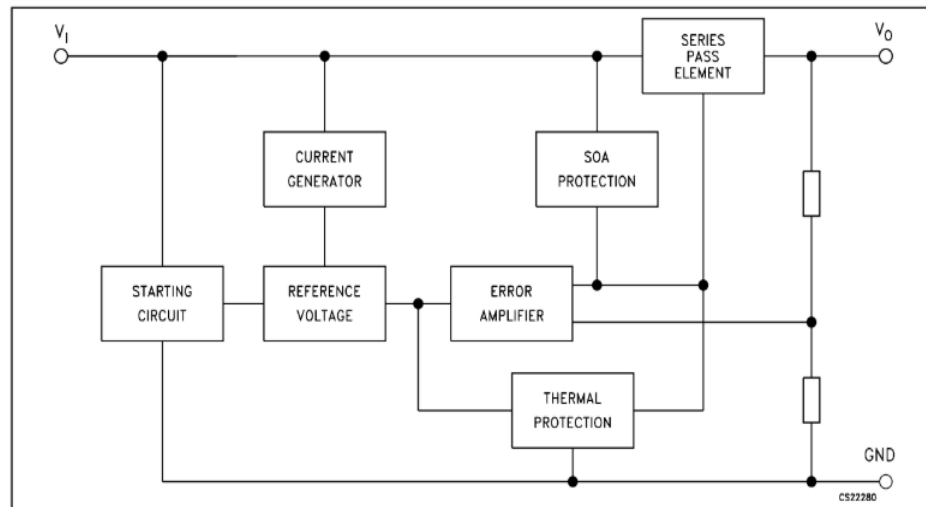
besar dari tegangan referensi dioda tersebut. Dioda zener akan memberikan tegangan *output* yang relatif tetap sesuai dengan tegangan referensi zener tersebut. Namun ketika tegangan yang melewati dioda zener sudah melewati batas toleransi yang diijinkan dari referensi, maka dioda zener sudah tidak mampu lagi menahan tegangan tersebut. Akibatnya, kondisi dioda zener akan mengalami kerusakan.

Pada *DC Power Supply* yang canggih, biasanya *Voltage Regulator* juga dilengkapi dengan *Short Circuit Protection* (perlindungan atas hubung singkat), *Current Limiting* (Pembatas Arus) ataupun *Over Voltage Protection* (perlindungan atas kelebihan tegangan). Perangkaian *Voltage Regulator 78xx* dapat dilihat pada gambar 2.31.



Gambar 2. 31 Voltage Regulator 78xx^[13]

IC 78xx adalah rangkaian regulator tegangan yang sudah dikemas dalam bentuk rangkaian yang terintegrasi. Seri 78xx adalah seri untuk tegangan positif. Besar tegangan output IC 78xx dinyatakan pada dua angka terakhir serinya. Blok diagram IC 78xx dapat dilihat pada gambar 2.32.



Gambar 2. 32 Diagram Blok IC 78XX

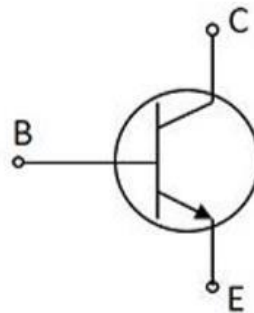
Pada diagram blok IC 78XX, reference voltage merupakan tempat dimana dioda zeener menjalankan fungsinya. Tabel 2.1 merupakan spesifikasi dari beberapa IC LM 78xx.

Tabel 2. 1 Tipe IC78xx

Tipe Regulator	V_{IN} min	V_{IN} maks	I_{OUT} min	I_{OUT} maks	Regulation Voltage
7805	7 V	25 V	5 mA	1 A	+5 V
7812	14,5 V	30 V	5 mA	1 A	+12 V
7824	27 V	38 V	5 mA	1 A	+24 V

Komponen IC regulator IC 78xx hanya bisa dilewati arus maksimal 1 Ampere. Besaran output arus dapat ditingkatkan dengan penambahan transistor NPN, dapat dilihat pada gambar 2.33. Digunakannya transistor NPN karena tegangan output dari IC 78xx

adalah tegangan positif. Transistor yang digunakan adalah transistor 3055.



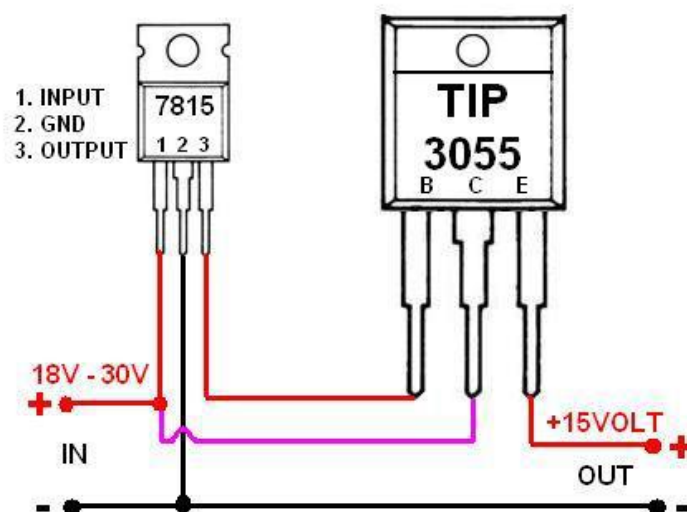
Symbol of
NPN transistor

Gambar 2. 33 Transistor NPN

Transistor adalah komponen aktif dengan arus, tegangan atau daya keluarannya dikendalikan oleh arus masukan. Ada dua jenis transistor yaitu transistor sambungan bipolar (*bipolar junction transistor*, BJT) dan transistor efek medan (*field effect transistor*, FET). Transistor adalah komponen tiga terminal. Ketiga terminal tersebut Basis (B), Emitor (E), dan Kolektor (C).^[15]

Terdapat dua tipe transistor yaitu tipe pnp dan tipe npn. Perbedaannya adalah transistor tipe npn mengalirkan arus dari kolektor ke emitor jika basisnya dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan tipe pnp mengalirkan arus dari emitter ke kolektor jika basisnya dihubungkan dengan *ground*. Transistor TIP 3055 adalah transistor tipe npn jenis BJT.

BJT (*Bipolar Junction Transistor*) dapat dibayangkan sebagai dua *diode* yang terminal positif atau negatifnya berdempet. Sehingga akan ada tiga terminal yaitu emitter (E), kolektor (C), basis (B). Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Gambar 2.34 merupakan rangkaian penguat arus menggunakan TIP 3055.



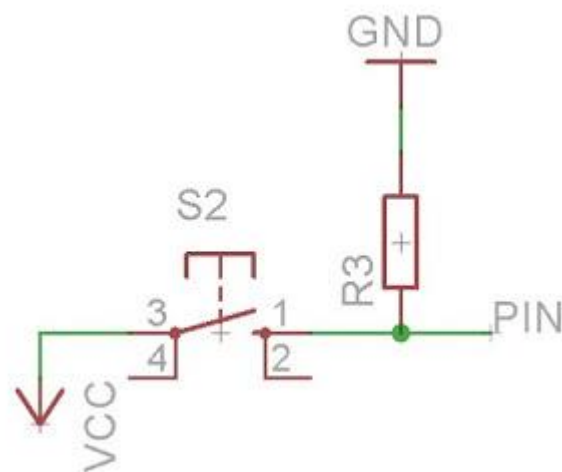
Gambar 2. 34 Rangkaian Penguat Arus

Dengan penambahan transistor luar, maka sebagian besar dari arus akan dilewatkan pada transistor ini, sehingga *IC regulator* tegangan hanya berfungsi sebagai pengontrol tegangan saja dan transistor berfungsi sebagai penguat arus.

2.2.12 Pull Down

Dalam rangkaian digital dikenal sinyal “*high*” dan “*low*” atau “1” dan “0”. Pada umumnya rangkaian digital memiliki sumber tegangan (VCC) sebesar 5 volt

atau 3,3 volt. Pada rangkaian digital 5 volt sinyal “*high*” adalah 5 volt dan sinyal “*low*” adalah 0 volt, sedangkan pada rangkaian digital 3,3 volt sinyal “*high*” adalah 3,3 volt dan sinyal “*low*” adalah 0 volt. Tentunya sinyal “*high*” tidak harus persis 5 volt atau 3,3 volt, tergantung dari toleransi rangkaian dan *IC (Integrated Circuit)* yang digunakan. Pada suatu rangkaian digital, ketika menggunakan suatu switch, *push button*, sebagai data *input* ke *microcontroller* terkadang terjadi masalah nilai tidak terbaca. Nilai input tersebut mengambang (*float state*) antara *high* dan *low*. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat digunakan resistor *pull-up* atau *pull-down*.^[16] Gambar 2.35 merupakan rangkaian pull-down.

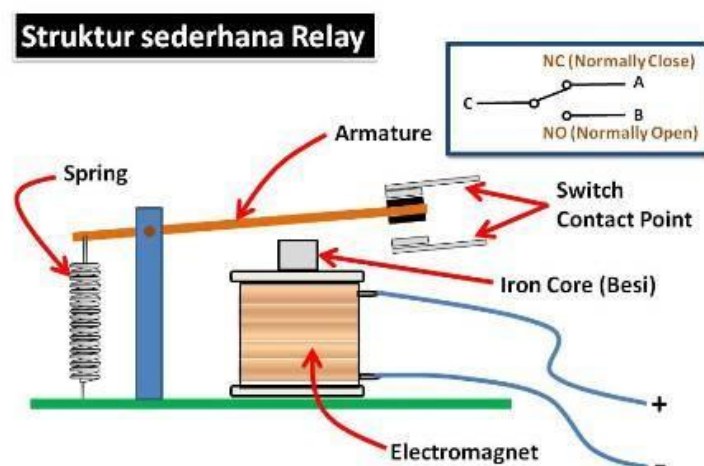


Gambar 2. 35 Rangkaian Pull Down

Rangkaian *Pull Down* memberikan logika yaitu logika *Low* / logika 0 di keadaan normalnya.. Maka, jika *Push button* di tekan, mikrokontroler akan menerima logika *High* / logika 1.

2.2.13 Relay 24 V DC

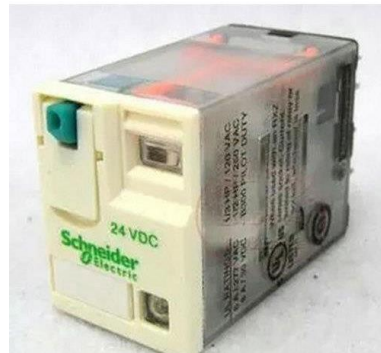
Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *Electromechanical* (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi^[17]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.36.



Gambar 2. 36 Prinsip Kerja Relay

Berdasarkan gambar diatas, *iron core*(besi) yang dililitkan oleh kumparan *coil* berfungsi untuk mengendalikan *iron core* tersebut. Ketika kumparan *coil* di berikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet sehingga akan menarik Armature berpindah posisi yang awalnya NC(tertutup) ke posisi NO(terbuka) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi NO. Posisi Armature yang tadinya dalam kondisi *close* akan menjadi *open*. Armature akan

kembali keposisi *close* saat tidak dialiri listrik. *Coil* yang digunakan untuk menarik *Contact Point* ke posisi *close* umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil. Gambar 2.37 merupakan gambar fisik relay.



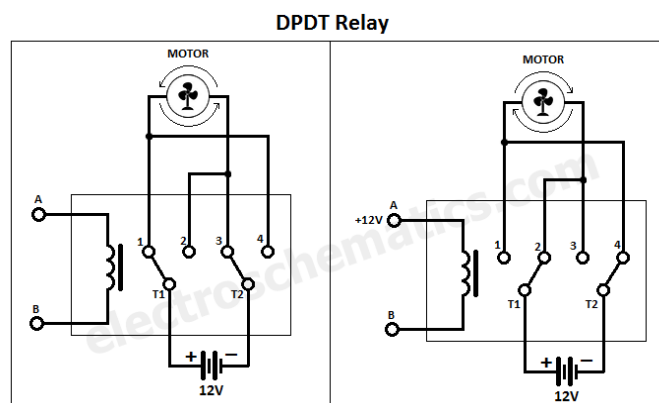
Gambar 2. 37 Relay DPDT 24 VDC

Karena *Relay* merupakan salah satu jenis dari Saklar, maka istilah *Pole* dan *Throw* yang dipakai dalam Saklar juga berlaku pada *Relay*. Berikut ini adalah penjelasan singkat mengenai Istilah *Pole* and *Throw* :

Pole : Banyaknya Kontak (*Contact*) yang dimiliki oleh sebuah relay

Throw : Banyaknya kondisi yang dimiliki oleh sebuah Kontak (*Contact*)

Relay DPDT dapat dilihat *schematicnya* pada gambar 2.38.



Gambar 2. 38 Schematic DPDT Relay

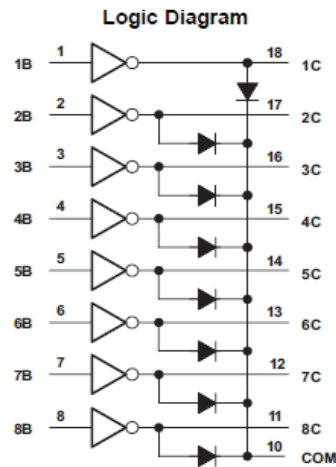
Relay golongan *Double Pole Double Throw (DPDT)* memiliki Terminal sebanyak 8 Terminal, diantaranya 6 Terminal yang merupakan 2 pasang Relay *Single Pole Double Throw (SPDT)* yang dikendalikan oleh 1 (single) *Coil*. Sedangkan 2 Terminal lainnya untuk *Coil*.

2.2.14 Driver Relay IC 2803

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. Transistor *Darlington* yang ada dalam IC ULN 2803 merupakan penggabungan dari dua buah transistor bipolar. Keuntungan transistor *Darlington* yakni mempunyai impedansi *input* tinggi dan impedansi *output* rendah.^[18]

Pada umumnya, pemakaian komponen transistor pada rangkaian elektronika dibagai menjadi dua klasifikasi yaitu sebagai *switching* dan sebagai penguat.^[9] IC ULN 2803 memanfaatkan fungsi transistor yang bisa digunakan sebagai komponen *switching* elektronis.

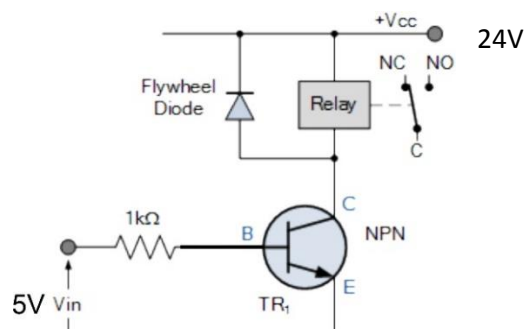
Secara fisik ULN2803 adalah konfigurasi IC 18-pin dan berisi delapan transistor *Darlington npn*. Pins 1-8 menerima sinyal tingkat rendah, pin 9 sebagai *ground*, pin 10 adalah COM, pin 11-18 adalah *output*. Gambar 2.39 adalah logic diagram IC ULN 2803.



Gambar 2. 39 Logic Diagram IC ULN 2803

Transistor Sebagai saklar adalah salah satu fungsi dari transistor itu sendiri. Sifat saturasi dan cut off pada transistor membuatnya memiliki karatersistik sebagai *switch electric*. Ketika Transistor berada dalam kondisi saturasi maka tegangan dari Collector akan di lewatkan ke Emitter, Namun sebaliknya, jika Transistor berada dalam kondisi *cut off* maka Tegangan tidak akan di lewatkan dari dari collector ke emitter. Pemicu kondisi transistor berada pada kondisi saturasi maupun cut off di tentukan oleh trigger pada kaki basis Transistor.

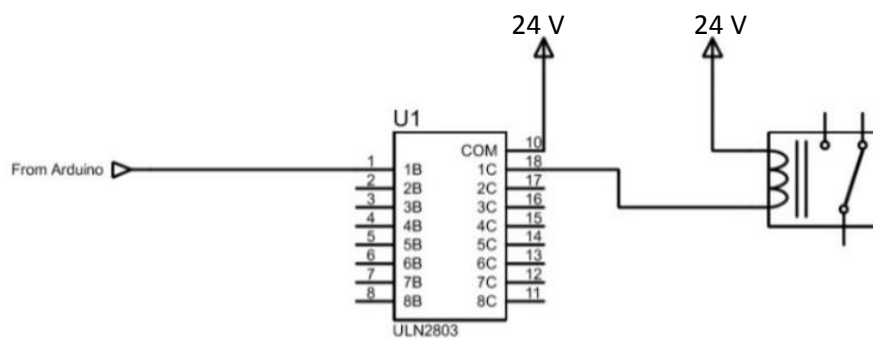
Pada transistor NPN, kondisi saturasi ketika pada basis ada tegangan, dan sebalik nya, jika tidak ada tegangan maka transistor akan berada pada kondisi cut – off. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.40.



Gambar 2. 40 NPN Relay Switch Circuit

Pada gambar 2.40 terdapat sebuah dioda, *flywheel diode*, atau dapat disebut *freewheeling diode*. Barmawi, Malvino (1987:33) menyatakan bahwa dalam banyak rangkaian, khususnya pada rangkaian penyearah dipasang dioda yang paralel dengan beban. Dioda yang dipasang demikian disebut dengan "freewheeling dioda" atau sering juga disebut "bypass dioda". Fungsi dari dioda *freewheeling* adalah untuk melakukan komutasi atau transfer arus beban ke dioda *freewheeling* pada saat tegangan beban berubah polaritasnya dari positif ke negatif. *Freewheeling* dioda mempunyai dua fungsi yaitu, menghindari perubahan polaritas dari tegangan beban dan mentransfer arus beban.

IC ULN 2803 dapat digunakan untuk *Driver Relay* yang berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dengan *relay*. Penggunaan *driver relay* ini dikarenakan tegangan *output* mikrokontroler sebesar 5V, sedangkan untuk mengaktifkan *relay* dibutuhkan tegangan 24V. Untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.41.



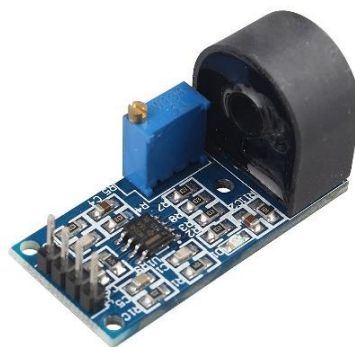
Gambar 2. 41 Skematik Rangkaian Driver Relay

2.2.15 Sensor Arus ZMCT 103C

Sensor Arus ZMCT103C adalah module yang digunakan untuk mengukur arus tegangan AC 1 Fasa. Sensor arus ZMCT103C dilengkapi dengan trafo arus berbentuk *ring-core* rasio 1000:1 serta keluaran arus maksimal sebesar 5mA. Trafo arus pada sensor arus ZMCT 103C digunakan untuk melakukan penginderaan besaran arus pada jaringan yang dibuat dengan mentransformasikan besar arus yang melewati jaringan secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran. Adapun kelebihanannya di antaranya dimensi kecil, akurasi tinggi, mampu mengukur sampai dengan 5A dan keluaran yang proporsional berupa arus AC^[19].

Berikut ini adalah spesifikasi dari sensor arus ZMCT 103C :

- 1) Dapat mengukur arus AC kurang dari 5A
- 2) Rated input 5A
- 3) Rated output 5mA
- 4) Papan ukuran 18.3x17 (mm)
- 5) Menggunakan isolasi tegangan 3000 V
- 6) Bahan sealing : epoxy resin
- 7) Suhu operasi : -40 °C - 70 °C

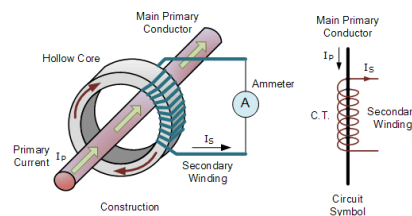


Gambar 2. 42 Module Sensor ZMCT 103 C

Gambar 2.42 merupakan gambar fisik sensor Arus ZMCT103C. ZMCT103C sendiri terdiri dari trafo arus yang berbentuk *ring-core* yang berwarna hitam dan rangkaian pengkondisi sinyal dengan IC LM358.

2.2.14.1 Trafo Arus

Trafo Arus yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus di sisi primer dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran. Trafo arus pada ZMCT dapat dilihat pada gambar 2.43.

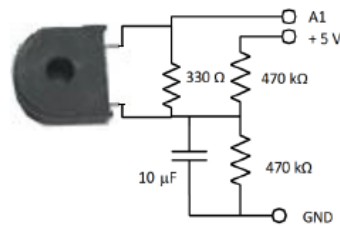


Gambar 2. 44 Prinsip Kerja Trafo Arus



Gambar 2. 43 ZM CT 103C

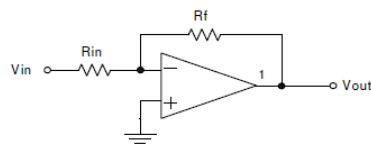
Dapat dilihat pada gambar 2.44 Prinsip kerja trafo arus bila pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan timbul gaya gerak magnet sebesar $I_1 N_1$. Gaya gerak ini memproduksi fluks pada inti, dan fluks ini membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Bila terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_1 . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $I_2 N_2$ pada kumparan sekunder.^[20] Rangkaian Trafo Arus ZMCT dapat dilihat pada gambar 2.45.



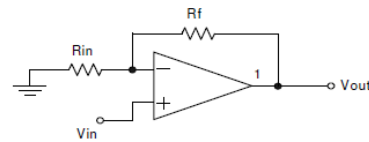
Gambar 2. 45 Rangkaian Trafo Arus ZMCT^[21]

2.2.14.2 Penguat Operasional

Penguat operasional atau op-amp adalah rangkaian elektronik yang dirancang dan dikemas secara khusus sehingga dengan menambahkan komponen luar sedikit saja dapat dipakai untuk berbagai keperluan. Dalam penulisan ini op-amp digunakan sebagai penguat tegangan dari sensor^[21]. Pada dasarnya ada dua macam penguatan yaitu *inverting* yang dapat dilihat pada gambar 2.47 dan *non-inverting* yang dapat dilihat pada gambar 2.46.

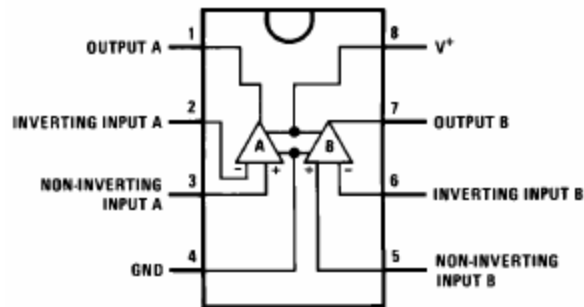


Gambar 2. 47 Rangkaian Penguat Inverting



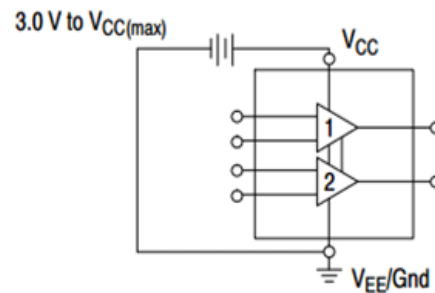
Gambar 2. 46 Rangkaian Penguat Non Inverting

Pada rangkain mosule sensor ZMCT 103C menggunakan IC LM358 sebagai penguat masukan dari sensor, fungsi rangkaian penguat adalah untuk memperbesar masukan dari sensor ke rangkaian ADC. Gambar 2.48 merupakan konfigurasi pin dari LM 358.



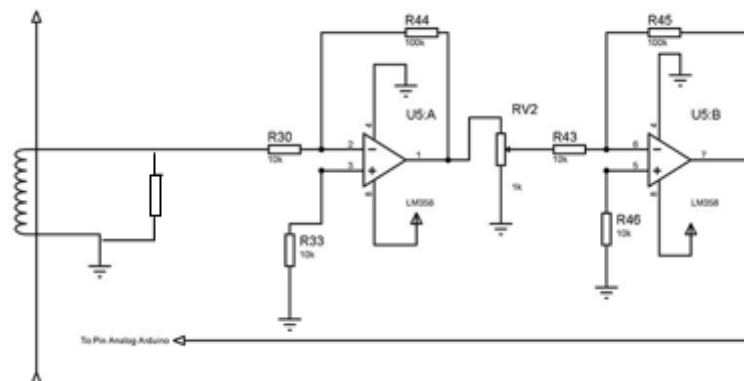
Gambar 2. 48 Konfigurasi Pin LM 358

Penguat LM358 mempunyai 2 rangkaian penguatan. Amplifier ini mempunyai beberapa keuntungan diatas tipe amplifier standar dalam mode *single supply* yang dapat dilihat pada gambar 2.49. Dapat beroperasi pada voltase daya 3V sampai 32V. Mode masukan daya (*supply*) ini termasuk *negative supply*, dengan demikian menghilangkan eksternal bias dari komponen pada banyak aplikasi.



Gambar 2. 49 Konfigurasi single supply

Gambar 2.50 merupakan rangkaian *schematic* modul LM 358 pada modul sensor ZMCT 103C.



Gambar 2. 50 Rangkaian Skematik Modul LM 358

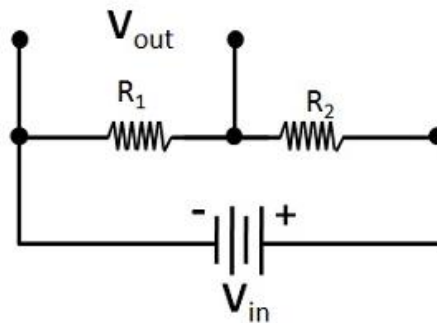
2.2.16 Pembagi Tegangan

Voltage Divider atau Pembagi Tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi dari Pembagi Tegangan ini di Rangkaian Elektronika adalah untuk membagi Tegangan *Input* menjadi satu atau beberapa Tegangan *Output* yang diperlukan oleh Komponen lainnya didalam Rangkaian. Hanya dengan menggunakan dua buah Resistor atau lebih dan Tegangan *Input*, kita telah mampu membuat sebuah rangkaian pembagi tegangan yang sederhana^[22].

Aturan Pembagi Tegangan sangat sederhana, yaitu Tegangan Input dibagi secara proporsional sesuai dengan nilai resistansi dua resistor yang dirangkai Seri.

$$V_{out} = V_{in} \times (R_1 / (R_1 + R_2))$$

Gambar 2.51 merupakan rangkaian pembagi tegangan dengan dua resistor.



Gambar 2. 51 Rangkaian Pembagi Tegangan^[22]

2.2.17 Arduino Mega 2560

Board Arduino Mega 2560 adalah sebuah Board Arduino yang menggunakan IC Mikrokontroler ATmega 2560. Board ini memiliki Pin I/O yang relatif banyak, 54 digital Input / Output, 15 buah di antaranya dapat di gunakan sebagai *output* PWM, 16 buah analog *Input*, 4 UART. Arduino Mega 2560 di lengkapi kristal 16. Mhz Untuk penggunaan relatif sederhana tinggal menghubungkan power dari USB ke PC / Laptop atau melalui Jack DC pakai adaptor 7-12 V DC^[23].

Untuk lebih jelasnya dapat di lihat dari spesifikasi Arduino Mega 2560 pada table

2.2 :

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduinno Mega 2560

<i>Mikrokontroler</i>	ATmega2560
<i>Tegangan Operasional</i>	5V
<i>Tegangan Input (rekomendasi)</i>	7-12V
<i>Tegangan Input (limit)</i>	6-20V
<i>Pin Digital I/O</i>	54 (of which 15 provide PWM output)
<i>Pin Analog Input</i>	16
<i>Arus DC per Pin I/O</i>	20 mA
<i>Arus DC untuk Pin 3.3 V</i>	50 mA

<i>Memori Flash</i>	<i>256 KB of which 8 KB used by bootloader</i>
<i>SRAM</i>	<i>8 KB</i>
<i>EEPROM</i>	<i>4 KB</i>
<i>Clock Speed</i>	<i>16 MHz</i>
<i>LED_BUILTIN</i>	<i>13</i>
<i>Panjang</i>	<i>101.52 mm</i>
<i>Lebar</i>	<i>53.3 mm</i>
<i>Berat</i>	<i>37 g</i>



Gambar 2. 52 Arduino Mega 2560

Gambar fisik Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada gambar 2.52. Pin digital Arduino Mega2560 ada 54 Pin yang dapat di gunakan sebagai Input atau Output dan 16 Pin Analog berlabel A0 sampai A15 sebagai ADC, setiap Pin Analog memiliki resolusi sebesar 10 bit. Arduino Mega 2560 di lengkapi dengan pin dengan fungsi khusus, sebagai berikut :

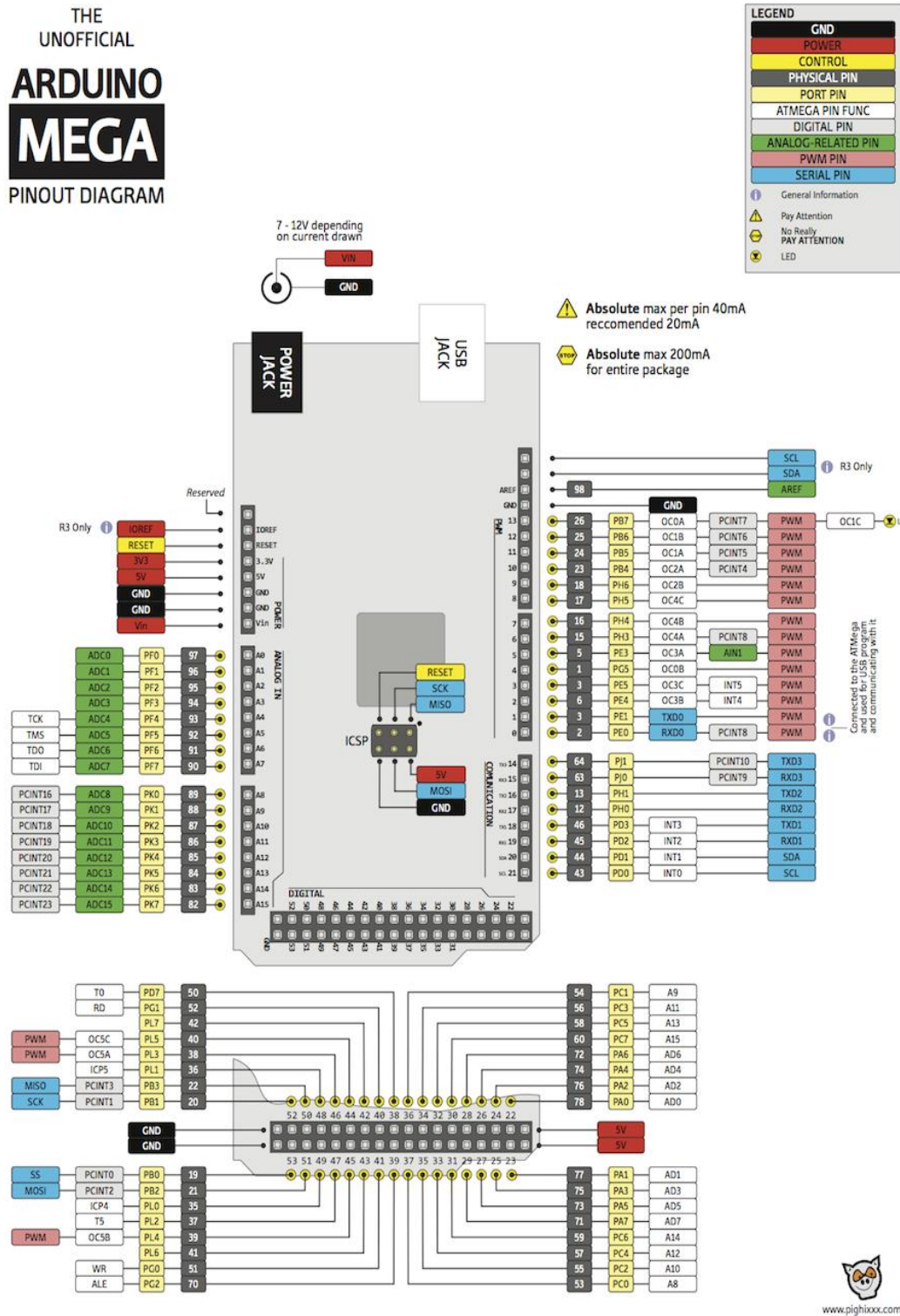
- 1) **Serial 4 buah** : Port Serial : Pin 0 (RX) dan Pin 1 (TX) ;Port Serial 1 : Pin 19 (RX) dan Pin 18 (TX); Port Serial 2 : Pin 17 (RX) dan Pin 16 (TX); Port Serial 3 : Pin 15 (RX) dan Pin 14 (TX). Pin Rx di

gunakan untuk menerima data serial TTL dan Pin (Tx) untuk mengirim data serial TTL

- 2) **External Interrupts 6 buah** : 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)
- 3) **PWM 15 buah** : 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 dan 44,45,46 pin-pin tersebut dapat di gunakan sebagai Output PWM 8 bit
- 4) **SPI** : Pin 50 (MISO), Pin 51 (MOSI), Pin 52 (SCK), Pin 53 (SS) ,Di gunakan untuk komunikasi SPI menggunakan SPI Library
- 5) **I2C** : Pin 20 (SDA) dan Pin 21 (SCL) , Komunikasi I2C menggunakan wire library
- 6) **LED** : 13. Buit-in LED terhubung dengan Pin Digital 13

Untuk lebih jelasnya bisa dilihat gambar *pin out* Arduino Mega 2560 pada gambar 2.53.

THE UNOFFICIAL
ARDUINO MEGA
PINOUT DIAGRAM



Gambar 2. 53 Arduino Mega Pinout

2.2.18 Ethernet Shield

Guna menghubungkan VT Scada dengan alat simulator , maka membutuhkan Ethernet Shield agar dapat menampilkan arus dan tegangan bahkan kontrol secara *remote* untuk mematikan atau menyalakan *relay*.

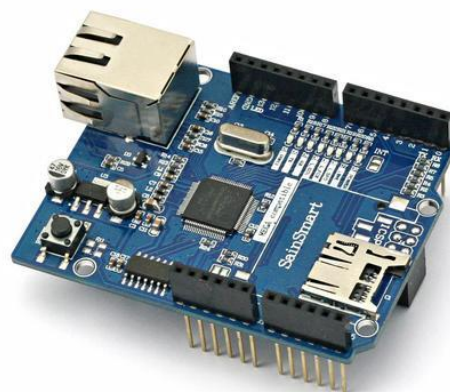
Ethernet Shield adalah modul yang digunakan untuk mengkoneksikan Arduino dengan internet menggunakan kabel (Wired). *Arduino Ethernet Shield* dibuat berdasarkan pada *Wiznet W5100 ethernet chip*. *Wiznet W5100* menyediakan IP untuk TCP dan UDP, yang mendukung hingga 4 socket secara simultan. Untuk menggunakannya 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*^[24].

Ethernet Shield bekerja dengan cara memberikan layanan IP pada arduino dan pc agar dapat terhubung ke internet. Cara menggunakan cukup mudah yaitu hanya dengan menghubungkan Arduino Ethernet Shield dengan board Arduino lalu akan disambungkan ke jaringan internet. Cukup memasukkan *module* ini ke board Arduino, lalu menghubungkannya ke jaringan ineternet dengan kabel RJ-45, maka Arduino akan terkoneksi langsung ke internet. Dan untuk menggunakannya, tentu saja kita harus menyetting IP pada module dan pc internet agar dapat terhubung satu sama lain.

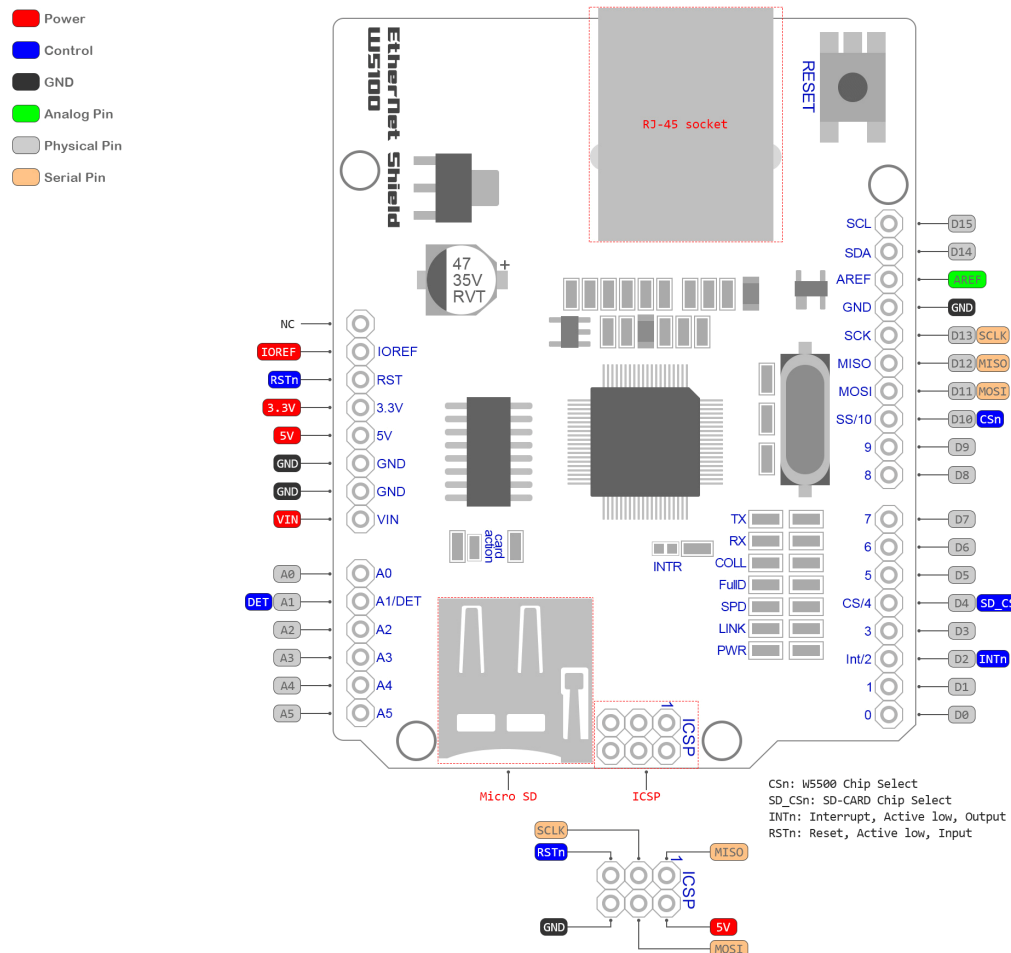
Selain itu *module* ini juga terdapat sebuah onboard micro-SD slot, yang dapat digunakan untuk menyimpan file dan data. Module Ethernet Shield bisa digunakan dengan board Arduino Uno dan Mega. Dan dapat bekerja dengan baik

pada kedua Arduino tersebut. Untuk menggunakan akses microSD card reader onboard ini dapat dengan menggunakan *library* SD card. Saat menggunakan *library* ini, SS ditempatkan pada Pin 4. Module Ethernet juga terdapat pula reset controller, untuk memastikan bahwa *module* W5100 Ethernet dapat reset on power-up.

Agar board Arduino dapat berkomunikasi baik dengan *module* W5100 dan SD card menggunakan SPI bus melalui ICSP *header*, yang ada pada *board* Arduino Uno di pin digital 10, 11, 12, dan 13, sedangkan pada *board* Arduino Mega pada pin digital 50, 51, dan 52. Di kedua board Arduino tersebut, pin digital 10 digunakan untuk memilih mode W5100 dan pin digital 4 untuk SD card, dimana pin tersebut tidak dapat digunakan untuk pin I/O biasa. Dalam board Arduino Mega, pin digital 53 (SS) tidak digunakan sama sekali, baik untuk memilih antara *module* W5100 atau SD card, namun harus tetap ditetapkan sebagai output agar interface SPI dapat bekerja dengan baik. Gambar fisik Ethernet Shield dapat dilihat pada gambar 2.54. *Pin out* Ethernet Shield dapat dilihat pada gambar 2.55.



Gambar 2. 54 Ethernet Shield

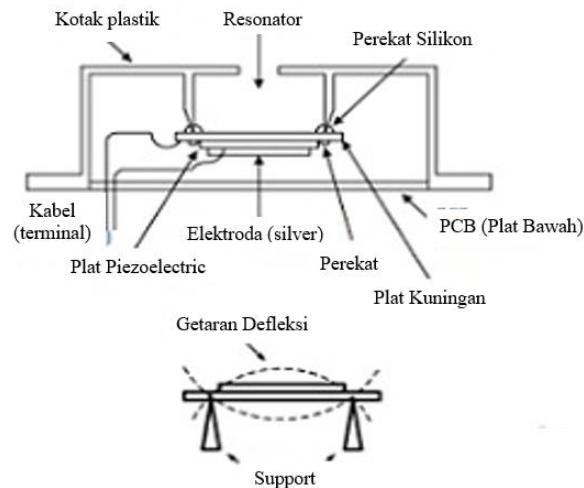


Gambar 2. 55 Ethernet Shield *Pin Out*

2.2.19 Buzzer

Buzzer Listrik adalah sebuah komponen elektronika yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Pada umumnya, *Buzzer* yang merupakan sebuah perangkat audio ini sering digunakan pada rangkaian anti-maling, Alarm pada Jam Tangan, Bel Rumah, peringatan mundur pada Truk dan perangkat peringatan bahaya lainnya. Jenis *Buzzer* yang sering ditemukan dan digunakan adalah *Buzzer* yang berjenis Piezoelectric, hal ini dikarenakan *Buzzer* Piezoelectric memiliki berbagai kelebihan seperti lebih murah, relatif lebih ringan dan lebih

mudah dalam menggabungkannya ke Rangkaian Elektronika lainnya. Buzzer yang termasuk dalam keluarga Transduser ini juga sering disebut dengan Beeper^[25]. Struktur *buzzer* dapat dilihat pada gambar 2.56.



Gambar 2. 56 Struktur Buzzer

Piezoelectric *Buzzer* adalah jenis Buzzer yang menggunakan efek Piezoelectric untuk menghasilkan suara atau bunyinya. Tegangan listrik yang diberikan ke bahan Piezoelectric akan menyebabkan gerakan mekanis, gerakan tersebut kemudian diubah menjadi suara atau bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia.

2.2.20 Pilot Lamp

Pilot lamp merupakan lampu yang biasa digunakan sebagai sinyal pemberitahu pada panel listrik. Jenis lampu pilot memiliki cahaya yang berasal dari Dioda LED (Light Emitting Dioda) dan memiliki jenis yang berbeda pula. Gambar fisik pilot lamp dapat dilihat pada gambar 2.57.



Gambar 2. 57 Pilot Lamp

Lampu led termasuk dalam keluarga dioda yang mempunyai anoda dan katoda maka cara kerja lampu led mirip dengan dioda yaitu lampu LED hanya akan menyala jika diberi arus panjar maju. Sementara itu jika diberi panjar mundur maka led akan mati

2.2.21 VT SCADA

Supervisory Control And Data Acquisition atau sering kita kenal dengan SCADA adalah sistem kendali industri berbasis komputer yang dipakai untuk *monitoring system* atau *control system*. *VT Scada* merupakan *software SCADA* yang diproduksi oleh Trihedral Engineering yang memiliki awalnya bernama WEB. WEB sistem operasi yang berbasis *HMI* memiliki bahasa *scripting* untuk *tags*, *page*, dan yang berhubungan dengan *SCADA* dibuat melalui penulisan kode. Kemudian pada tahun 1995, WEB berganti nama menjadi *VTS (Visual Tag System)* karena program tersebut mengalami perkembangan dalam hal *GUI (Graphic User Interface)* yang membuat lebih mudah dalam penggunaan aplikasi SCADA^[26]. Pada tahun 2001, nama *VTScada* ditambahkan untuk aplikasi *SCADA* dalam hal pengolahan air dan limbah. *VTScada* didesain secara detail dalam komunikasi sistem telemetri, dan juga mengalami penambahan fitur yang lebih bermanfaat. Pada awal tahun 2014, Trihedral Engineering mengeluarkan versi 11, dan produk

VTS dan *VTScada* digabung menjadi satu produk yang sekarang dikenal dengan nama *VTScada*.

Untuk menginstal *software* *VTScada* diperlukan hardware PC (*Personal Computer*) yang memiliki spesifikasi berikut :

1. *VTScada* 11.2 digunakan sebagai *server* dari *workstation* :
 - 1) 32 atau 64-bit sistem operasi *Windows*
 - 2) 2 Ghz prosesor *dual-core*
 - 3) Membutuhkan penyimpanan *file* 20 GB
 - 4) Memiliki RAM 8 GB atau lebih
2. Sedangkan untuk laptop, tablet PC, dan panel PC bukan sebagai *server* dari *workstation* :
 - 1) 32 atau 64-bit sistem operasi *Windows*
 - 2) 2 Ghz prosesor *dual-core*
 - 3) Membutuhkan penyimpanan *file* 20 GB
 - 4) Memiliki RAM 4 GB atau lebih

Dalam menggunakan *software* *VTScada* terdapat komponen komponen yang biasa digunakan yaitu *VTScada Application Manager*. Gambar 2.58 merupakan gambar tampilan awal *software* *VT Scada*.



Gambar 2. 58 Tampilan VT SCADA

VT Scada merupakan salah satu aplikasi virtual scada, *VT Scada* dapat digunakan untuk keperluan industri, *software* ini menyediakan layar anatrmuka yang dapat mengontrol peralatan lewat komputer. Termasuk dapat mengoperasikan katup-katup pipa dan motor atau menampilkan suhu ada level ketinggian air di melalui layar. *VT Scada* dapat berkomunikasi lewat RTU (*Remote Telemetry Unit*) dan *Programmable Logic Control (PLC)* untuk mengontrol perangkat keras dan informasi. *VT Scada* dibuat dengan ribuan Input/Output dalam 1 server (maksimal 50 I/O untuk versi *light*).