

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Gagasan dan ide penyusun tentang tugas akhir ini atas dasar observasi yang penyusun lakukan saat melakukan Kerja Praktik di PT PLN (Persero) APP Purwokerto - *Basecamp* Purwokerto. Penyusun tertarik untuk membahas mengenai pengaman pada proses manuver pada gardu induk.

Dalam menentukan gagasan dan ide penyusunan tugas akhir ini penyusun membaca beberapa jurnal referensi yang juga berkaitan dengan tugas akhir ini, antara lain sebagai berikut :

1. Tugas akhir yang ditulis oleh Lubis dan Almizar Nur di Universitas Medan Area (2000) dengan judul *Sistem Interlock Peralatan Proteksi Aplikasi pada Unit Transmisi dan Gardu Induk 150/20 KV Sei Rotan* ^[1].
2. Tugas akhir yang ditulis oleh Amelia Mona Trisna di Politeknik Negeri Surabaya (2015) dengan judul *Evaluasi Penggunaan Pemutus Tenaga Pada Gardu Induk Bungaran Palembang* ^[2].
3. Tugas akhir yang ditulis oleh M. Sabli di Universitas Tanjungpura (2015) dengan judul *Evaluasi Kinerja Sistem Sinkron 20 Kv Gardu Induk Siantan* ^[3].

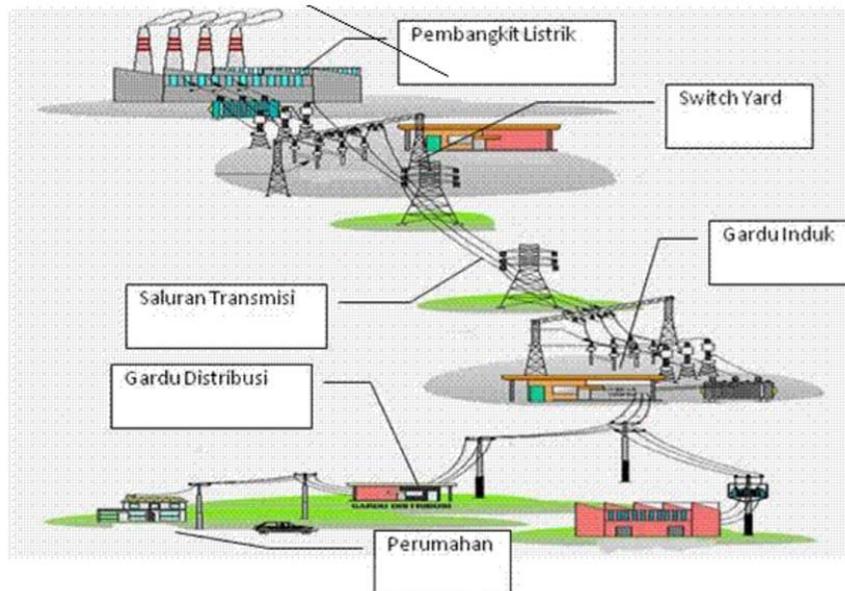
Persamaan tugas akhir yang dibuat penulis dengan referensi pertama dan kedua adalah sama-sama membahas tentang cara kerja sistem *interlock* pengoperasian *switchgear* pada proses manuver gardu induk tanpa membahas sinkronisasi sistem. Persamaan dengan referensi ketiga adalah sama-sama membahas mengenai *synchroncheck* pada sistem tenaga listrik tanpa membahas sistem *interlock*.

Perbedaan tugas akhir yang dibuat penulis dengan refrensi adalah penulis akan membahas mengenai sistem *interlock* dengan *synchrocheck* sistem sekaligus, namun hanya terbatas pada bay penghantar dan *synchrochecking* tegangan saja. Penulis juga membuat alat simulasi berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang berfungsi sebagai pusat kendali keseluruhan sistem. Dengan menggunakan mikrokontroler maka pemrograman alat dilakukan melalui suatu software dengan bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dikembangkan sendiri. Selain itu, monitoring tegangan dan arus dilakukan melalui *HMI (Human Machine Interface)* dengan sistem *SCADA (Supervisory Control And Data Accuitition)*. Pada alat ini, seting untuk kerja relai dirancang semirip mungkin dengan sistem yang ada di PT PLN (Persero) dengan membahas *synchrochek* tegangan sebagai salah satu syarat dilaksanakan manuver dan mensimulasikan kerja sistem *interlock* sebagai pengaman manuver gardu induk 150 KV khususnya pada *bay* penghantar.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan ^[4].

Secara garis besar Sistem Tenaga Listrik mulai dari pembangkitan, penyaluran / transmisi hingga pendistribusian sampai kepada konsumen dapat digambarkan dengan skema seperti gambar 2-1 berikut ini :



Gambar 2-1. Sistem Ketenagalistrikan ^[4]

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pusat – pusat tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTB, PLTG, PLTGU, PLTP, dan PLTD. Tegangan listrik yang dibangkitkan oleh pusat tenaga listrik semula sebesar 11 KV kemudian di naikan secara bertahap melalui transformator *step-up* menjadi 150 KV dan 500 KV.

Setelah tegangan dari pembangkit di naikan melalui trafo *step-up* menjadi 150 KV atau 500 KV kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi. Transmisi tenaga listrik adalah proses penyaluran listrik dari pembangkitan ke distribusi listrik. Standar tegangan pada sistem transmisi di Indonesia diklasifikasikan sebagai Tegangan Ekstra Tinggi (TET) dengan besaran tegangan 500 KV dan Tegangan Tinggi (TT) dengan besaran tegangan 150 KV. Tujuan tegangan dari pembangkit dinaikan yaitu agar dapat meminimalisir rugi-rugi daya dan *drop* tegangan, karena penyaluran pasti melalui jalur yang panjang, semakin panjang jalur maka akan semakin berpengaruh pada rugi daya jika tegangan tidak dinaikan.

Tenaga listrik yang disalurkan melalui jaringan transmisi kemudian sampai di gardu induk untuk diturunkan tegangannya melalui transformator *step-down* dari Tegangan Ekstra Tinggi (TET) atau Tegangan Tinggi (TT) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan besaran tegangan 20 KV yang kemudian akan disalurkan ke jaringan distribusi melalui gardu.

Dari gardu distribusi tenaga listrik di salurkan ke jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer merupakan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 KV yang kemudian disalurkan ke konsumen distribusi primer. Dari jaringan distribusi primer tegangan kembali diturunkan melalui transformator distribusi dari Tegangan Menengah (TM) 20 KV menjadi Tegangan Rendah (TR) 380/220 V. Jaringan Tegangan Rendah (JTR) tersebut kemudian disalurkan ke konsumen Tegangan Rendah (TR) misalnya konsumen rumah tangga.

2.3 Gardu Induk

Menurut A.N Afandi dalam buku *Sistem Tenaga Listrik Operasi Sistem & Pengendalian* mengatakan bahwa gardu induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol ^[5].

Menurut Aslimeri, Ganefri, dan Zaedel Hamdi dalam buku *Teknik Transmisi Tenaga Listrik jilid 2* mengatakan bahwa gardu induk adalah merupakan alat penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi perimer ^[6].

Menurut PT.PLN (Persero) dalam buku . *Sistem Proteksi dan Gardu Induk* mengatakan bahwa gardu Induk merupakan suatu sistem instalasi listrik yang terdiri dari susunan dan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja *switching* rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait ^[7].

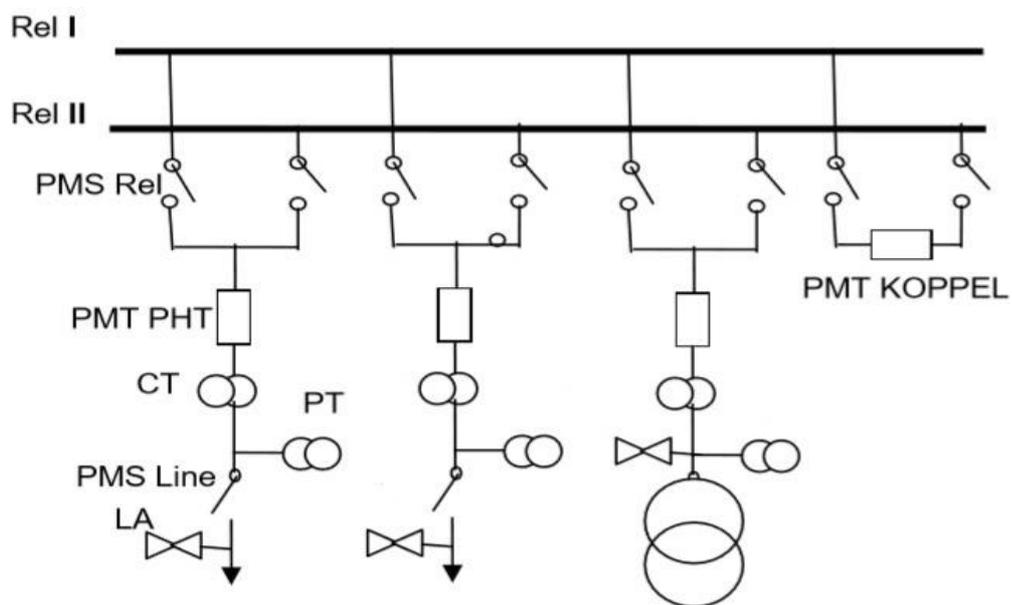
Dari beberapa sumber tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa gardu induk adalah instalasi peralatan sistem tenaga listrik yang terdiri dari peralatan hubung bagi, transformator, peralatan control, peralatan pengukuran dan peralatan pengaman yang berfungsi menerima dan menyalurkan tenaga listrik melalui sistem Tegangan Ekstra Tinggi (TET), Tegangan Tinggi (TT) dan Tegangan Menengah (TM).

Jenis gardu induk diklasifikasikan berdasarkan jenis tegangan dan konfigurasi rel / busbar-nya. Berdasarkan jenis tegangannya gardu induk dibagi menjadi Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) dengan nominal tegangan 500 KV dan Gardu Induk Tegangan Tinggi (GIT) dengan nominal tegangan 150 KV. Sedangkan berdasarkan jenis busbar-nya gardu induk dibagi menjadi *single busbar, double busbar dan one half busbar*.

Dalam tugas akhir ini penulis memfokuskan pada jenis gardu induk tegangan tinggi dengan konfigurasi *double busbar*.

Busbar atau rel adalah titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik ^[6].

Gardu induk sistem *double busbar* adalah gardu induk yang mempunyai dua busbar. Gardu induk dengan sistem *double busbar* sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban ^[6]. Berikut merupakan gambar *single line* gardu induk sistem *double busbar* :



Gambar 2-2 Single Line Gardu Induk Sistem Double Busbar ^[6]

Berikut merupakan perangkat utama gardu induk *double busbar* :

1. Busbar / Rel

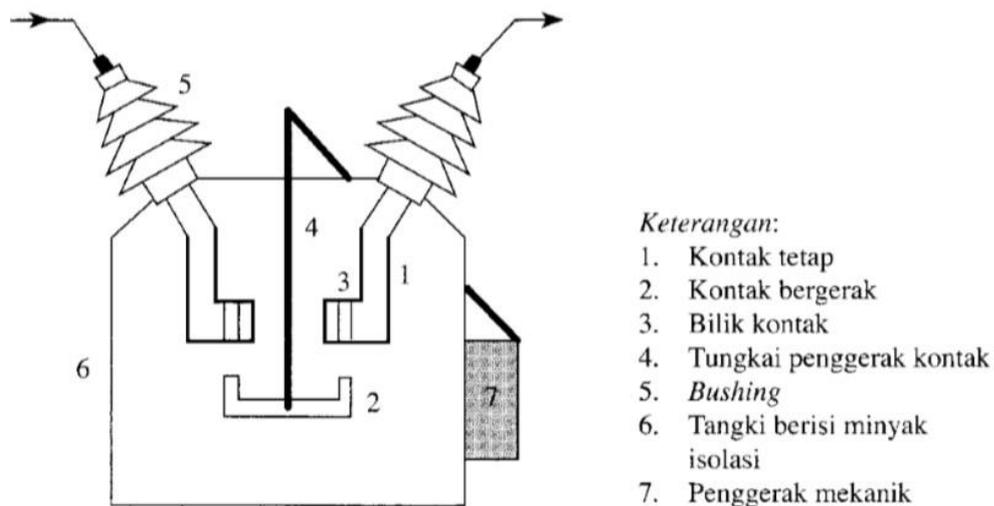
Rel daya (*busbar*) merupakan titik penghubung antara transformator daya dan SUTT/ SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik ^[6].

Pada gardu induk *double busbar* mempunyai dua rel / *busbar* sehingga dapat menyalurkan tenaga listrik dengan kapasitas yang lebih besar disbanding dengan *single busbar*, serta meningkatkan kehandalan penyaluran tenaga listrik.

2. Pemutus Tenaga (PMT)

Menurut Aslimeri dalam buku *Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2* Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat yang terpasang di gardu induk yang berfungsi sebagai saklar untuk menghubungkan dan memutus arus beban atau arus gangguan [6].

Berikut merupakan gambar konstruksi PMT :



Gambar 2-3 Konstruksi PMT [8]

PMT mempunyai bagian – bagian seperti pada gambar 2-4. Kontak PMT terletak di dalam tabung yang berisi media isolasi untuk memadamkan busur api. Pada terminal PMT dan tabung dipisahkan oleh isolator pada *bushing* sehingga tegangan dan arus yang mengalir pada terminal tidak mengalir ke tabung PMT.

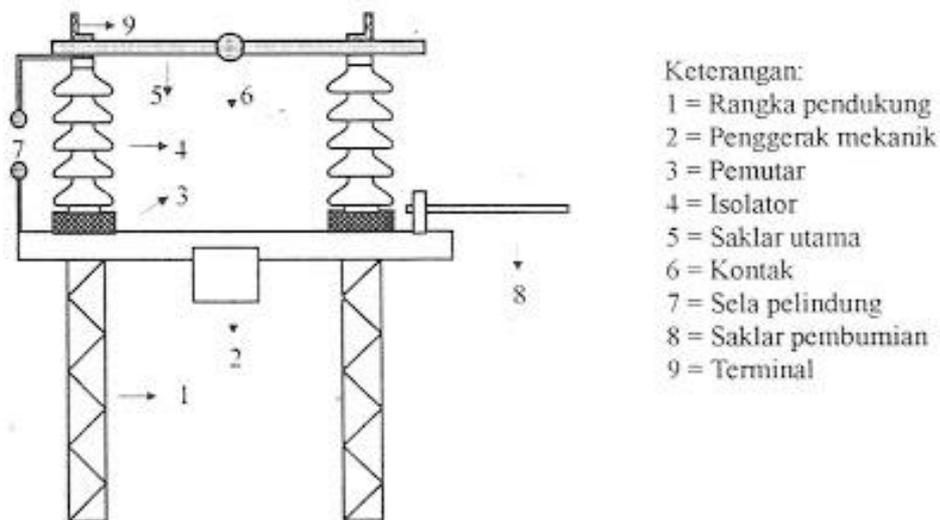
PMT bekerja dengan pembukaan dan penutupan kontak yang di gerkan oleh penggerak biasanya berupa penggerak mekanik atau penggerak *pneumatic*. Terdapat dua kontak pada PMT yaitu kontak tetap yang diam dan kontak bergerak yang digerakan oleh media penggerak. Ketika media penggerak menarik kontak ke atas maka kontak bergerak akan terhubung dengan kontak tetap sehingga tegangan dan arus dari terminal satu ke terminal lainnya, ketika media penggerak mendorong kontak kebawah maka kontak bergerak terpisah dengan kontak tetap sehingga tegangan dan arus pada kedua terminal terpisah. Pada saat pembukaan dan penutupan kontak pada ujung – ujung kontak timbul fenomena busur api yang kemudian diredam oleh media isolasi pada tangki PMT, media isolasi tersebut dapat berupa minyak, ruang hampa udara, dan gas SF₆.

PMT pada gardu induk *double busbar* terbagi berdasarkan fungsinya menjadi dua jenis yaitu :

- a. PMT *Line* / Penghantar yang berfungsi untuk memisahkan atau menghubungkan penghantar dalam keadaan berbeban.
 - b. PMT Kopel yang berfungsi untuk memisahkan atau menghubungkan rel 1 dengan rel 2 guna meningkatkan kehandalan sistem tenaga listrik.
3. Saklar Pemisah (PMS)

Menurut Bonggas L Tobing dalam buku *Peralatan Tegangan Tinggi* Saklar Pemisah (PMS) adalah peralatan yang dapat memutus dan menutup rangkaian dalam kondisi bertegangan maupun tidak bertegangan tanpa adanya arus beban ^[8].

Berikut merupakan gambar konstruksi PMS :



Gambar 2-4 Konstruksi PMS ^[8]

PMS diletakkan diatas rangka pendukung biasanya menggunakan bahan besi siku. Pada terminal PMS dan rangka pendukung dipisahkan oleh isolator sehingga tegangan pada terminal tidak terhubung ke rangka pendukung. Penggerak mekanik yang berupa motor arus searah menggerakkan pemutar saklar yang terhubung ke saklar utama sehingga saklar utama dapat membuka atau menutup kontak PMS. Saat kontak PMS pada posisi terbuka maka tegangan yang mengalir hanya sampai pada ujung saklar utama. Sedangkan saat kontak PMS pada kondisi tertutup maka tegangan mengalir dari terminal utama ke terminal sekunder.

PMS pada gardu induk terbagi berdasarkan fungsinya menjadi tiga jenis yaitu :

- a. PMS Rel yang berfungsi memisahkan atau menghubungkan rel dengan penghantar.

- b. PMS *Line* / Penghantar yang berfungsi memisahkan atau menghubungkan penghantar.
- c. PMS *Ground* / Tanah yang berfungsi memisahkan atau menghubungkan penghantar dengan tanah. PMS *ground* hanya dapat dioperasikan pada keadaan tidak bertegangan guna mengalirkan tegangan sisa ke tanah untuk keperluan pengamanan saat pemeliharaan.

4. *Current Transformer (CT)*

Menurut Bonggas L Tobing dalam buku *Peralatan Tegangan Tinggi Current Transformer (CT)* merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik di sisi primer yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi [8].

5. *Potensial Transformer (PT)*

Menurut Bonggas L Tobing dalam buku *Peralatan Tegangan Tinggi Potensial Transformer (PT)* merupakan peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur/ meter dan relai proteksi [8].

6. *Lighting Arrester (LA)*

Lighting Arrester (LA) merupakan peralatan yang berfungsi mengamankan peralatan dari gangguan tegangan lebih akibat surja hubung atau surja petir [8].

Sesuai dengan gambar *single line* diagram diatas bahwa gardu induk *double busbar* mempunyai 2 *busbar* / Rel. Pada masing – masing rel terdapat *bay* berupa *bay* trafo, *bay* penghantar dan *bay* kopel. Kedua rel tersebut (rel 1 dan rel 2)

merupakan suatu sistem yang terpisah dan dihubungkan oleh PMT kopel pada *bay* kopel yang sangat efektif untuk mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sistem / manuver ataupun terjadi gangguan. Pada saat salah satu rel mengalami gangguan maka PMT kopel akan *trip* atau dibuka agar gangguan tidak menyebar ke rel lainnya sehingga daerah padam akibat gangguan hanya pada rel yang mengalami gangguan saja, oleh karena itu sistem *double busbar* dikatakan mempunyai kehandalan yang tinggi.

2.4 Operasi Gardu Induk

Menurut DR. Arismunandan dan DR. Kuwahara dalam buku *Teknik Tenaga Listrik Jilid III* operasi gardu induk merupakan proses pengoperasian peralatan gardu induk guna menunjang kontinuitas dan mutu penyaluran sistem tenaga listrik^[9]. Operasi gardu induk menyangkut pengawasan, pencatatan, kontrol dan penyetelan operasi dari semua peralatan. Tujuan akhir dari rangkaian operasi gardu induk adalah untuk mempertahankan besar tegangan dan frekuensi sesuai dengan standar yang ditentukan serta mencegah terjadinya gangguan, jika masih terjadi gangguan maka harus dihilangkan secepatnya. Oleh karena itu mutu dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat terjaga.

2.5 Manuver Gardu Induk

Menurut PT.PLN (Persero) dalam buku *Sistem Proteksi dan Gardu Induk* manuver adalah suatu prosedur untuk mengubah posisi jaringan / instalasi dari kondisi tidak operasi (keluar dari sistem) ke kondisi operasi (masuk kedalam sistem) atau sebaliknya^[7].

Dalam manuver terjadi suatu kegiatan operasi peralatan *switching* berupa pembukaan dan penutupan Pemutus Tenaga (PMT), Saklar Pemisah (PMS).

2.5.1 Tujuan Manuver

Manuver dalam instalasi ketenagalistrikan mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Untuk memenuhi kebutuhan sistem tenaga listrik agar penyaluran tenaga listrik dapat berjalan secara kontinu.
2. Untuk menjaga keamanan / keselamatan personil dan keamanan / keselamatan instalasi / peralatan dari kondisi gangguan atau kondisi darurat ^[7].

2.5.2 Peralatan *Switching*

Berikut merupakan peralatan *switching* gardu induk :

1. *Saklar Pemisah (PMS)*

Sesuai dengan penjelasan pada 2-3 PMS merupakan peralatan *switching* yang berfungsi memisahkan atau menghubungkan bagian bertegangan dengan tidak bertegang. PMS hanya diperbolehkan dioperasikan pada saat kondisi tanpa beban saja karena pada saat kondisi berbeban arus yang mengalir sangat besar sehingga menyebabkan fenomena busur api yang dapat membahayakan peralatan sistem tenaga listrik. Pada PMS tidak dilengkapi dengan media pemadam busur api, oleh karena itu PMS hanya diijinkan dioperasikan pada saat kondisi tanpa beban.

Berdasarkan fungsinya PMS terbagi menjadi tiga jenis yaitu PMS rel, PMS *line*, PMS *ground*. Saklar pembumian atau PMS *ground* berfungsi untuk mengalirkan arus dan tegangan sisa ke tanah sehingga sistem aman saat dilaksanakan pemeliharaan. Pada PMS *ground* terpasang *interlock* dengan PMS rel

dan PMS *line*, sehingga PMS *ground* hanya dapat ditutup setelah PMS rel dan PMS *line* dalam posisi terbuka.

2. Pemutus Tenaga (PMT)

PMT bekerja pada saat kondisi berbeban yaitu saat pembebanan dan pelepasan beban baik pada kondisi normal maupun tidak normal. Pada saat PMT bekerja menghubungkan atau memutus beban akan terjadi suatu fenomena tegangan lebih dan busur api. Oleh karena itu pada PMT dilengkapi dengan media pemadam busur api.

Pada gardu induk *double busbar* PMT terbagi menjadi dua jenis yaitu PMT *line* dan PMT kopel. Pada PMT juga terpasang *interlock* dengan PMS rel dan PMS *line*, sehingga pada PMT *line* hanya dapat ditutup setelah PMS rel dan PMS *line* dalam posisi tertutup. Sedangkan pada PMT kopel terpasang *interlock* dengan relai *synchrocheck*, sehingga PMT kopel tidak dapat ditutup sebelum kondisi sinkron yang dideteksi oleh relai *synchrocheck* memenuhi persyaratan.

2.5.3 Macam – Macam Manuver

Berikut merupakan macam – macam manuver pada gardu induk :

1. Manuver pembebasan tegangan dan pelepasan beban

Manuver pembebasan tegangan merupakan pengoperasian peralatan *switching* guna membebaskan sistem tenaga listrik dari tegangan untuk keperluan tertentu misalnya pelaksanaan pemeliharaan peralatan gardu induk.

Langkah manuver pembebasan tegangan pada *bay* penghantar yaitu :

- a. Mengoperasikan PMT pada posisi *open*.
- b. Mengoperasikan PMS Line pada posisi *open*.

- c. Mengoperasikan PMS Rel pada posisi *open*.
- d. Mengoperasikan PMS *Ground* pada posisi *close*.

2. Manuver pemberian tegangan dan pembebanan.

Manuver pemberian tegangan merupakan pengoperasian peralatan *switching* guna membebaskan sistem tenaga listrik dari tegangan untuk keperluan penyaluran tenaga listrik.

Langkah manuver pembebasan tegangan pada *bay* penghantar yaitu :

- a. Mengoperasikan PMS *Ground* pada posisi *open*.
 - b. Mengoperasikan PMS Rel pada posisi *close*.
 - c. Mengoperasikan PMS *Line* pada posisi *close*.
 - d. Memastikan kondisi sinkron kedua bus / rel gardu induk berhadapan terpenuhi.
 - e. Mengoperasikan PMT pada posisi *close*.
3. Manuver pemindahan beban (pindah pasokan/pindah rel / pindah penyulang).

Manuver pemindahan beban merupakan pengoperasian peralatan *switching* guna memindahkan beban yang tersambung pada rel / penyulang ke re / penyulang lain yang bertujuan untuk menjaga kehandalan sistem tenaga listrik.

Langkah manuver pemindahan beban pada *bay* penghantar yaitu :

- a. Memastikan kondisi sinkron kedua bus / rel terpenuhi.
- b. Mengoperasikan PMT Kopel pada posisi *close*.
- c. Mengoperasikan PMS Rel (yang dalam kondisi awal tidak terhubung ke sistem) pada posisi *close*.
- d. Mengoperasikan PMS Rel pada bus yang dituju pada posisi *open*.

2.6 Sistem *Interlock*

Menurut Afandi, A.N. dalam buku *Sistem Tenaga Listrik Operasi Sistem & Pengendalian sistem interlock* adalah suatu cara untuk mengamankan jalannya proses serta pengamanan peralatan dari unit yang paling kecil sampai keseluruhan sistem^[5]. Dimana alat pengaman tersebut terkait satu dengan yang lainnya sehingga membentuk satu kesatuan yang memproteksi sistem yang bekerja secara bersamaan atau dengan kata lain hanya membolehkan satu saja yang bekerja.

Sistem *interlock* merupakan suatu sistem proteksi yang sangat vital dan menentukan pada setiap sistem operasi gardu induk. Tanpa adanya sistem *interlock* ini pengoperasian pada gardu induk akan sering dan banyak mendapat gangguan bahkan dapat menyebabkan bahaya kebakaran serta merenggut nyawa para operator lapangan yang berakibat terputusnya aliran listrik kepada para konsumen.

2.6.1 Prinsip Kerja Sistem *Interlock*

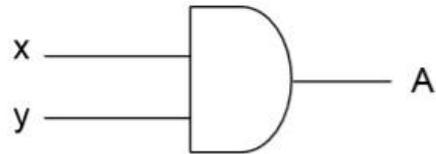
Prinsip kerja sistem *interlock* dapat dipahami melalui rangkaian gerbang logika dasar. Rangkaian logika pada dasarnya adalah suatu rangkaian digital elektronika yang memanfaatkan pengembangan dan sifat-sifat aljabar/algorithm.

Rangkaian logika ini biasanya menghasilkan bilangan biner (berupa angka 0 atau 1). Logika 1 (ON) dan logika 0 (OFF). Operasi logika yang sering kita temukan dalam gambar skematik yaitu Logic AND, OR, NOT, NOR, dan NAND.

1. Logika AND

Gerbang AND digunakan untuk menghasilkan logika 1 jika semua masukan mempunyai logika 1, jika tidak akan dihasilkan logika 0^[10].

Berikut gambar gerbang logika AND :



Gambar 2-5 Gerbang Logika AND ^[10]

Operasi logika AND merupakan operasi perkalian sehingga dapat ditulis dengan notasi $x \cdot y = A$.

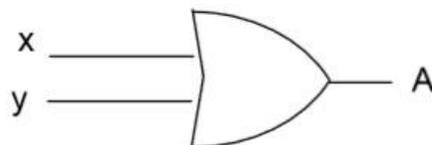
Berikut merupakan tabel kebenaran dari gerbang logika AND :

Tabel 2-1 Tabel Kebenaran Gerbang Logika AND ^[10]

Masukan		Keluaran
X	y	A
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2. Logika OR

Gerbang OR akan memberikan keluaran 1 jika salah satu dari masukannya pada keadaan 1. Jika diinginkan keluaran bernilai 0, maka semua masukan harus dalam keadaan 0 ^[10].



Gambar 2-6 Gerbang Logika OR ^[10]

Operasi logika OR merupakan operasi penjumlahan sehingga dapat ditulis dengan notasi $x + y = A$.

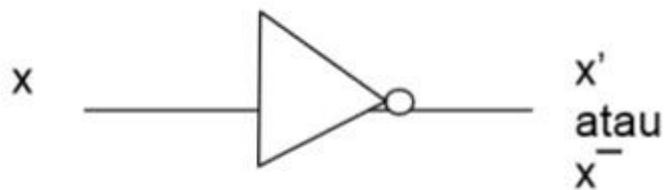
Berikut merupakan tabel kebenaran gerbang logika OR :

Tabel 2-2 Tabel Kebenaran Gerbang Logika OR ^[10]

Masukan		Keluaran
x	y	A
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3. Logika NOT

Gerbang NOT merupakan gerbang satu masukan yang berfungsi sebagai pembalik (*inverter*). Jika masukannya bernilai 1, maka keluarannya bernilai 0, begitu juga sebaliknya ^[10].



Gambar 2-7 Gerbang Logika NOT ^[10]

Operasi logika NOT dapat ditulis dengan notasi x' atau \bar{x} .

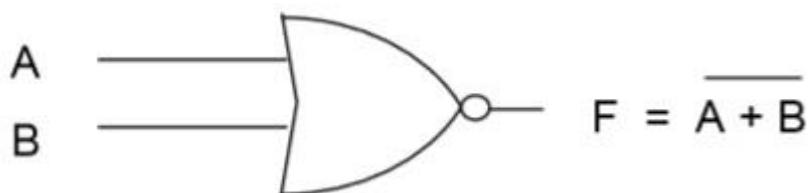
Berikut merupakan tabel kebenaran gerbang logika NOT :

Tabel 2-3 Tabel Kebenaran Gerbang Logika OR ^[10]

Masukan	Keluaran
x	x'
1	0
0	1

4. Logika NOR

Gerbang NOR akan memberikan keluaran 0 jika salah satu dari masukannya pada keadaan 1. Jika diinginkan keluaran bernilai 1, maka semua masukan harus dalam keadaan 0. Kata NOR merupakan kependekan dari NOT - OR, yang merupakan ingkaran dari gerbang OR ^[10].

**Gambar 2-8** Gerbang Logika NOR ^[10]

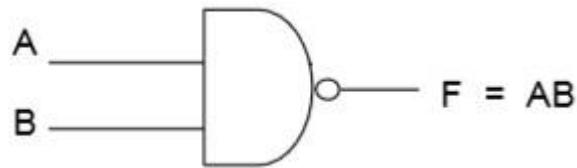
Operasi logika NOR merupakan operasi penjumlahan sehingga dapat ditulis dengan notasi $F = A' + B'$.

Tabel 2-4 Tabel Kebenaran Gerbang Logika NOR ^[10]

Masukan		Keluaran
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

5. Logika NAND

Gerbang NAND akan mempunyai keluaran 0 bila semua masukan pada logika 1. Sebaliknya, jika sebuah logika 0 pada sembarang masukan pada gerbang NAND, maka keluarannya akan bernilai 1. Kata NAND merupakan kependekan dari NOT-AND, yang merupakan ingkaran gerbang AND ^[10].



Gambar 2-9 Gerbang Logika NAND ^[10]

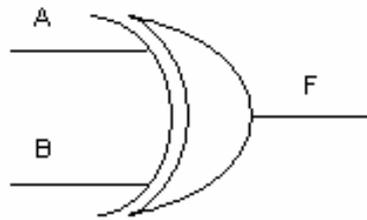
Operasi logika NOR merupakan operasi penjumlahan sehingga dapat ditulis dengan notasi $F = A + B$.

Tabel 2-5 Tabel Kebenaran Gerbang Logika NAND ^[10]

Masukan		Keluaran
A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

6. Logika XOR

Gerbang XOR (dari kata *exclusive-or*) akan memberikan keluaran 1 jika masukan-masukannya mempunyai keadaan yang berbeda ^[10].



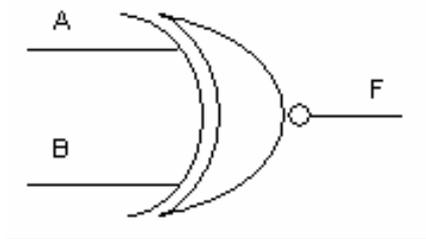
Gambar 2-10 Gerbang Logika XOR ^[10]

Tabel 2-6 Tabel Kebenaran Gerbang Logika XOR ^[10]

Masukan		Keluaran
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

7. Logika XNOR

Gerbang XOR (dari kata *exclusive-nor*) akan memberikan keluaran 1 jika masukan-masukannya mempunyai keadaan yang sama ^[10].



Gambar 2-11 Gerbang Logika XNOR ^[10]

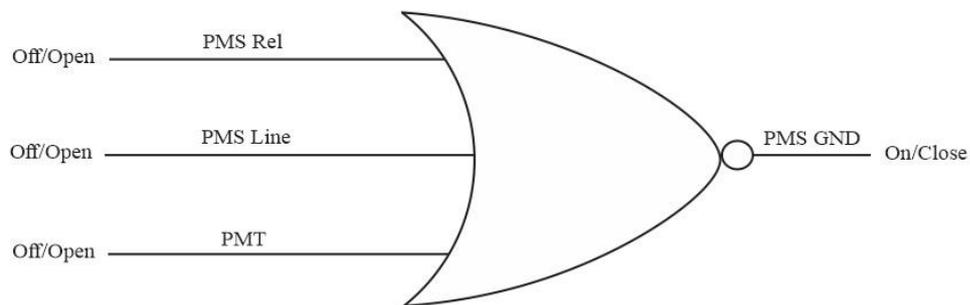
Tabel 2-7 Tabel Kebenaran Gerbang Logika XNOR ^[10]

Masukan		Keluaran
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

8. Contoh Penerapan Gerbang Logika Pada Kerja *Interlock*

Berikut merupakan contoh logika sistem *interlock* pengoperasian PMS

Gorund pada gardu induk :

**Gambar 2-12** Contoh Gerbang Logika *Interlock*

Pada pengoperasian PMS *Ground* pada gardu induk dipasang sistem *interlock* yaitu antara PMS Rel, PMS *Line*, dan PMT. PMS *Ground* hanya dapat dioperasikan pada posisi *close* ketika PMS Rel, PMS *Line*, dan PMT dalam keadaan *open* atau *off*, maka pada logika pengoperasian PMS *Ground* digunakan gerbang logika NOR dengan 3 masukan, berikut tabel kebenarannya :

Tabel 2-8 Tabel Kebenaran Pengoperasian PMS *Ground*

Masukan			Keluaran
PMS Rel	PMS <i>Line</i>	PMT	PMS <i>Ground</i>
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0

Berdasarkan tabel kebenaran pengoperasian PMS *Ground* maka keluaran akan bernilai 1 jika semua masukan bernilai 0 dan jika ada masukan yang bernilai 1 maka keluaran akan bernilai 0. Dari logika tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika PMS Rel, PMS *Line*, dan PMT dalam kondisi *open/off* maka PMS *Ground* dapat dioperasikan *close/on*. Sebaliknya jika PMS Rel, PMS *Line*, dan PMT dalam kondisi *close/on* maka PMS *Ground interlock* atau terkunci sehingga tidak dapat dioperasikan dalam posisi *close/on*.

2.6.2 Macam – Macam Sistem *Interlock*

Berikut merupakan beberapa macam pola *interlock* :

1. *Interlock* pada manuver pelapasan beban dan pembebasan tegangan.

Pada pembebasan tegangan PMS Rel dan PMS *Line* hanya dapat dioperasikan *open* setelah PMT dalam kondisi *open*. PMS *ground* hanya dapat dioperasikan *close* setelah PMS Rel dan PMS *Line* dalam kondisi *open*.

2. *Interlock* pada manuver pemberian tegangan dan pembebanan.

Pada pemberian tegangan PMS Rel dan PMS *Line* hanya dapat dioperasikan *close* setelah PMS *Ground* dalam kondisi *open*. PMT hanya dapat dioperasikan *close* setelah PMS Rel dan PMS *Line* dalam kondisi *close*.

3. *Interlock* pada manuver pemindahan beban.

Pada manuver pemindahan beban PMT Kopel hanya dapat dioperasikan *close* setelah kondisi sinkron pada bus 1 dan bus 2 terpenuhi. PMS Rel pada bus yang dituju dapat dioperasikan *close* saat PMT Kopel dalam kondisi *close*.

4. *Interlock* pada penerapan *autoreclose* PMT.

Pada penerapan auto reclose PMT akan *interlock* / mengunci jika kondisi sinkron saat terjadi *autoreclose* tidak terpenuhi.

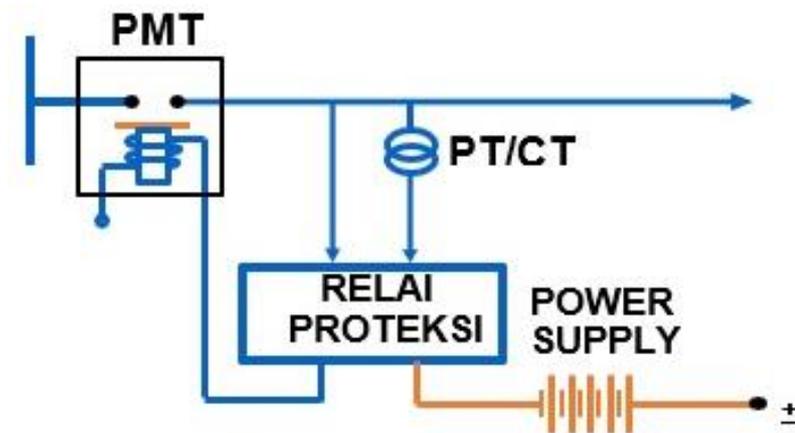
2.7 Sistem Proteksi

Menurut PT.PLN (Persero) dalam buku *Sistem Proteksi dan Gardu Induk* sistem proteksi adalah sistem yang mengatur satu atau lebih peralatan proteksi, dan peralatan lain yang di maksudkan untuk melakukan satu atau lebih fungsi proteksi tertentu ^[6]. Dalam hal ini sistem proteksi bertujuan untuk :

1. Mencegah kerusakan peralatan yang terganggu, maupun peralatan yang dilewati arus gangguan.
2. Mengisolir bagian sistem yang terganggu sekecil dan secepat mungkin.
3. Mencegah meluasnya gangguan ^[7].

2.7.1 Perangkat Sistem Proteksi

Sistem proteksi terdiri dari peralatan – peralatan yang diintegrasikan dalam suatu rangkaian pengawatan yang saling berhubungan satu sama lain. Jika salah satu bagian peralatan sistem proteksi tidak ada, maka sistem proteksi tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya.

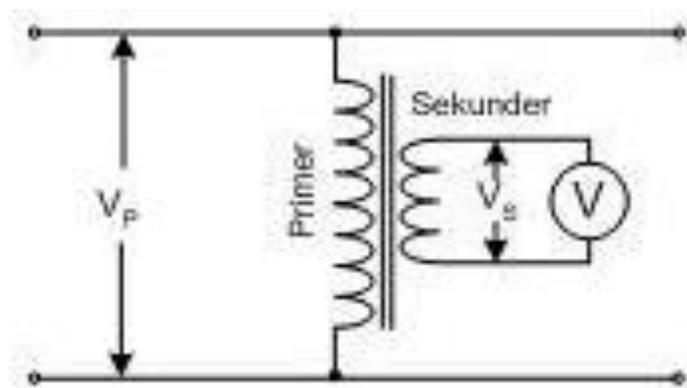


Gambar 2-13 Perangkat Sistem Proteksi ^[7]

Perangkat sistem proteksi terdiri dari PT atau CT, relai proteksi, PMT, yang terhubung oleh sistem pengawatan dan di *supply* oleh *power supply* 110 VDC.

1. Menurut Bonggas L Tobing dalam buku *Peralatan Tegangan Tinggi* transformator tegangan adalah peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi mentransformatikan tegangan dari besaran yang lebih tinggi ke besaran yang lebih rendah untuk digunakan dalam perlengkapan indikator, alat ukur, proteksi, dan peralatan sinkronisasi ^[8].

Berikut konstruksi dari transformator tegangan :

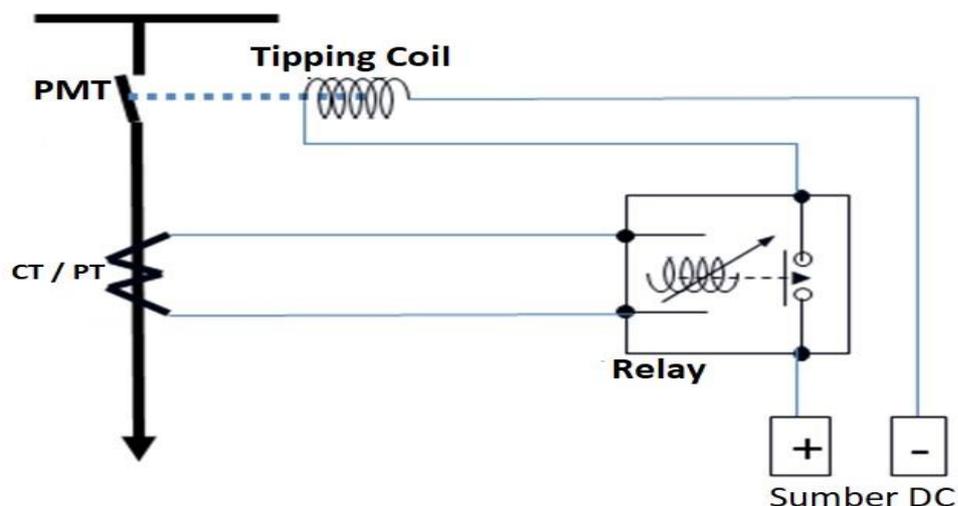


Gambar 2-14 Konstruksi Transformator Tegangan ^[8]

Transformator tegangan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan yang mengalir pada kumparan primer (V_p) menghasilkan medan magnet pada sekitar kumparan tersebut. Medan magnet yang bergerak menghasilkan *flux* yang kemudian membangkitkan gaya gerak listrik pada lempengan inti transformator. Gaya gerak listrik (ggl) tersebut kemudian menginduksi kumparan sekunder sehingga tegangan mengalir dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Tegangan yang mengalir ke kumparan sekunder lebih kecil dari tegangan pada kumparan primer karena jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih sedikit dibanding jumlah lilitan pada kumparan primer.

2. Relai Proteksi

Menurut SPLN tahun 2010 relai proteksi adalah perlengkapan untuk mendeteksi gangguan atau kondisi tidaknormalan pada sistem tenaga listrik, dalam rangka untuk membebaskan/ mengisolasi gangguan, menghilangkan kondisi tidak normal, dan untuk menghasilkan sinyal atau indikasi ^[7].



Gambar 2-15 Pengawatan Relai Proteksi ^[7]

Relai proteksi berperan sebagai elemen pengindra yang membandingkan hasil pengukuran elemen pengukur apakah sesuai dengan *setting* atau tidak, jika hasil pengukuran didapatkan tidak sesuai *setting* maka diindikasikan terdapat gangguan. Jika relai proteksi mendeteksi adanya gangguan maka relai proteksi memberikan sinyal kepada coil PMT untuk memerintahkan *trip* agar gangguan dapat terisolir dan tidak meluas.

3. Pemutus Tenaga (PMT)

Selain sebagai pralatan *switching* pada gardu induk seperti yang dijelaskan pada 2-3, pemutus tenaga juga digunakan sebagai perangkat sistem proteksi yang berfungsi untuk memisahkan daerah yang terkena gangguan dengan daerah yang normal. Ketika relai merasakan adanya kondisi tidak normal pada sistem maka relai akan mengirimkan sinyal kepada coil PMT untuk memerintahkan *trip* pada PMT sehingga gangguan dapat dipisahkan dan tidak meluas ke daerah yang normal.

4. Power Supply

Power supply merupakan sumber pasokan daya utama untuk perangkat – perangkat sistem proteksi tenaga listrik. *Power supply* yang digunakan mempunyai nominal tegangan 110 V DC yang diperoleh dari *rectifier* dan baterai.

Rectifier adalah perangkat listrik untuk mengubah arus listrik bolak- balik (AC) menjadi arus searah (DC) ^[8]. *Rectifier* yang terpasang di gardu induk menyearahkan tegangan dari transformator pemakaian sendiri dari 380 V AC menjadi 110 V DC. Selain digunakan untuk mensupply tegangan pada perangkat sistem proteksi *rectifier* juga berfungsi untuk mengisi muatan baterai dan menjaga baterai agar tetap dalam kondisi penuh.

Baterai adalah alat yang menghasilkan sumber tenaga listrik arus searah yang diperoleh dari proses kimia ^[8]. Pada keadaan normal baterai dalam keadaan di *charge* oleh *rectifier*. Ketika ada gangguan yang menyebabkan gardu induk *blackout* sehingga *rectifier* tidak dapat mensupply peralatan pada gardu induk, maka suplai DC tetap berjalan dengan *backup supply* dari baterai.

2.8 Sinkronisasi (*Synchronizing*)

Menurut PT. PLN (Persero) dalam buku *Sistem Proteksi dan Gardu Induk* sinkronisasi adalah operasi paralel sistem tenaga listrik pada dasarnya merupakan perluasan bekerja paralel satu jaringan dengan jaringan lain, dengan tambahan resistansi dan reaktansi saluran-saluran interkoneksi proses menghubungkan paralel satu jaringan dengan jaringan lainnya ^[7]. Sinkronisasi pada jaringan adalah memparalelkan kerja dua jaringan atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah jaringan tersebut dengan syarat syarat yang telah ditentukan.

Syarat-syarat proses sinkronisasi yaitu:

1. Frekuensi harus sama (mempunyai frekuensi yang sama).
2. Sefasa.
3. Mempunyai sudut phase yang sama ^[7].

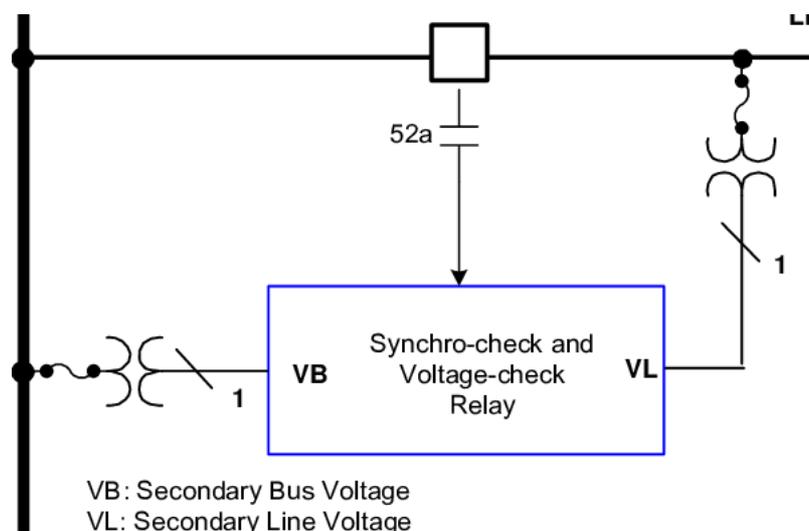
Namun dalam hal ini penulis memfokuskan pada sinkronisasi tegangan saja. Jika dalam memparalelkan dua jaringan atau melakukan sinkronasi namun tidak memenuhi syarat yang ada misalnya tegangan antar jaringan berbeda maka akan membahayakan bagi sistem tenaga listrik. *Drop* tegangan pada sistem penyaluran transmisi sangat berpengaruh dari segi pelayanan kepada konsumen, karena tegangan yang terlalu rendah dari tegangan toleransi yang diizinkan dapat

mengakibatkan kerusakan pada peralatan instalasi listrik. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kegagalan dalam proses sinkronasi.

2.8.1 Relai *Synchrocheck*

Menurut PT. PLN (Persero) dalam buku *Sistem Proteksi dan Gardu Induk* relai *synchrocheck* adalah relai yang berfungsi untuk mengetahui kondisi sinkron antara 2 sisi / subsistem yang diukur dan memastikan bahwa kondisi sinkron pada dua penghantar terpenuhi sebelum PMT dimasukkan ^[7]. Relai ini juga memastikan kondisi sinkron pada penghantar saat mengalami *autoreclose*, kondisi ini hanya berlaku pada *TPAR (Three Pole Auto Reclose)* saja dan tidak berlaku pada *SPAR (Single Pole Auto Reclose)*.

Prinsip kerja dari relai *synchrocheck* yaitu dengan membandingkan tegangan, sudut fasa, dan frekuensi antara 2 penghantar. Ketiga komponen pembanding tersebut harus sama atau memenuhi batas toleransi yang ditentukan sesuai SPLN (Standar PLN).



Gambar 2-16 Konfigurasi Relai *Synchrocheck* ^[6]

Dapat dilihat pada gambar 2-16 bahwa relai *synchrocheck* mendapat *inputan* tegangan pembanding dari dua jaringan yang berbeda yaitu tegangan *bus* dan tegangan *line*. Relai *synchrocheck* membandingkan tegangan pada *bus* dan *line* yang telah ditransformasikan oleh transformator tegangan. Jika tegangan pada *bus* dan *line* besarnya berbeda $\pm 10\%$ dari tegangan nominal sesuai dengan SPLN [7], maka PMT *line* yang menghubungkan *bus* dan *line* *interlock* atau tidak dapat dioperasikan dalam kondisi *close*. Dengan demikian relai *synchrocheck* dapat mengantisipasi beda tegangan yang dapat menyebabkan turunya mutu tenaga listrik dan membahayakan bagi peralatan tenaga listrik.

Berikut merupakan beberapa pola penerapan *synchrocheck* pada gardu induk :

1. *Live Bus – Live Line*

Pola *live bus – live line* maksudnya adalah kondisi awal *bus* dan *line* pada keadaan bertegangan keduanya saling terhubung. Pola *live bus – live line* diterapkan pada proses penutupan PMT secara manual atau otomatis (*autoreclose*), untuk kebutuhan sinkronisasi.

2. *Live Bus – Dead Line*

Pola *live bus – dead line* maksudnya adalah kondisi awal *bus* pada keadaan bertegangan dan *line* pada keadaan tidak bertegangan keduanya tidak saling terhubung. Pola *Live bus – dead line* diterapkan pada proses penutupan PMT untuk kebutuhan pengiriman tegangan.

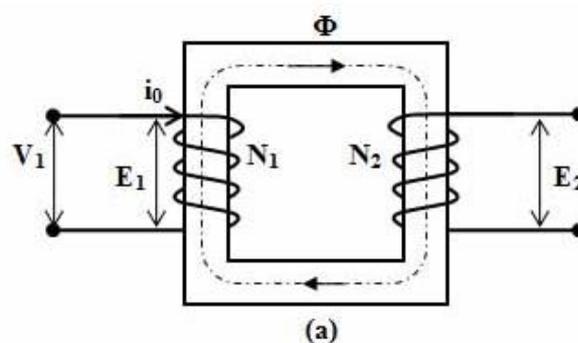
3. *Dead Bus – Live Line*

Pola *dead bus – live line* maksudnya adalah kondisi awal *bus* pada keadaan tidak bertegangan dan *line* pada keadaan bertegangan keduanya tidak saling terhubung. Pola *dead bus – live line* diterapkan pada proses penutupan PMT untuk kebutuhan penerimaan tegangan.

2.9 Perangkat Simulasi

2.9.1 Transformator

Menurut Zuhail dan Zhanggishan dalam buku *Prinsip Dasar Elektroteknik* transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet ^[11].



Gambar 2-17 Konstruksi Transformator ^[11]

Jika kumparan primer transformator dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik, transformator akan mengalirkan arus pada kumparan primer dan menghasilkan fluks magnet yang berubah-ubah sesuai frekuensi yang masuk ke transformator. Fluks magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi ke kumparan sekunder. Sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul GGL induksi.

Besar tegangan keluaran (GGL) dari sebuah transformator, nilainya berbanding lurus dengan besar perubahan fluks pada saat terjadi induksi. Jika kumparan primer suatu transformator dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sementara kumparan sekunder dalam keadaan tidak dibebani, maka di kumparan primer mengalir arus yang disebut dengan arus beban nol (I_0). Arus ini akan membangkitkan fluks bolak-balik pada inti. Fluks bolak-balik ini dilingkupi oleh kumparan primer dan kumparan sekunder, sehingga pada kedua kumparan timbul gaya gerak listrik yang besarnya:

$$E_1 = 4.44.N_1.f_1.\phi \quad (\text{persamaan 2-1})$$

$$E_2 = -4.44.N_2.f_2.\phi$$

Pada persamaan di atas:

E_1 = Gaya gerak listrik pada kumparan primer (Volt)

N_1 = Jumlah belitan kumparan primer

f = frekuensi tegangan sumber (Hz), dan

ϕ = fluks magnetik pada inti (weber)

Sehingga

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{persamaan 2-2})$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor, maka diketahui bahwa nilai perbandingan transformasi adalah :

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{persamaan 2-3})$$

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder sebesar $I_2 = V_2 / Z_L$. Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya

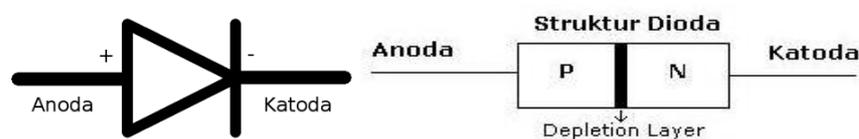
gerak magnet (ggm) N_2I_2 yang cenderung menentang fluks yang ada akibat arus pemagnetan (I_M). Agar fluks tidak berubah nilainya, maka pada kumparan primer harus mengalir arus sebesar $I_1 = I_0 + I_2$. Sehingga berlaku hubungan :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{persamaan 2-4})$$

Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Transformator yang digunakan untuk catu daya adalah transformator *step-down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan komponen elektronika yang terdapat pada rangkaian catu daya (DC *power supply*). *Output* dari transformator masih berbentuk arus bolak-balik (arus AC) yang harus diproses untuk menjadi arus searah (arus DC) oleh *rectifier*.

2.9.2 Dioda

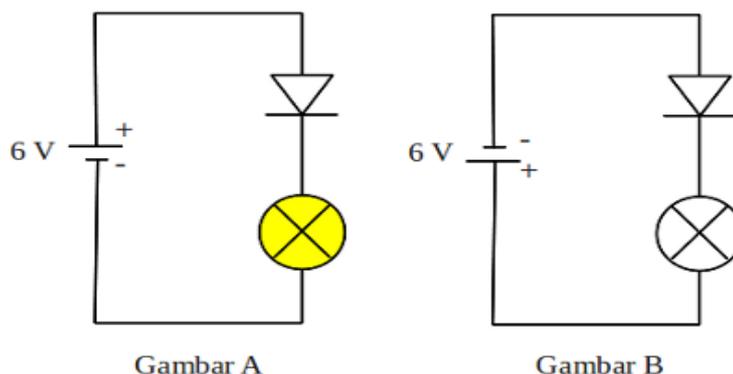
Menurut Zuhail dan Zhanggishan dalam buku *Prinsip Dasar Elektroteknik* dioda adalah suatu bahan semikonduktor (silikon) yang tersusun atas ‘pn *junction*’ dan didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan arus pada satu arah saja ^[11]. Elektroda N adalah katoda yang berkutub negatif sedangkan lapisan P adalah anoda berarti berkutub positif.



Gambar 2-18 Simbol Dioda ^[8]

Pada daerah sambungan 2 jenis semikonduktor yang berlawanan tersebut akan muncul daerah deplesi yang akan membentuk gaya barier. Gaya barier ini dapat ditembus dengan tegangan + sebesar 0,7 V yang dinamakan sebagai *Break*

Down Vage, yaitu tegangan minimum yang dibutuhkan dioda agar dapat bersifat sebagai konduktor atau penghantar arus listrik. Penggunaan diode sebagai penyearah yakni mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC denyut.

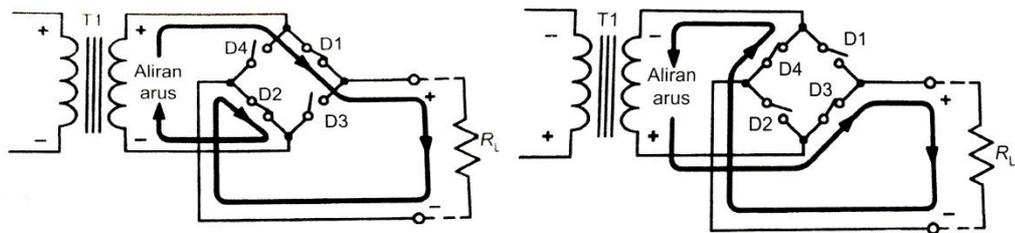


Gambar 2-19 (A) *Forward Bias* (B) *Reverse Bias* ^[8]

Dioda akan mengalirkan arus jika polaritas sumber tegangan mengalir dari anoda ke katoda, kondisi ini dikatakan *forward bias*. Sebaliknya, jika polaritas sumber tegangan dibalik dari katoda ke anoda maka dioda menahan arus listrik, kondisi ini dikatakan *reverse bias*.

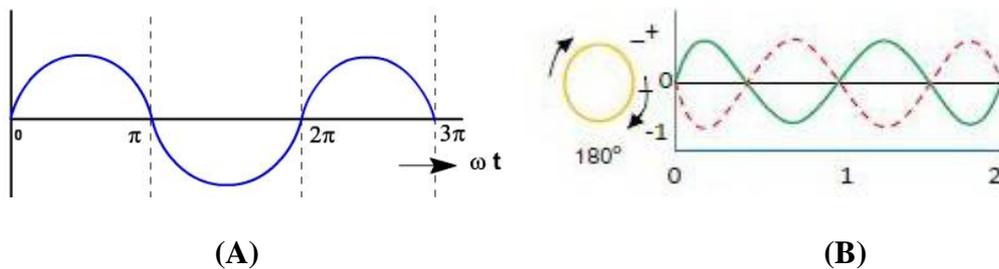
Jika dioda diberi tegangan maju (*forward bias*), dimana tegangan sisi P lebih besar dari sisi N, elektron dengan mudah mengalir dari sisi N mengisi kekosongan elektron (*hole*) di sisi P. Sebaliknya jika diberi tegangan balik (*reverse bias*), dapat dipahami tidak ada elektron yang dapat mengalir dari sisi N mengisi *hole* di sisi P, karena tegangan potensial di sisi N lebih tinggi. Pada Gambar 2-19 (A) dapat dilihat bahwa dioda mendapat *forward bias* sehingga lampu dapat menyala, sedangkan pada Gambar 2-19 (B) dioda mendapat *reverse bias* sehingga lampu tidak dapat menyala karena arus sumber tegangan tertahan.

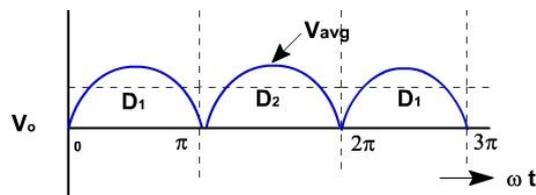
Ada dua tipe rangkaian penyearah dengan dioda yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Berikut gambar rangkaian penyearah gelombang penuh :



Gambar 2- 1 Penyearah Jembatan pada Siklus Positif dan Negatif ^[12]

Pada penyearah gelombang penuh terdapat 4 buah diode, saat tegangan AC mengalir, maka kutub positif hanya dapat mengalir ke anoda pada dioda 2 dan dioda 3 sebab pada dioda 1 dan dioda 4 kutub positif tertahan oleh katoda pada dioda-dioda tersebut, skema aliran tegangan dapat dilihat pada gambar 2-20 (B). Kemudian saat kutub diubah, dimana kutub positif berada di bawah, maka arus akan mengalir melewati dioda 1 dan dioda 4 karena searah dengan anoda pada dioda-dioda tersebut. Namun, pada dioda 2 dan dioda 3 tidak dapat mengalir karena tertahan oleh katoda pada dioda-dioda tersebut, skema aliran tegangan dapat dilihat pada gambar 2-20 (B).





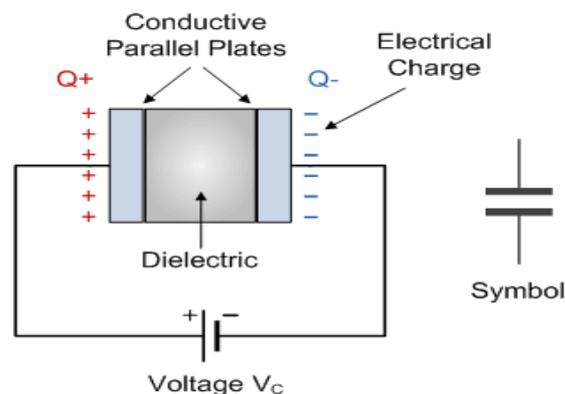
(C)

Gambar 2-21 Output Penyearah Gelombang Penuh ^[13]

Bentuk gelombang yang terjadi pada *output* penyearah gelombang penuh dapat dilihat pada Gambar 2-21. Arus AC yang mengalir pada rangkaian penyearah gelombang penuh mulanya akan berbentuk gelombang sinus seperti pada Gambar 2-21 (A). Pada setengah siklus positif, dioda D2 dan D3 konduksi on dan menghasilkan gelombang *output* setengah siklus. Selanjutnya, untuk dioda D1 dan D4 konduksi dan menghasilkan gelombang setengah siklus negatif. Pada 2 kondisi tersebut, gelombang bertemu sehingga akan tampak bentuk gelombang seperti pada Gambar 2-21 (B). Gelombang yang terjadi adalah gelombang positif bukan negatif, pertemuan kedua kondisi gelombang tersebut menghasilkan bentuk gelombang seperti yang terlihat pada Gambar 2-21 (C). Gelombang inilah yang menjadi *output* dari penyearah gelombang penuh, yaitu berupa DC denyut.

2.9.3 Filter

Suatu penyaring (*filter*) listrik adalah suatu rangkaian yang melewatkan arus searah dan menolak arus bolak-balik untuk memperlemah riak / *ripple* ^[12]. Penyaring yang digunakan dalam rangkaian catu daya adalah kapasitor, yaitu komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Gambar 2-22 merupakan struktur dari kapasitor.

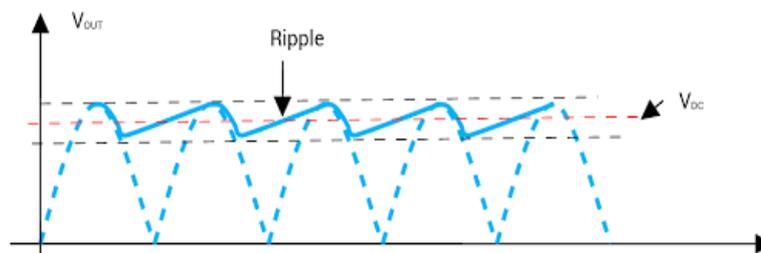


Gambar 2-22 Struktur Kapasitor

Kapasitor terbuat dari 2 buah pelat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan *dielektrik* (keramik, gelas, kertas, dll). Jika kedua ujung pelat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki elektroda, 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*. Kapasitor sendiri memiliki kemampuan untuk pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*), kemampuan kapasitor inilah yang berfungsi untuk mengurangi riak/*ripple* pada sinyal *output* tersebut. Kapasitor akan mengisi jika dialiri tegangan hingga batas tegangan maksimal. Ketika gelombang mengalami penurunan nilai, maka kapasitor akan melakukan pengosongan sehingga bentuk gelombang mengalami kestabilan/lurus. Semakin besar nilai kapasitansi suatu kapasitor maka itu semakin baik.

Gambar 2-23 berikut merupakan gambar bentuk gelombang *output filter* kapasitor :



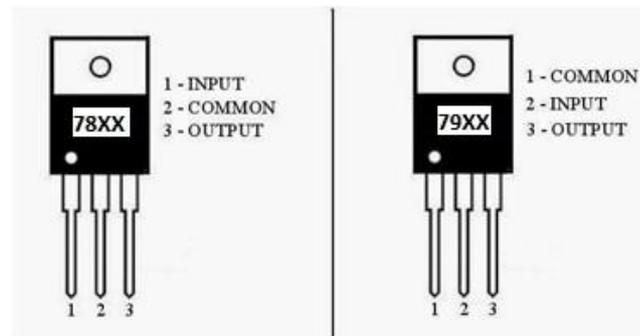
Gambar 2-23 Gelombang *Output Filter* Kapasitor

2.9.4 Regulator Tegangan

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

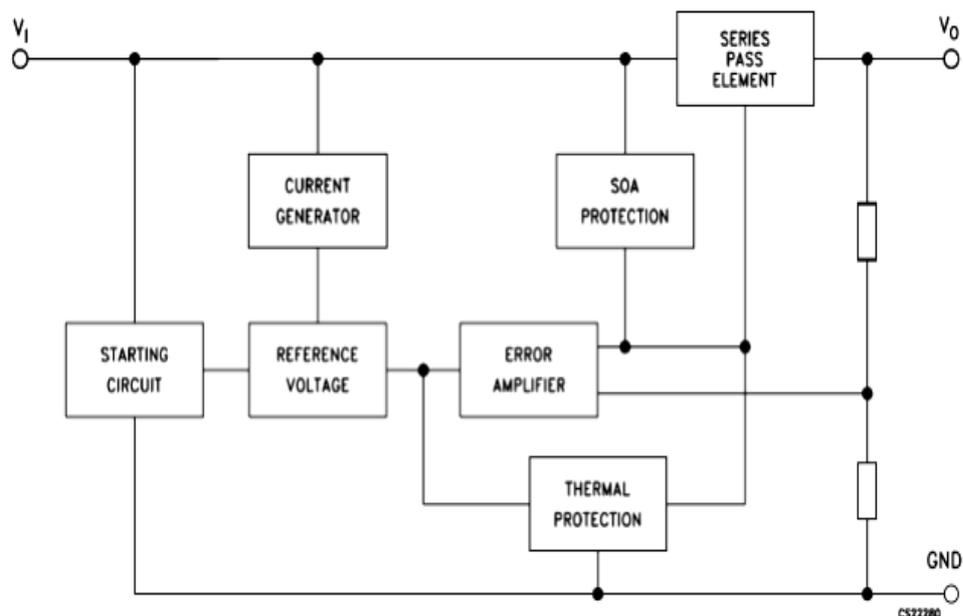
Komponen elektronika yang digunakan sebagai regulator tegangan adalah dioda zener. Ciri khas dioda zener yakni bila dibias *forward*, maka dioda zener akan bertindak sebagai dioda pada umumnya, sedangkan bila dibias *reverse* dioda zener akan mengalirkan arus dari katoda ke anoda dengan syarat diberi 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.

Penggunaan *regulator* tegangan sekarang banyak digunakan dalam bentuk *chip IC*, seperti ditunjukkan pada gambar 2-24. *IC regulator 78XX* untuk tegangan positif dan seri *79XX* untuk tegangan negatif.



Gambar 2-24 Diagram *Pinout* dari *Vage Regulator* ^[17]

Besarnya tegangan keluaran *IC 78XX* dan *79XX* ini dinyatakan dengan dua angka terakhir pada serinya. Contoh *IC 7812* adalah regulator tegangan positif dengan tegangan keluaran 12 V, sedangkan *IC 7912* adalah regulator tegangan negatif dengan tegangan keluaran -12 V. Namun dalam alat ini hanya menggunakan *IC* seri *78XX* saja.



Gambar 2-25 Blok Diagram Internal *IC 78XX* ^[14]

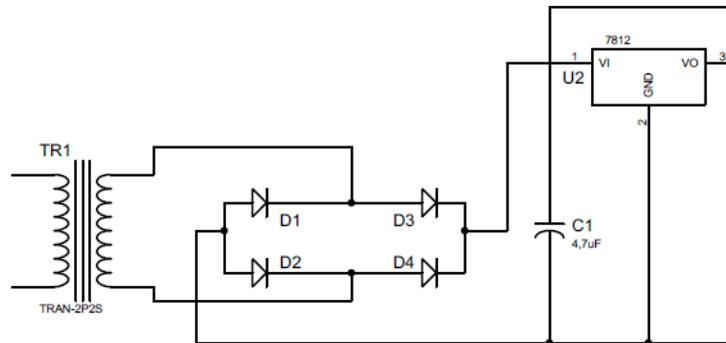
Pada gambar 2-25 yang merupakan blok diagram internal IC 78XX, blok tegangan referensi adalah dimana dioda zener berada. Bila tegangan *input* yang masuk pada LM7805 sesuai dengan tegangan minimalnya maka *output* zener akan tetap sesuai dengan tegangan referensinya, namun bila *input* berada dibawah 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. Berikut ini menunjukkan beberapa tipe regulator beserta referensi tegangannya :

Tabel 2-9 Referensi Tegangan *Input* IC L7805 dan IC L7812 ^[17]

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. Berdasarkan tabel 2-9 diatas, diambil kesimpulan bahwa nilai tegangan *output* akan tetap konstan meskipun tegangan *input* bervariasi, namun dalam *range* tertentu.

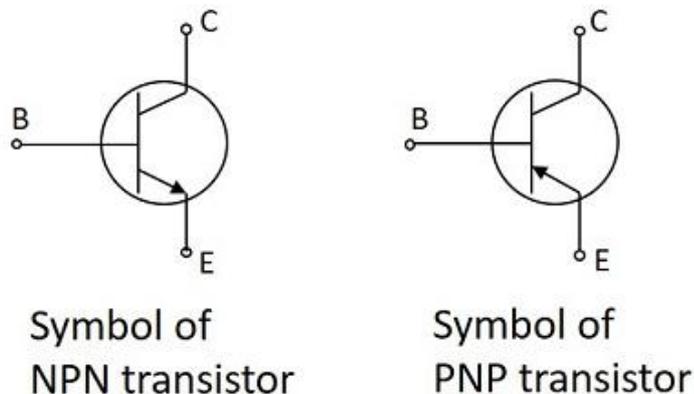
Rangkaian catu daya menggunakan IC 7812 ditunjukkan dalam gambar berikut :



Gambar 2- 26 Voltage Regulator dalam Catu Daya

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 NPN untuk tegangan positif atau PNP untuk tegangan negatif.

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) ^[15]. Ketiga terminal transistor disebut *Emitter*, *Basis*, dan *Collector*. Berikut gambar simbol transistor :

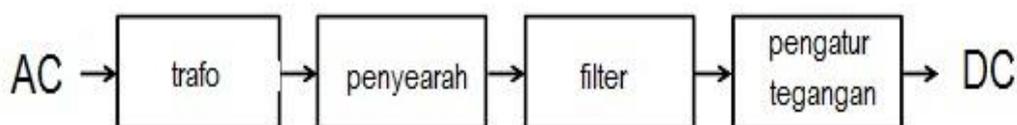


Gambar 2-27 Simbol Transistor ^[15]

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.

2.9.5 Catu Daya

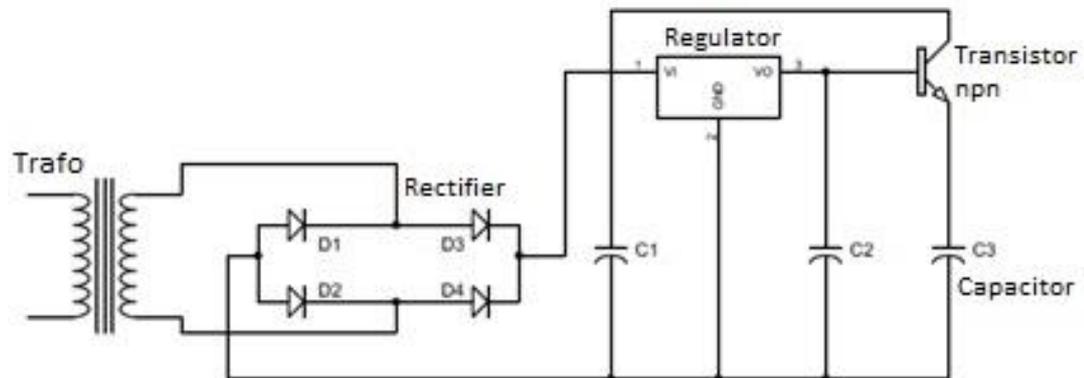
Catu daya atau sering disebut dengan *Power Supply* adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain yang mempunyai *input* tegangan AC (*Alternating Current*) dan mempunyai output tegangan DC (*Direct Current*)^[11]. Berikut adalah diagram blok untuk catu daya :



Gambar 2-28 Blok Diagram Catu Daya

Tegangan sumber AC awalnya ditransformasikan oleh transformator *step-down* menjadi tegangan AC dengan besaran yang lebih kecil sesuai dengan penjelasan 2-9.2- Tegangan *output* transformator yang masih berupa tegangan AC kemudian disearahkan oleh *rectifier* / dioda dengan penyearah gelombang penuh 4 dioda sesuai penjelasan 2-9.3, setelah disearakan tegangan *output rectifier* menjadi tegangan DC denyut yang masih harus difilter untuk menjadi tegangan DC murni. DC denyut *output* dari *rectifier* kemudian difilter oleh kapasitor sehingga *output* kapasitor menjadi DC murni sesuai penjelasan 2-9.4. 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.

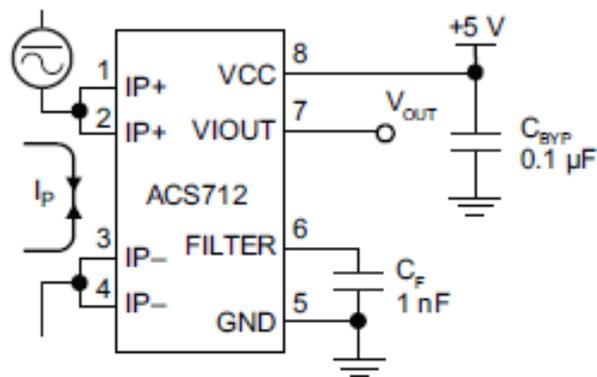
Berikut merupakan rangkaian keseluruhan catu daya :



Gambar 2-29 Rangkaian Catu Daya

2.9.6 Sensor Arus ACS 712

ACS712 merupakan seri sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan (Hall Effect). Efek *Hall* adalah peristiwa membeloknya arus listrik di dalam pelat konduktor karena adanya pengaruh medan magnet ^[18]. Berikut konfigurasi pin ACS712 :



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

Gambar 2-30 Sensor Arus ACS712 ^[19]

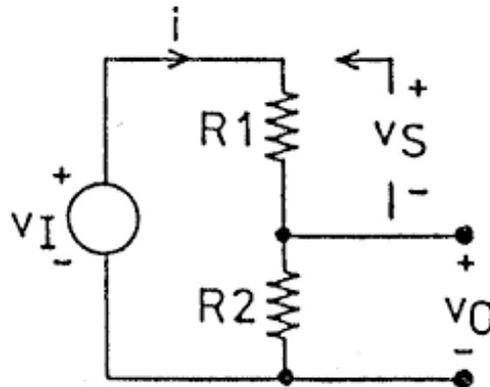
Layaknya amperemeter pada umumnya, sensor ACS712 juga dipasang secara seri dengan beban. Sensor ini bisa digunakan untuk mengukur arus AC maupun DC. Terdapat keadaan dimana saat tidak ada arus yang melewati ACS712, maka keluaran sensor adalah $(0,5 \times V_{cc})$ sebesar 2,5 V. Dan saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan $>2,5$ V. Sedangkan ketika arus listrik mengalir terbalik dari IP- ke IP+, maka keluaran akan $<2,5$ V (*datasheet IC 78XX*).

Aliran arus listrik phase pada beban dilewatkan ke kaki 1, 2 dan kaki 3, 4 tersambung langsung pada beban, arus yang melewati beban akan menciptakan medan magnet (*hall effect*). Besaran medan magnet itulah yang kemudian menginduksi bagian *dynamic offset cancellation* dan setelah itu sinyal tegangan akan dikuatkan dan disaring oleh amplifier dan filter pada ACS712 sebelum dikeluarkan melalui *Vout* pada kaki 7 dan kemudian dikonversikan dalam bentuk ADC pada Arduino.

Spesifikasi sensor arus ACS712 yaitu arus maksimum yang dilewatkan sebesar 5A dan sensitivitas sebesar 185 mV/A, artinya setiap sensor merasakan kenaikan tegangan 185 mV/A, maka mengindikasikan arus 1A ^[19].

2.9.7 Pembagi Tegangan

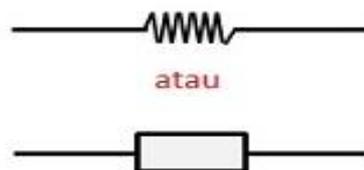
Dalam elektronik, pembagi tegangan juga dikenal sebagai pembagi potensial adalah sebuah rangkaian elektronika linear yang dapat menghasilkan tegangan *output* yang lebih kecil dari tegangan masukannya ^[20].



Gambar 2-31 Rangkaian Resistor Sebagai Pembagi Tegangan ^[20]

Pembagi tegangan biasanya menggunakan dua resistor atau dibuat dengan potensiometer. Tegangan output tergantung dari nilai-nilai komponen resistor atau dari pengaturan potentiometer. Ketika pembagi tegangan diambil dari titik tengah, tegangan akan terbagi sesuai dengan nilai hambatan yang di pasang.

Resistor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menghambat atau membatasi aliran listrik yang mengalir dalam suatu rangkain elektronika ^[12]. Komponen ini memiliki bentuk kecil dan memiliki gelang warna yang menunjukkan besar dan kecilnya suatu tahanan. Resistor memiliki 2 buah kaki pada ujungnya dan tidak memiliki kutub positif dan kutub negatif sehingga pemasangannya boleh terbalik.



Gambar 2-32 Simbol Resistor ^[9]

Dalam menentukan resistor yang diperlukan digunakan perhitungan untuk mendapat nilai resistor yang sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan.

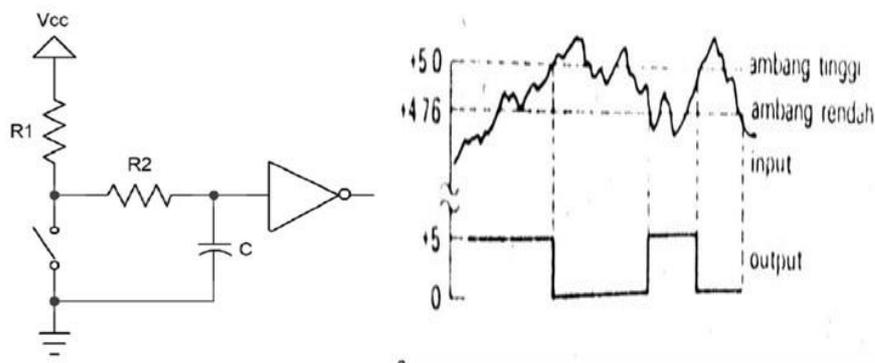
Berikut perhitungannya :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_1 \quad (\text{persamaan 2-5})$$

2.9.8 Rangkaian Debouncer

Rangkaian *debouncer* adalah saklar penghubung antara *push button* dan mikrokontroler yang berperan sebagai *gate* untuk menghubungkan sinyal yang diberikan oleh *push button* kepada mikrokontroler melalui rangkaian *switch trigger* atau IC 7414 LS ^[10].

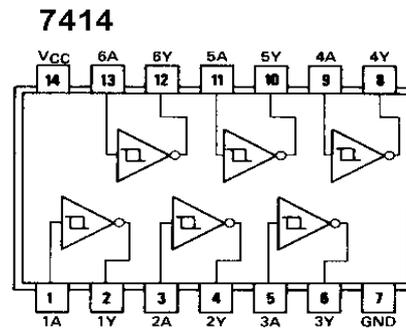
Berikut merupakan gambar rangkaian *debouncer* dan gelombang *output* rangkaian *debouncer* :



Gambar 2-33 Rangkaian *Debouncer* (kiri); Gelombang *output* rangkaian *debouncer* (kanan)

Pemicu Schmitt (*Schmitt trigger*) adalah piranti yang mengubah isyarat masukan bentuk gelombang sembarang menjadi gelombang kotak pada isyarat keluarannya ^[21]. Gelombang kotak sangat dibutuhkan dalam sistem digital karena mempunyai waktu bangkit yang cepat (sisi naik dan turunnya sangat tajam). Selain itu piranti ini juga dapat menghilangkan isyarat-isyarat yang dapat mengganggu

kerja suatu sistem digital. Pemicu *Schmitt* ini telah tersedia dalam gerbang logika IC SN74LS14. Berikut merupakan gambar IC SN7414LS :



Gambar 2-34 IC SN7414LS ^[22]

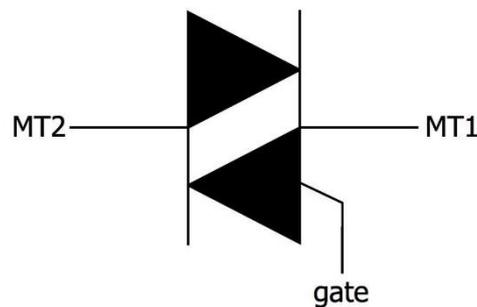
Dalam IC SN74LS14 ini terdapat 6 buah pembalik / gerbang NOT Pemicu *Schmitt*. IC SN74LS14 dioperasikan dengan sumber tegangan DC +5 V. IC SN7414LS terdiri dari 14 pin, pin 14 merupakan vcc, pin 7 merupakan *ground*, pin 1-3-5-9-11-13 merupakan *input*, dan pin 2-4-6-8-10-12 merupakan *output*. Tegangan ambang atas pada pemicu *Schmitt* dalam IC SN74LS14 ini dilambangkan dengan V_{t+} sebesar 1,6 V sedangkan tegangan ambang bawahnya V_{t-} sebesar 0,8 V ^[22]. Karena terdiri dari gerbang NOT atau pembalik maka saat tegangan masukannya mencapai tegangan ambang atas (V_{t+}) maka keluarannya akan berlogika 0, sedangkan saat tegangan masukannya kurang dari tegangan ambang bawahnya (V_{t-}) maka keluaran yang dihasilkan berlogika 1.

2.9.9 Rangkaian *Dimmer*

Rangkaian *dimmer* adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya tegangan AC pada suatu rangkaian sehingga berpengaruh terhadap kerja rangkaian peralatan listrik tersebut, biasanya untuk mengatur

kecepatan motor induksi satu fasa seperti pada bor listrik ^[23]. Rangkaian *dimmer* terdiri dari komponen utama berupa triac , diac dan potensiometer.

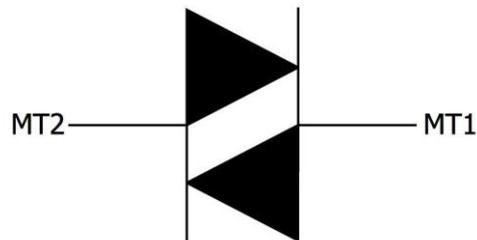
Triac adalah sebuah komponen elektronik pengembangan dari thyristor yang kira-kira ekuivalen dengan dua thyristor yang disambungkan yang memiliki 3 buah electrode yaitu gerbang (Gate), terminal utama 1 (MT1) dan terminal utama 2 (MT2) ^[24]. Ketika dipicu triac akan menghantarkan baik pada setengah siklus positif maupun setengah siklus negatif. Triac dapat menghantarkan tegangan atau dalam kondisi hidup jika gate dialiri arus. Tegangan positif dapat dicatu di antara gate dan MT1 sedangkan tegangan negatif dapat dicatu diantara gate dan MT2- Berikut merupakan gambar sambungan - sambungan triac :



Gambar 2-35 Sambungan – Sambunugan Triac ^[24]

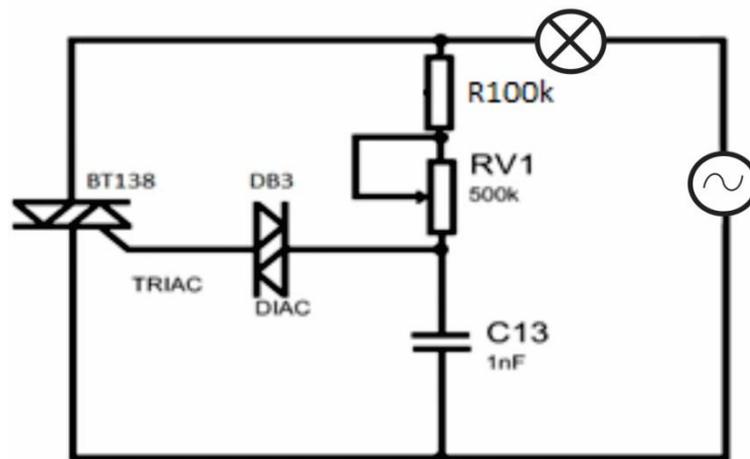
Diac adalah komponen aktif elektronika yang memiliki dua terminal dan dapat menghantarkan arus listrik dari kedua arah jika tegangan melampaui batas *breakover*-nya ^[24]. Setelah memasuki kondisi menghantar, resistansi diac jatuh hingga mencapai nilai yang sangat rendah sehingga arus yang mengalir relatif besar. DIAC merupakan anggota dari keluarga Thyristor, namun berbeda dengan Thyristor pada umumnya yang hanya menghantarkan arus listrik dari satu arah, DIAC memiliki fungsi yang dapat menghantarkan arus listrik dari kedua arahnya

atau biasanya disebut juga dengan *Bidirectional Thyristor*. Berikut merupakan gambar sambungan - sambungan diac :



Gambar 2-36 Sambungan – Sambungan Diac ^[24]

Berikut merupakan gambar rangkaian *dimmer* :



Gambar 2-37 Rangkaian *Dimmer*

Dalam rangkaian ini triac berfungsi sebagai *supply* akhir ke beban dengan cara mengatur besarnya arus yang mengalir. Potensiometer berfungsi untuk mengubah nilai tahanan yang berpengaruh terhadap tegangan pada gate. Dalam rangkaian ini diac digunakan untuk *mentrigger* triac. Saat potensiometer mengalami perubahan nilai tahanan, maka besarnya intensitas tegangan yang dialirkan berubah karena pengaturan *gate* oleh potensiometer dan diac. *Gate* triac

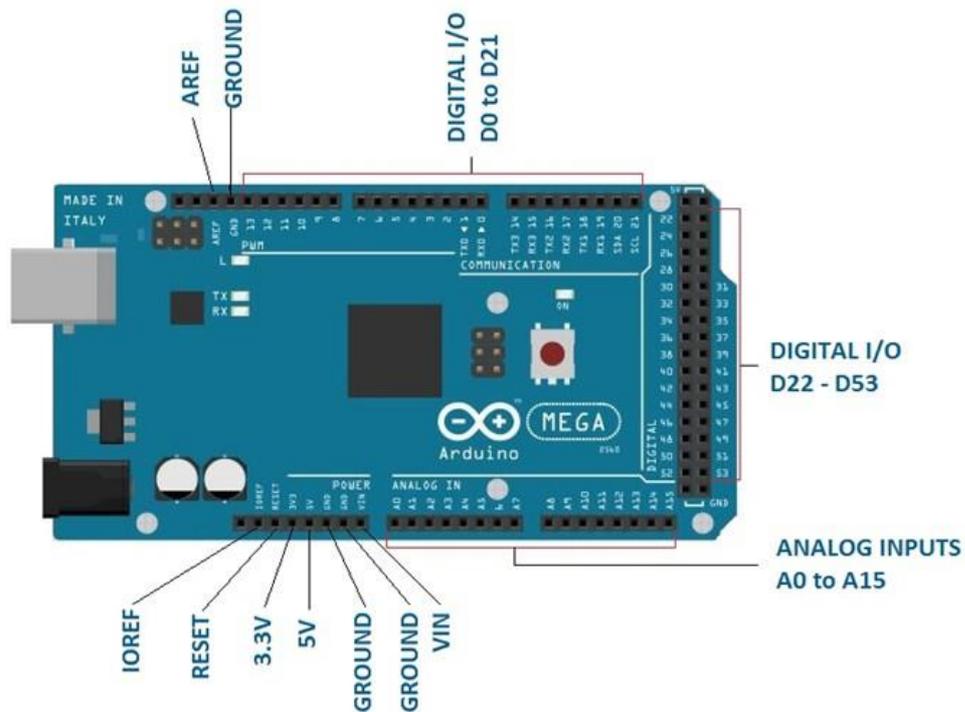
akan terbuka dan tertutup seiring dengan besarnya tegangan pada *gate*. Semakin besar tegangan, maka triac akan mengalirkan arus yang semakin besar menuju ke beban.

2.9.10 Arduino Mega 2560

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler [25]. Mikrokontroler sendiri merupakan sebuah komputer yang berukuran mikro dalam satu chip *IC (integrated circuit)* yang terdiri dari *processor*, *memory*, dan antarmuka yang bisa diprogram. Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kontrol yang mengatur *input*, proses, dan *output* sebuah rangkaian elektronik.

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 agar *Arduino* dapat beroperasi dengan optimal adalah 7 sampai 12 V [25].

Arduino Mega 2560 mempunyai beberapa pin yang terbagi berdasarkan fungsinya. Berikut merupakan gambar pembagian pin pada *Arduino Mega 2560* :



Gambar 2-38 Mapping Pin Arduino Mega 2560 ^[26]

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*

Setiap pin digital pada *Arduino Mega 2560* yang berjumlah 54 pin dapat digunakan sebagai *input* atau *ouput*, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Setiap pin mempunyai arus maksimum 40 mA dan mempunyai resistor *pull-up* internal dengan hambatan 20-50 k Ω ^[25].

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()* [25]. 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.

Berikut adalah beberapa pin yang memiliki fungsi khusus :

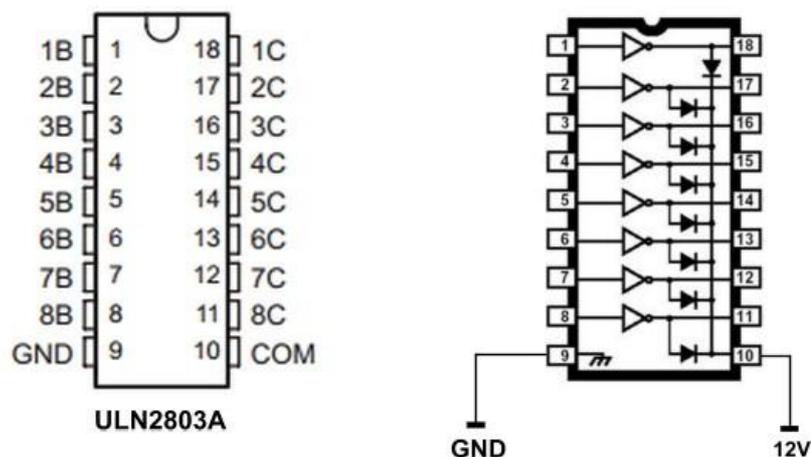
1. **Serial: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX)**. Pin ini digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial TTL.
2. **Interupsi Eksternal**: pin 2 (*interrupt 0*), pin 3 (*interrupt 1*), pin 18 (*interrupt 5*), pin 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*.

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

2.9.11 Driver Relai IC ULN2803

Driver relai merupakan rangkaian yang digunakan untuk menggerakkan relai. Rangkaian ini digunakan sebagai *interface* antara *relai* yang memiliki tegangan kerja bervariasi, misalnya 12V dengan *microcontroller* yang hanya bertegangan 5V. Sebab, tegangan *output* mikrokontroler sebesar 5V tersebut belum bisa digunakan untuk mengaktifkan *relai*. Berikut gambar pin diagram ULN2803 :

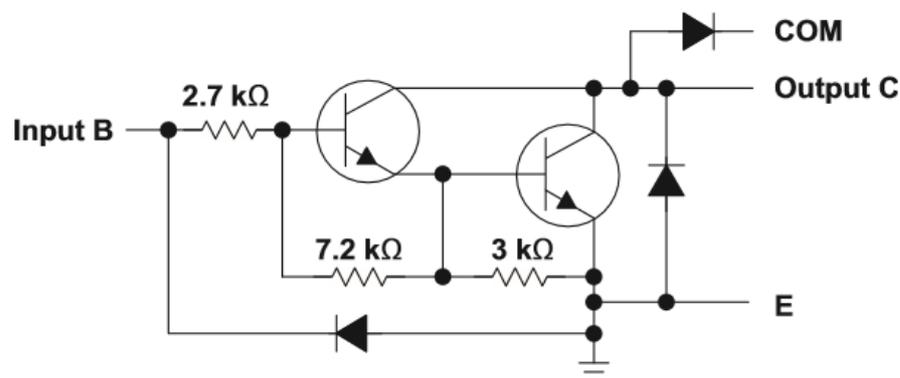


Gambar 2-39 Pin Diagram ULN2803 [27]

ULN2803 merupakan salah satu *chip* IC yang mampu difungsikan sebagai *driver* relai. IC ini mempunyai 8 buah pasangan transistor *Darlington npn*, dengan tegangan *output* maksimal 50 V dan arus setiap pin mencapai 500mA. Pasangan transistor *darlington* adalah penggabungan dua buah transistor sejenis ^[28]. Keuntungan transistor *darlington* yakni mempunyai impedansi input tinggi dan impedansi *output* rendah. Pada gambar 2-44 menunjukkan *pin-out* diagram ULN2803. 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. ^[28]

Berikut merupakan gambar menunjukkan pasangan Darlington didalam IC ULN 2803 :



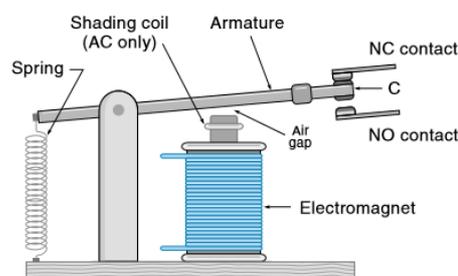
Gambar 2-40 Pasangan *Darlington* Dalam ULN2803 ^[27]

Gambar 2-45 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 5V, 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*.

2.9.12 Relai 12 VDC

Relay elektromekanik adalah peralatan yang menggunakan elektromagnet untuk menghasilkan tenaga penutupan/pembukaan kontak, dengan kata lain, *relay* merupakan saklar elektrik [28].

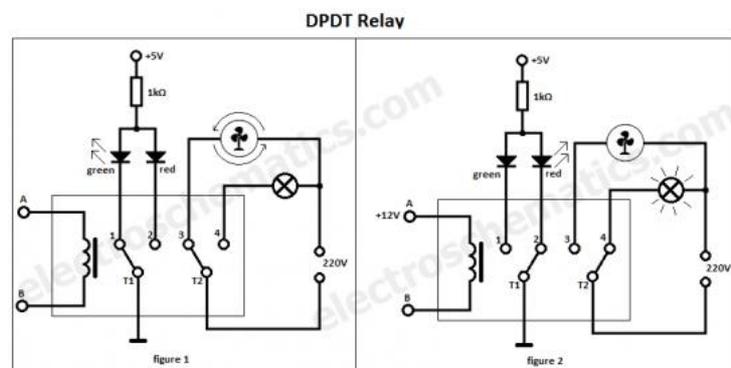


Gambar 2-41 Bagian-Bagian dari Relai [28]

Relai elektromekanik terdiri atas *coil* (kumparan) dan kontak. Cara kerja relai yaitu ketika kumparan dialiri arus listrik maka akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik *armature* berpegas, dan kontak akan menutup. Kontak dapat berupa kontak *normally open* (NO) maupun kontak *normally closed* (NC).

Berdasarkan jumlah *pole* (kontak) dan jumlah *throw* (kondisi kontak) maka *relay* dapat digolongkan menjadi empat yaitu *Single Pole Single Throw* (SPST), *Single Pole Double Throw* (SPDT), *Double Pole Single Throw* (DPST), *Double Pole Double Throw* (DPDT).

Dalam rancangan alat yang dibuat, digunakan relay jenis *double pole double throw* (DPDT).



Gambar 2-42 Relai DPDT Menggerakkan 2 Beban ^[29]

Dalam hal ini, relai memiliki satu coil yang apabila ia diberi arus DC ia akan menginduksi kumparan dan akan menggerakkan 2 kontak secara bersamaan. Digunakannya relai tersebut bertujuan agar dapat menggerakkan dua beban sekaligus.