

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penulisan laporan tugas akhir ini menggunakan beberapa referensi mengenai studi jatuh tegangan pada jaringan distribusi yang sebelumnya sudah ada.

Jatuh tegangan di Gardu Talao Cendana, Bukittinggi, Padang, Sumatera Barat sebesar 11,6% atau 24 Volt dari tegangan pangkal 196Volt dan tegangan ujung 172Volt<sup>[3]</sup>. Variasi tegangan pelayanan kepada pelanggan menurut PLN, sebagian akibat jatuh tegangan yang diizinkan dalam Jaringan Tegangan Rendah adalah 4% dari tegangan sistem<sup>[3]</sup>. Dari hasil tersebut maka jatuh tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah di Gardu Talao Cendana II melampaui batas standar yang telah ditentukan jika tidak dilakukan pengaturan tegangan<sup>[3]</sup>.

Tegangan di Desa Sumberejo Kecamatan Jaken, Kabupaten Pati terukur tegangan pangkal 195 Volt dan tegangan ujung 183 Volt sehingga jatuh tegangan mencapai 6,15% atau 12Volt . Dengan demikian nilai jatuh tegangan melampaui batas yang diizinkan PLN yaitu 4% pada trafo distribusi. Untuk itu perlu dilakukan pengaturan tegangan salah satunya adalah dengan mengatur posisi *tap changer* trafo yang disesuaikan dengan nilai jatuh tegangan.<sup>[4]</sup>

Menurut SPLN 1 tahun 1995, variasi tegangan yang diperbolehkan yaitu +5% dan minimum -10% terhadap tegangan normal. Dampak dari trafo yang mengalami over blast akan terjadi pengurangan umur trafo dan kualitas mutu pelayanan dari trafo tersebut. Sedangkan pada tegangan ujung yang besarnya masih berada di atas 200 V, drop tegangannya masih bisa ditoleransi. Akan tetapi,

bila tegangannya berada di bawah 180 V, maka dampaknya akan terasa pada peralatan listrik pelanggan<sup>[5]</sup>.

Perbedaan laporan tugas akhir yang dibuat penulis dengan referensi-referensi diatas adalah penulis akan membahas tentang Model Simulasi pemantauan regulasi tegangan transformator distribusi pada sisi pembebanan 220 Volt terhadap kinerja tap changer transformator secara otomatis yang diakibatkan karena jatuh tegangan. Alat ini berfungsi untuk mengetahui tegangan pada sisi pembebanan secara *realtime* sehingga apabila terjadi indikasi *jatuh* tegangan dapat diketahui lebih dini dengan menggunakan tegangan dan arus sebagai variabel pengukurannya. Alat ini juga dilengkapi sistem kontrol pergantian posisi *tap changer* trafo secara otomatis sehingga tegangan akan selalu terjaga sesuai dengan tegangan sistem. Pergantian posisi *tap changer* ini dipengaruhi oleh *jatuh* tegangan, semakin tinggi *jatuh* tegangan maka semakin tinggi pula posisi *tap* transformator dan begitu pula sebaliknya. Setelah dilakukan pemindahan tapping trafo ini diharapkan dapat mengurangi drop tegangan di sisi pembebanan sehingga tegangan sesuai dengan ketentuan SPLN 1:1995.

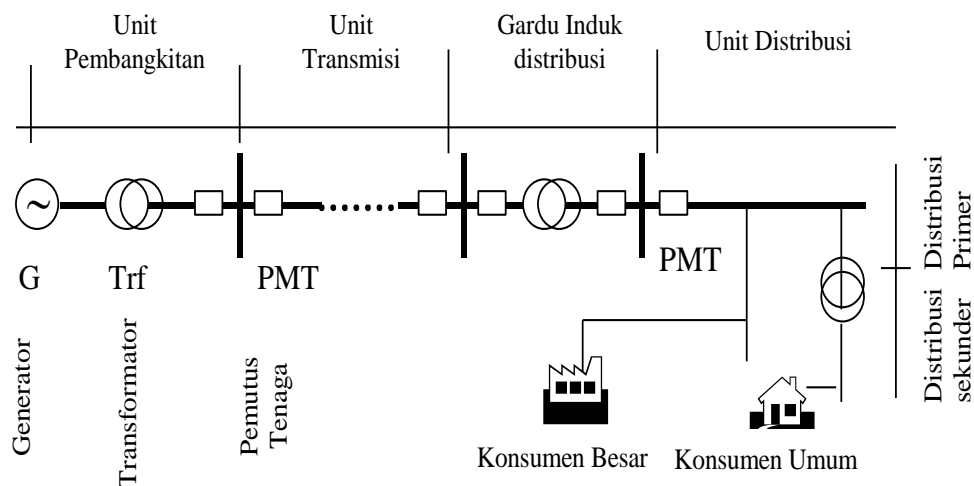
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan semua bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar dengan rangkaian pelayanan pada konsumen. Sumber daya besar adalah pusat-pusat pembangkit listrik. Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat – pusat listrik seperti PLTA,

PLTU, PLTG, dan lain – lain yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator *step up*.<sup>[22]</sup>

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan sisi beban/konsumen. Dimana sistem distribusi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai yang dalam hal ini dapat berupa gardu induk atau pusat pembangkit ke pusat-pusat/kelompok beban (gardu distribusi) dan pelanggan melalui jaringan primer dan jaringan sekunder<sup>[22]</sup>. Gambar 2.1 merupakan jaringan distribusi dalam instalasi sistem tenaga listrik.



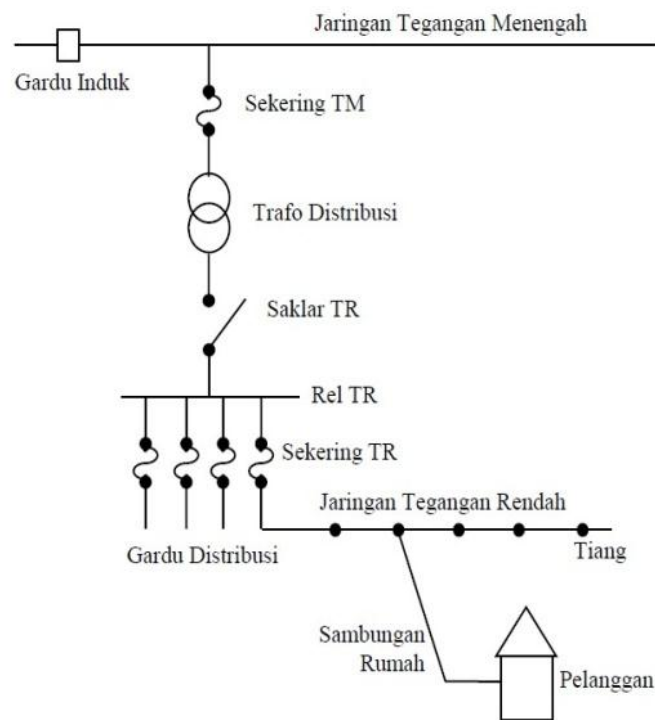
Gambar 2.1 Jaringan Distribusi dalam Instalasi Sistem Tenaga Listrik<sup>[22]</sup>.

Saluran Distribusi Primer atau biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation yang berada di Gardu Induk (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini memiliki tegangan kerja menengah 20kV.

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari GI distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan kabel udara

maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.

Saluran distribusi sekunder atau biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Saluran ini memiliki tegangan kerja 220 Volt. Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada dikonsumsi. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan adalah bentuk radial.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Sekunder<sup>[9]</sup>

### 2.2.2 Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Tegangan Rendah ialah jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya.

dari sumber penyaluran tegangan rendah tidak termasuk SLTR. Sedangkan Sambungan tenaga listrik tegangan rendah (SLTR) ialah penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan pada JTR sampai dengan alat pembatas dan pengukur (App). (SPLN No.56 tahun 1984). Jaringan tegangan rendah merupakan jaringan yang berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada JTR sistem tegangan distribusi primer 20 kV diturunkan menjadi tegangan rendah 220 V<sup>[10]</sup>. Sistem penyaluran daya listrik pada JTM maupun JTR dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.
2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (Low Voltage Twisted Cable). ukuran kabel LVTC adalah : 2 x 10 mm<sup>2</sup>, 2 x 16 mm<sup>2</sup>, 4 x 25 mm<sup>2</sup>, 3 x 35 mm<sup>2</sup>, 3 x 50 mm<sup>2</sup>, 3 x 70 mm<sup>2</sup>.

Penyambungan JTR menurut SPLN No.74 tahun 1987 yaitu “sambungan JTR adalah sambungan rumah (SR) penghantar di bawah tanah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan tiang JTR sampai alat pembatas dan pengukur (APP)”<sup>[11]</sup>. Spesifikasi umum sambungan rumah yaitu sebagai berikut :

1. Rugi Tegangan Jatuh tegangan maksimum yang diperkenankan sepanjang penghantar SR ialah 2%. Dengan catatan dalam hal ini SR diperhitungkan dari titik penyambung pada STR. Khusus untuk

penyambungan langsung dari papan bagi TR di gardu transformator jatuh tegangan diperkenankan maksimum 5%.

2. Ukuran Penghantar Minimum Ukuran penghantar minimum saluran rumah (SLP dan SMP) ialah untuk SLP, baik di atas ataupun di bawah tanah minimal  $10\text{mm}^2$ . Sedangkan untuk SMP penghantar aluminium minimal  $10\text{mm}^2$  atau tembaga minimum  $4\text{mm}^2$ . Sambungan rumah digunakan kabel pilin berinti tembaga atau aluminium, dengan ukuran inti tembaga adalah  $4\text{ mm}^2$ ,  $6\text{ mm}^2$ ,  $10\text{ mm}^2$ ,  $16\text{ mm}^2$ ,  $25\text{ mm}^2$ . Ukuran inti aluminium adalah  $10\text{ mm}^2$ ;  $16\text{ mm}^2$ ,  $25\text{ mm}^2$ ,  $35\text{ mm}^2$ .

3. Jumlah Langgan/Sambungan Seri Dengan memperhitungkan jatuh tegangan maksimum yang diizinkan,  $\cos \Phi = 0,85$  impedansi saluran dan "demand factor" = 0,5 maka didapatkan jumlah sambungan seri menurut ukuran dari jenis kabel SR, jarak SR dan besar beban tersambung rata-rata.

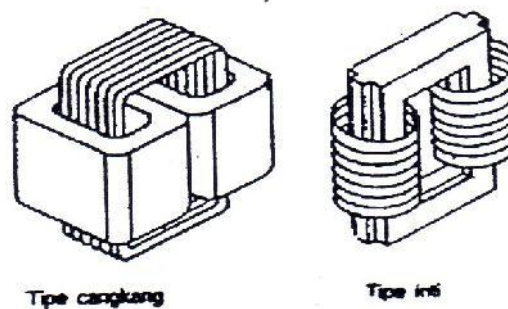
### 2.2.3 Trafo Distribusi

#### 2.2.3.1. Trafo 1 Fasa

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh<sup>[35]</sup>.

Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang<sup>[35]</sup>.



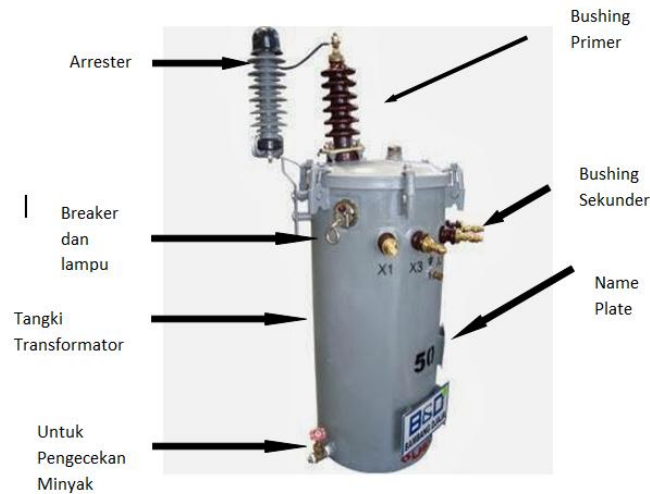
Gambar 2.3. Inti Trafo<sup>[35]</sup>.

#### 2.2.3.2. Transformator Distribusi CSP Satu Fasa

Trafo distribusi tipe CSP ini memiliki pengaman sebagai kesatuan unit trafo pengaman yang terdapat adalah pengaman terhadap gangguan surja petir dan surja hubung, pengaman beban lebih dan pengaman hubung singkat. Selain itu trafo ini juga dilengkapi dengan lampu merah peringatan yang akan menyala bila temperatur kumparan melebihi batas yang diijinkan untuk isolasinya. Kondisi ini apabila tidak diambil tindakan dan temperatur mencapai batas bahaya maka CB (*circuit breaker*) akan bekerja membuka. Apabila diperlukan CB dapat diset pada posisi darurat untuk melakukan beban lebih sementara. Dalam gambar terlihat bentuk trafo tipe CSP satu fasa<sup>[4]</sup>.

### 2.2.3.3. Bagian-bagian Trafo CSP

Berikut adalah bagian-bagian trafo distribusi CSP satu fasa :



Gambar 2.4. Trafo Tipe CSP<sup>[35]</sup>.

#### 1) Inti besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang diberi semacam lapisan isolasi yang tahan terhadap suhu tinggi. Lapisan ini harus ditekan untuk menghilangkan adanya celah udara antara plat satu dengan yang lain yang dapat menimbulkan suara keras ketika transformator beroperasi. Tujuan inti besi dibuat berlapis-lapis untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *eddy current*<sup>[35]</sup>.

#### 2) Kumparan

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus<sup>[35]</sup>.



### 3) *Bushing*

*Bushing* adalah sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator. *Bushing* digunakan untuk menghubungkan sisi tegangan tinggi ke transformator dan memiliki syarat titik tembus tertentu. Bahan utama *bushing* biasanya dibuat dari bahan keramik atau *arching horn*<sup>[35]</sup>.

### 4) Tangki Transformator

Tangki transformator merupakan bagian untuk menempatkan perlengkapan transformator distribusi, seperti : *bushing*, inti besi, kumparan, minyak transformator, *tap changer*, dan sebagainya. Bentuk tangki transformator bermacam-macam sesuai produk mereknya, misalnya : berbentuk kotak (segi empat) dan oval<sup>[5]</sup>.

### 5) Media Pendingin

Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan di dinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

Fungsi minyak transformator:

- a) Sebagai bahan isolasi.
- b) Sebagai pendingin.
- c) Sebagai penghantar panas dari bagian yang panas (koil dan inti) ke dinding bak<sup>[35]</sup>.

#### 6) *Tap Changer/Sadapan*

Dalam proses penyaluran tenaga listrik, hal utama yang perlu diperhatikan adalah kestabilan frekuensi dan tegangan ke konsumen. Kestabilan frekuensi diatur oleh pusat pengatur beban, sedangkan kestabilan tegangan dapat diatur dengan merubah tap canger pada transformator.

#### 2.2.4 Jatuh Tegangan

Dalam penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan, proses diawali dari pembangkitan yang ditransmisikan melalui jaringan tegangan tinggi / extra tinggi ke gardu induk lalu disalurkan melalui jaringan tegangan menengah ke gardu hubung dan disalurkan kembali melalui jaringan tegangan menengah ke trafo distribusi untuk kemudian disalurkan ke pelanggan melalui jaringan tegangan rendah. Pada setiap proses tersebut tegangan yang disalurkan mengalami penurunan dari rugi – rugi penampang & peralatan yang digunakan. Drop tegangan pada jaringan tegangan rendah (JTR) yang dijelaskan dalam SPLN72:1987 tentang Spesifikasi Desain JTM & JTR, untuk pengaturan tegangan dan turun tegangan pada JTR dibolehkan sampai 4% dari tegangan kerja tergantung pada kepadatan beban, pada SR dibolehkan 1 % dari tegangan nominal. Untuk indikator TMP tegangan rendah di titik pemakaian yang dicanangkan PLN adalah + 5 %, – 10 % dari tegangan standar pelayanan 220 Volt [11].

Tegangan jatuh adalah selisih antara tegangan kirim dan tegangan terima. Tegangan jatuh di sebabkan oleh hambatan dan arus, tegangan jatuh pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban

serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya tegangan jatuh dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan.

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh  $V$  pada penghantar semakin besar jika arus  $I$  di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar  $R\ell$  semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi dengan toleransi 10%. Rugi tegangan dapat dinyatakan dalam

persamaan 1:

$$\Delta V = I_s \times (R_s + jX_s) = I \times Z \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

$$I = \text{Arus (A)}$$

$$Z = \text{Impedansi } (\Omega)$$

Disini nilai  $X_s$  sangat kecil sehingga dianggap tidak ada. Maka yang digunakan adalah  $R_s$

$$\Delta V = V_s - V_b \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

$$\Delta V = \text{drop tegangan (V)}$$

$$V_s = \text{tegangan kirim (V)}$$

$$V_b = \text{tegangan terima (V)}$$

Maka besar nilai persentase (%) rugi tegangan adalah :

$$\Delta V (\%) = \Delta V / V \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

$$\Delta V (\%) = \text{Rugi Tegangan dalam \% (V)}$$

$$V = \text{Tegangan kerja (V)}$$

$$\Delta V = \text{Rugi tegangan (V)}$$

Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah (SPLN 72 :1987) :

- a. SUTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
- b. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindel dan gugus.
- c. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja.
- d. Saluran tegangan rendah = 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
- e. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

#### 2.2.4.1 Penyebab Jatuh Tegangan Sisi Pembebanan

- Besarnya arus yang mengalir. Semakin besar arus yang mengalir, maka akan semakin besar voltage drop yang terjadi
- Impedansi atau tahanan dalam kabel. Semakin besar tahanan dalam sebuah kabel, maka akan semakin besar pula voltage drop yang akan terjadi. Hal ini berbanding terbalik dengan diameter kawat yang dilalui. Semakin besar diameter kawat, maka tahanan dalam akan semakin kecil. Demikian juga dengan panjang kabel, semakin panjang kabel, maka akan semakin besar

tahanan dalam kabel, sehingga akan semakin besar voltage drop yang terjadi.

- Beban yang melebihi kapasitas *supply*. Pada kondisi tersebut, tidak hanya peralatan yang mungkin mengalami kerusakan, tetapi seluruh jaringan dalam keadaan berbahaya.

#### 2.2.4.2 Menghitung Jatuh Tegangan (Voltage Drop) Sisi Pembebanan

Untuk sistem suplay tegangan AC , metode menghitung jatuh tegangan (voltage drop) adalah dengan berdasarkan faktor beban dengan mempertimbangkan arus beban penuh pada suatu sistim. Tetapi jika beban memiliki arus startup tinggi (misalnya motor) , maka tegangan drop dihitung dengan berdasarkan pada arus start up motor tersebut serta faktor daya .

- Untuk sistem tiga fasa :

$$V_{3\phi} = [S3 I ( R_c \text{Cos}\phi + X_c \text{Sin}\phi ) L] / 1000$$

Dimana :

$V_{3\phi}$  , Tegangan Jatuh (Voltage Drop) Tiga Fasa

$I$  , adalah arus beban penuh atau arus nominal atau arus saat start (A)

$R_c$  , adalah resistansi ac kabel (  $\Omega$  / km )

$X_c$  , adalah reaktansi ac kabel (  $\Omega$  / km )

$\text{Cos}\phi$  , adalah faktor daya beban ( pu )

$L$  , adalah panjang kabel ( m)

- Untuk sistem fase tunggal :

$$V_{I\phi} = [2 I ( R_c \cos\phi + X_c \sin\phi ) L] / 1000$$

Dimana :

$V_{I\phi}$  , Tegangan Jatuh (Voltage Drop) Satu Phasa

$I$  , adalah arus beban penuh atau arus nominal atau arus saat start (A)

$R_c$  , adalah resistansi ac kabel (  $\Omega$  / km )

$X_c$  , adalah reaktansi ac kabel (  $\Omega$  / km )

$\cos\phi$  , adalah faktor daya beban ( pu )

$L$  , adalah panjang kabel ( m)

### 2.2.5 Tap Changer/Sadapan Pada Transformator CSP

Tap Changer, adalah salah satu bagian utama dari Trafo Tenaga yang berfungsi untuk melayani pengaturan tegangan trafo tersebut, dengan cara memilih/merubah ratio tegangan, perubahan Ratio (perbandingan transformasi) antara kumparan Primer dan Sekunder, untuk mendapatkan tegangan operasi disisi sekunder sesuai dengan yang diinginkan, kualitas (besarnya) tegangan pelayanan disisi sekunder dapat berubah karena tegangan jaringan/sistem yang berubah akibat dari pembebanan ataupun kondisi Sistem, perubahan ratio yang diatur oleh tap changer adalah perubahan dengan range kecil antara +10 %, - 15 % dari tegangan dasar trafo tersebut

Perbandingan besar tegangan antara sisi Primer terhadap tegangan sisi Sekunder adalah berbanding lurus dengan jumlah belitan pada masing-masing kumparan, ( $E_{\text{primer}} / E_{\text{sekunder}} = N_{\text{primer}} / N_{\text{sekunder}}$ ), Bila tegangan disisi Primer berubah, sedangkan tegangan disisi sekunder diinginkan tetap, maka untuk

mendapatkan tegangan di sisi sekunder yang konstan harus dilakukan menambah atau mengurangi jumlah belitan disisi Primer, Untuk mendapatkan range yang luas didalam pengaturan tegangan, pada kumparan utama trafo biasanya ditambahkan kumparan bantu ( tap winding ) yang dihubungkan dengan tap selektor pada OLTC.

Pada umumnya Tap Changer dihubungkan dengan kumparan sisi Primer dengan pertimbangan:

1. Lebih mudah cara penyambungan karena kumparan Primer terletak pada belitan paling luar,
2. Arus di sisi primer lebih kecil daripada disisi Sekunder, tujuannya untuk memperkecil resiko bila terjadi los kontak dan dengan arus yang lebih kecil dapat dipergunakan ukuran/jenis konduktor yang kecil pula.

Prinsip kerja tap changer adalah dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer, yang diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder. Dengan demikian tegangan output dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan inputnya. Pada transformator csp satu fasa terdapat lima tap changer, yaitu:

Tabel 2.1 Posisi tap changer trafo distribusi 1 fasa terhadap tegangan primer

Tap Changer / Posisi Sadapan	Hubungan Terminal Sadapan	Tegangan Primer(Volt)
1	4-5	12702
2	3-5	12124
3	3-6	11547
4	2-6	10970
5	2-7	10392

Sumber : SPLN 95. 1994. *Transformator Dengan Pengaman Sendiri*

*Fase Tunggal Untuk Jaringan Sistem Fase-Tiga 4-Kawat*



Gambar 2.5 Name Plate Trafo

(Sumber: 20180115\_091140.JPG (difoto tanggal 15 Januari 2018))

*Tap changer* ini mengusahakan agar tegangan pelayanan masih dalam



batas-batas yang diperbolehkan, maka trafo distribusinya dilengkapi dengan sadapan tanpa beban pada sisi tegangan tingginya, disamping itu pada sisi tegangan rendahnya, tegangan keluarannya atau tegangan terminal sisi sekunder trafonya sudah dibuat 231/400 V atau +5% diatas nilai nominalnya 220/380 V. Pengaturan sadapan tanpa beban pada trafo distribusi ini, harus dikaitkan dengan pengaturan tegangan sadapan berbeban pada trafo utama di Gardu-Induk yang bersangkutan. <sup>[9]</sup>

Dalam mengatur tegangan pelayanan dengan menggunakan dua sadapan dan trafo utama maupun trafo distribusinya, hanya dimungkinkan pada jaringan yang beroperasi radial. Pemanfaatan sadapan tanpa beban dan trafo distribusi, umumnya dilakukan pada SUTM yang panjang, didaerah yang kepadatan bebannya relatif masih rendah.

Ada transformator distribusi yang mempunyai 3(tiga) sadapan tanpa beban yaitu +5%, 0% dan -5%; pada sistem 20 kV, ekuivalen dengan 21kv, 20kV dan 19kv. Pada trafo distribusi yang mempunyai 5 (lima) sadapan tanpa beban, sadapannya adalah +10%, 5%, 0%, -5% dan -10%; pada sistem 20kV, ekuivalen dengan 22kV, 21 kV, 20kV, 19kv dan 18kv.

Sisi Tegangan Rendah (TR) dan kedua macam trafo tersebut diatas, tegangan terminal sekundernya (tanpa beban) sudah dibuat 231/400 V atau +5% diatas nilai nominalnya 220/380 V.

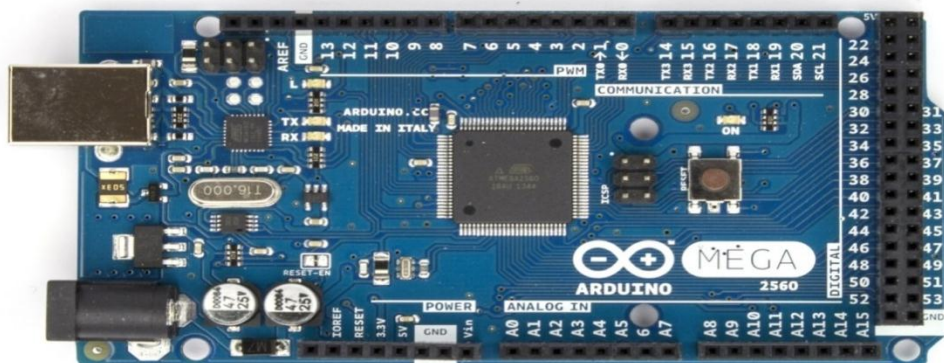
## 2.3 Komponen Utama

### 2.3.1. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

*Arduino* adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah *chip* mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan ATmel.

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

*Arduino Mega 2560* adalah papan mikrokontroler berbasis *Atmega 2560* yang memiliki 54 pin digital *input/output*, dimana 15 pin diantaranya digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, 4 pin sebagai UART (port *serial hardware*), sebuah osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack* power, header ISCP, dan tombol *reset*.<sup>[11]</sup>



Gambar 2.6. Tampilan Arduino Mega 2560<sup>[12]</sup>

Tabel 2.2. Spesifikasi dari *Arduino Mega 2560*<sup>[12]</sup>

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
<i>Input Voltage</i> (disarankan)	7-12V
<i>Input Voltage</i> (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	54 (yang 15 pin digunakan sebagai <i>output</i> PWM)
Pins <i>Input</i> Analog	16
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB (8 KB digunakan untuk <i>bootloader</i> )
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Sumber daya eksternal (non-USB) dapat berasal dari adaptor AC-DC atau baterai. Papan Arduino ATmega2560 dapat beroperasi dengan daya eksternal 6 Volt sampai 20 volt. Jika tegangan kurang dari 7 Volt, maka pin 5 Volt mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 Volt dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang

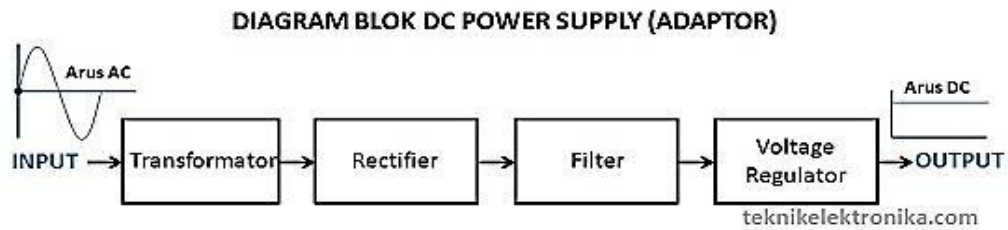
dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt. Pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino adalah sebagai berikut<sup>[11]</sup>:

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

### 2.3.2. Rangkaian Catu Daya

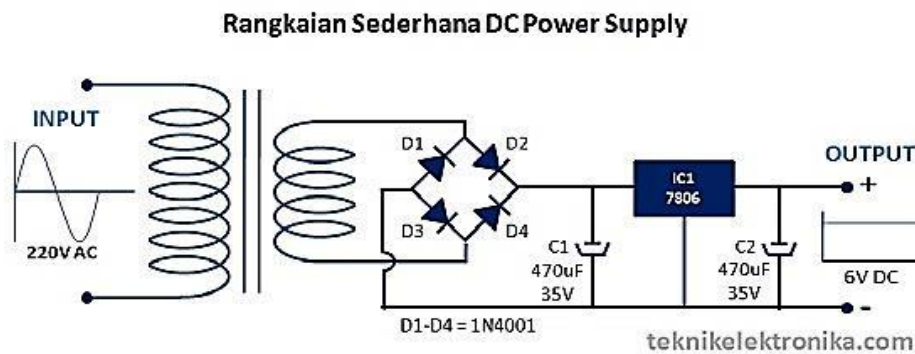
Arus listrik yang kita gunakan pada umumnya adalah dibangkitkan, dikirim, dan didistribusikan ke tempat masing-masing dalam bentuk Arus Bolak-Balik atau arus AC (*Alternating Current*). Akan tetapi, peralatan elektronika yang kita gunakan sekarang ini sebagian besar membutuhkan arus *Direct Current* (DC) dengan tegangan yang lebih rendah untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu, hampir setiap peralatan elektronika memiliki sebuah rangkaian yang berfungsi

untuk melakukan konversi arus yang sesuai dengan rangkaian elektroniknya. Rangkaian yang mengubah arus listrik AC menjadi DC ini disebut dengan *DC Power Supply* atau Catu Daya, dikenal juga sebagai adaptor. Blok diagram *DC Power Supply* adalah<sup>[13]</sup> :



Gambar 2.7. Diagram blok DC Power Supply<sup>[13]</sup>

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

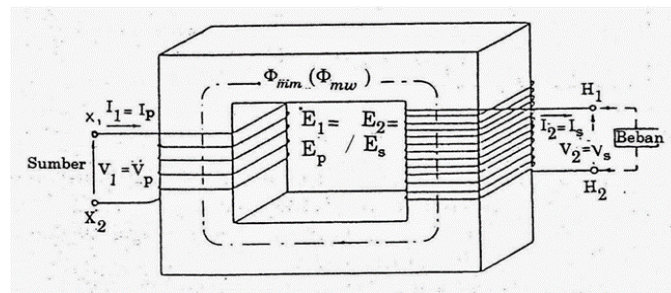


Gambar 2.8. Rangkaian DC Power Supply<sup>[13]</sup>

### 2.3.2.1. Transformator

Transformator adalah suatu komponen elektronika yang digunakan untuk menurunkan ataupun menaikkan tegangan bolak-balik. Pada dasarnya transformator terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang digulung pada sebuah inti besi lunak. Arus bolak-balik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah-ubah dalam inti besi.

Medan magnet ini menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) bolak-balik dalam kumparan sekunder<sup>[22]</sup>. Transformator adalah komponen kelistrikan yang memiliki kegunaan untuk mengonversi tegangan tinggi AC menjadi tegangan rendah DC. Komponen utama penyusun transformator adalah kumparan kawat berisolasi dan inti besi. Transformator terbagi menjadi dua bagian kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder<sup>[34]</sup>.



Gambar 2.9 Rangkaian Trafo<sup>[34]</sup>

Sisi belitan  $X_1$  dan  $X_2$  adalah sisi tegangan rendah dan sisi belitan  $H_1H_2$  adalah sisi tegangan tinggi.

Bila salah satu sisi, baik sisi tegangan tinggi (TT), maupun sisi tegangan rendah (TR), dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka sisi tersebut disebut dengan sisi primer, sedangkan sisi yang lain yang dihubungkan dengan beban disebut sisi sekunder.

Sisi belitan  $X_1$  dan  $X_2$  dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik sebesar  $V_1 = V_p$ , maka fluks bolak-balik akan dibangkitkan pada inti sebesar  $\Phi_{mm}$  atau sebesar  $\Phi_{mw}$ .

Fluks sebesar  $\Phi_{mm} = \Phi_{mw}$  akan melingkar dan menghubungkan belitan kawat primer dengan belitan kawat sekunder serta menghasilkan tegangan induksi (EMF=GGL) baik pada belitan primer sebesar  $E_1=E_p$ , maupun pada belitan sekunder sebesar  $E_2=E_s$ , yang akan mengikuti persamaan berikut:

Untuk Belitan Primer

$$E_1 = E_p = 4,44 \times f \times N_p \times \phi_{mm} \times 10^{-8} \text{ volt}$$

Atau..... (2-1)

$$E_1 = E_p = 4,44 \times f \times N_p \times \phi_{mw} \text{ volt}$$

Untuk Belitan Sekunder

$$E_2 = E_s = 4,44 \times f \times N_s \times \phi_{mm} \times 10^{-8} \text{ volt}$$

Atau..... (2-2)

$$E_2 = E_s = 4,44 \times f \times N_s \times \phi_{mw} \text{ volt}$$

Dengan keterangan:

$E_1 = E_p = \text{EMF(GGL)}$  atau tegangan induksi yang dibangkitkan pada belitan pada belitan primer

$E_2 = E_s = \text{EMF(GGL)}$  atau tegangan induksi yang dibangkitkan pada belitan pada belitan sekunder

$N_1 = N_p$  = Banyaknya belitan pada sisi primer

$N_2 = N_s$  = Banyaknya belitan pada sisi sekunder

$\phi_{mm}$  = Fluks maksimum dalam besaran Maxwell

$\phi_{mw}$  = Fluks maksimum dalam besaran Weber

$f$  = Frekuensi arus dan tegangan sistem

$V_1 = V_p$  = Tegangan sumber yang masuk primer

$V_2 = V_s$  = Tegangan sekunder ke beban

Fluks maksimum dalam besaran Maxwell dan fluks maksimum dalam besaran weber, hubungannya akan mengikuti persamaan berikut:

$$\phi_{mm} = \phi_{mw} = B_m = A \dots\dots\dots (2-3)$$

Dengan keterangan:

$B_m$  = Kerapatan fluks maksimum

$A$  = Luas penampang dari inti dalam  $m^2$

Untuk trafo ideal, maka berlaku persamaan berikut.

$$V_1 = E_1 = V_p = E_p \text{ dan } V_2 = E_2 = V_s = E_s \dots \dots \dots (2-4)$$

Dari persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) didapatkan perbandingan EMF pada primer dan sekunder sama dengan perbandingan banyaknya lilitan primer dan sekunder, merupakan perbandingan (ratio) transformasi dari transformator dan dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Berdasarkan persamaan (2-3) maka trafo ideal berlaku perbandingan transformasi berikut,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Jika rugi-rugi trafo tidak diperhitungkan dan efisiensi dianggap 100% maka:

$$E_1 \times I_1 \times PF_1 = E_2 \times I_2 \times PF_2$$

Secara praktis factor daya primer ( $PF_1$ ) sama dengan faktor daya sekunder ( $PF_2$ ) sehingga:

$$E_1 \times I_1 = E_2 \times I_2$$

Atau

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Dengan keterangan:

$a$  = perbandingan transformasi

Konstruksi transformator secara umum terdiri dari<sup>[33]</sup>:



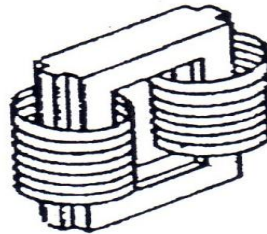
1) Inti yang terbuat dari lembaran-lembaran plat besi lunak atau baja silikon yang diklem jadi satu.

2) Belitan dibuat dari tembaga yang cara membelitkannya pada inti dapat konsentris maupun spiral.

3) Sistem pendinginan pada trafo-trafo dengan daya yang cukup besar.

Jenis transformator berdasarkan letak kumparan<sup>[1]</sup> :

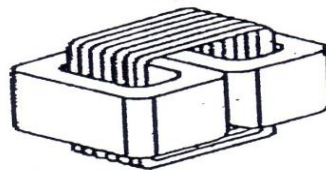
1) *Core type* (jenis inti) yakni kumparan mengelilingi inti yang ditunjukkan gambar 2.17.



Tipe inti

Gambar 2.10 *Jenis Inti*<sup>[34]</sup>

2) *Shell type* (jenis cangkang) yakni inti mengelilingi belitan yang ditunjukkan gambar 2.18.

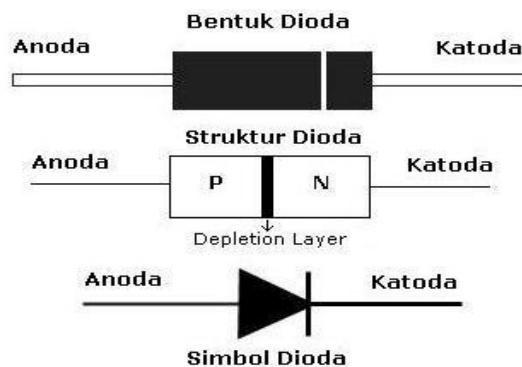


Tipe cangkang

Gambar 2.11 *Jenis Cangkang*<sup>[34]</sup>

### 2.3.2.2. Dioda

Penyearah adalah proses dimana menjadikan tegangan AC menjadi tegangan DC, dan proses itu memerlukan suatu komponen elektronika berbahan semikonduktor yang biasa disebut dioda. Dioda berguna untuk mengalirkan arus satu arah. Struktur dioda merupakan sambungan semikonduktor P dan N. Salah satu sisinya adalah semikonduktor tipe-p, sedangkan sisi yang lain adalah tipe-n. Dengan struktur seperti itu, arus hanya akan mengalir dari sisi P menuju sisi N<sup>[6]</sup>. Struktur dioda ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.12 Struktur diode<sup>[13]</sup>

Pada daerah sambungan, dua jenis semi konduktor yang berlawanan ini akan muncul daerah deplesi yang akan membentuk gaya barrier. Gaya barrier dapat ditembus dengan tegangan + sebesar 0.7 volt yang dinamakan sebagai break down voltage, yaitu tegangan minimum dimana dioda akan bersifat sebagai konduktor atau penghantar arus listrik.

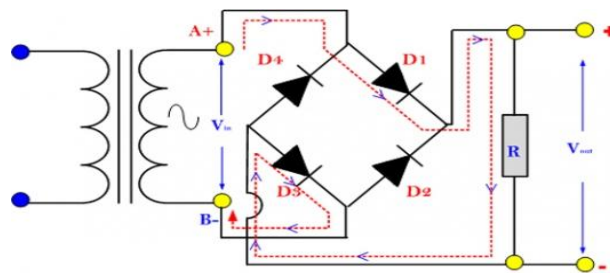
Dioda bersifat menghantarkan arus listrik hanya pada satu arah saja, yaitu jika kutub anoda kita hubungkan pada tegangan (+) dan kutub katoda kita hubungkan dengan tegangan (-) maka akan mengalir arus listrik dari anoda ke katoda. Jika polaritasnya kita balik (bias mundur) maka arus yang mengalir hampir nol atau dioda akan bersifat sebagai isolator<sup>[6]</sup>

Proses menyearakan tegangan tersebut secara garis besar dapat dibedakan menjadi 2, yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Letak perbedaannya ada di jumlah penggunaan dioda. Jika penyearah setengah gelombang hanya menggunakan 1 buah dioda.

Sementara penyearah gelombang penuh menggunakan setidaknya 2 buah dioda, atau menggunakan 4 buah dioda, yang biasa dikenal dengan dioda *bridge*. Dan untuk kebutuhan catu daya semua rangkaian pada prototype penulis menggunakan catu daya dengan jenis penyearah gelombang penuh dengan 4 buah dioda.

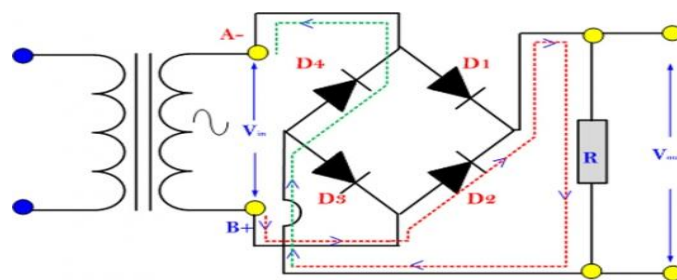
Prinsip kerja penyearah gelombang penuh dengan 4 buah dioda ini sama dengan penyearah gelombang penuh menggunakan 2 buah dioda. Dioda akan bekerja secara berpasangan, jika D1 dan D3 *On*, D2 dan D4 kan *Off*, begitu pula sebaliknya. Prinsip kerja rangkaian bisa dijelaskan sebagai berikut:

- Saat titik A mendapatkan tegangan positif (+) dan B negatif (-) seperti pada gambar 2.20, dioda D1 & D3 dalam kondisi dipanjar maju karena kaki anoda mendapat tegangan positif dan D2 & D4 dalam kondisi dipanjar terbalik (*off*). Karena dioda D1 & D3 dalam kondisi *On*, maka Arus akan mengalir dari titik A – D1 – R- D3 dan kembali ketitik B-. Tegangan yang timbul pada R merupakan tegangan output ( $V_{out}$ ).<sup>[6]</sup>



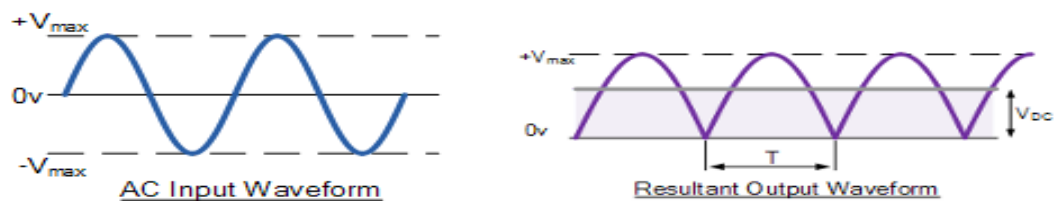
Gambar 2.13 Dioda 1 dan Dioda 3 dalam Posisi *ON*<sup>[16]</sup>

- Ketika titik A mendapatkan tegangan negatif (-) dan B positif (+) seperti pada gambar 2.21, dioda D2 & D4 dalam kondisi dipanjar maju karena kaki anoda mendapat tegangan positif (*On*) dan D1 & D3 dalam kondisi dipanjar terbalik (*Off*). Karena diode D2 & D4 dalam kondisi *On*, maka arus akan mengalir dari titik B – D2 – R – D4 dan kembali ke titik A-. Tegangan yang timbul pada R merupakan tegangan *output* ( $V_{out}$ ).



Gambar 2.14 Dioda 2 dan Dioda 4 dalam Posisi *ON*<sup>[16]</sup>

Bentuk gelombang *input* dan *output*-nya seperti gambar 2.22.



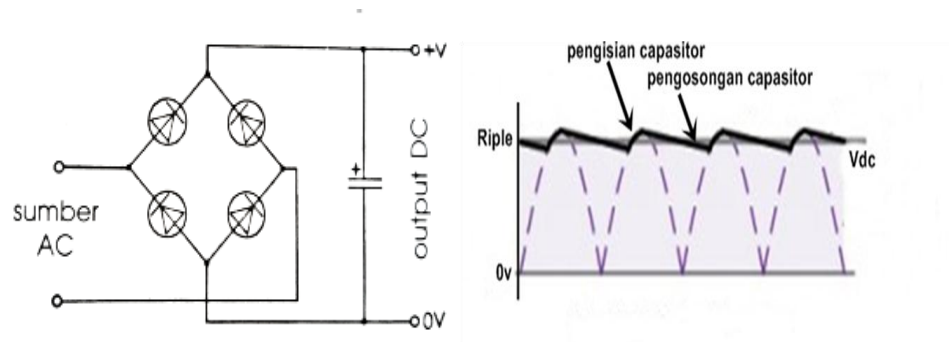
Gambar 2.15 Gelombang *Input* dan *Output*<sup>[16]</sup>

### 2.3.2.3. Filter Kapasitor

Kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Penyaring pada rangkaian catu daya berupa komponen kapasitor yang berfungsi untuk meratakan sinyal arus yang keluar dari *rectifier*. Seperti yang kita ketahui, tegangan *DC* yang dihasilkan oleh *rectifier* masih memiliki *ripple* yang

sangat besar. Untuk mendapatkan tegangan *DC* yang rata (*low ripple*), maka diperlukan kapasitor sebagai *filter*.

Kapasitor sendiri memiliki kemampuan untuk pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*), kemampuan kapasitor inilah yang berfungsi untuk mengurangi ripple/riak pada arus listrik tersebut. Ketika gelombang mengalami penurunan nilai, maka kapasitor akan melakukan discharge sehingga bentuk gelombang mengalami kestabilan/lurus. Semakin besar nilai kapasitansi suatu kapasitor maka itu semakin baik<sup>[34]</sup>.



Gambar 2.16 Rangkaian Penyearah ditambah kapasitor dan Output Gelombangnya<sup>[34]</sup>.

Ketika beban menarik arus dari rangkaian, tegangan akan jatuh perlahan-lahan namun akan kembali lagi ke puncak oleh pulsa berikutnya. Hasilnya adalah gelombang DC dengan sedikit riak gelombang. Kapasitor yang digunakan bernilai 4700 mF atau lebih apabila arus yang ditarik oleh beban tidak terlalu besar, tegangan output yang dihasilkan akan setara gelombang DC murni.

Fungsi kapasitor pada rangkaian di atas untuk menekan *ripple* yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang *filter* kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (*Direct Current*) yang dapat diformulasikan sebagai berikut<sup>[17]</sup>:

$$V_{dc} = \frac{2V_{max}}{\pi} \dots\dots\dots(2.24)$$

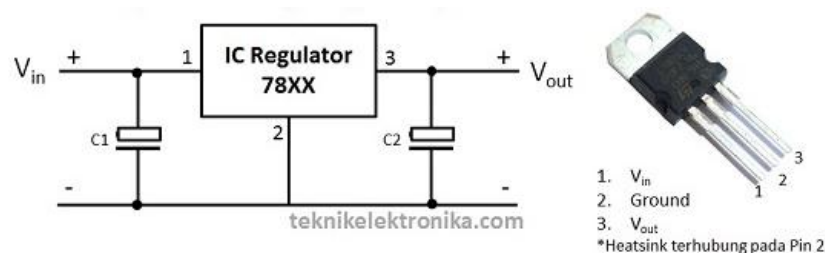
Dan untuk nilai *ripple* tegangan yang ada dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{Ripple} = \frac{I_{Load}}{fC} \dots\dots\dots(2.25)$$

#### 2.3.2.4. Regulator

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*).

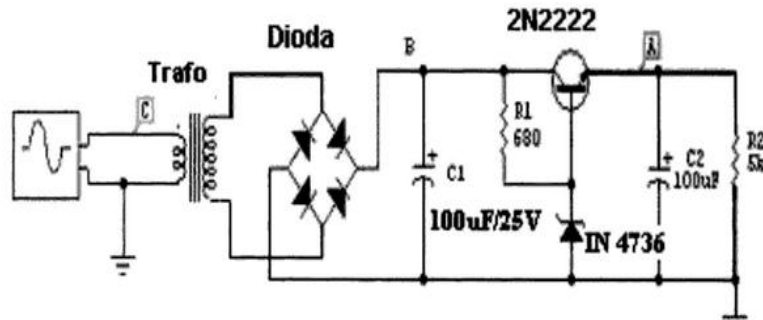
Pada *DC Power Supply* yang canggih, biasanya *Voltage regulator* juga dilengkapi dengan *Short Circuit Protection* (perlindungan atas hubung singkat), *Current Limiting* (Pembatas Arus) ataupun *Over Voltage Protection* (perlindungan atas kelebihan tegangan). Pada gambar 2.25 dapat dilihat cara menggunakan *IC Regulator* pada rangkaian adaptor.



Gambar 2.17 Rangkaian *IC Regulator*<sup>[20]</sup>

Pada rangkaian *IC Regulator* apabila dianalogikan seperti menggunakan dioda zener. Ciri khas dioda zener yakni bila dibias *forward*, maka dioda zener

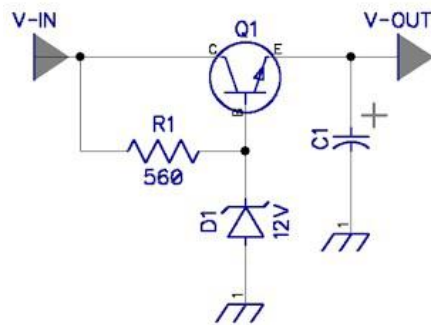
akan bertindak sebagai dioda pada umumnya, sedangkan bila dibias *reverse* dioda zener akan mengalirkan arus dari katoda ke anoda dengan syarat diberi catu tegangan yang lebih besar dari tegangan spesifikasi dioda tersebut.



Gambar 2.18 Dioda zener pada power supply<sup>[34]</sup>.

Regulator tegangan menggunakan prinsip dioda zener yang bekerja pada daerah *breakdown*. Dioda zener adalah salah satu jenis dioda yang memiliki sisi eksklusif pada daerah *breakdown*, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai stabilizer atau pembatas tegangan. Struktur dioda zener hampir sama dengan dioda pada umumnya, hanya konsentrasi doping saja yang berbeda. Kurva karakteristik dioda zener juga sama seperti dioda pada umumnya, namun pada daerah *breakdown* dimana pada saat bias mundur mencapai tegangan *breakdown* maka arus dioda naik dengan cepat seperti pada gambar karakteristik dioda zener diawah. Daerah *breakdown* inilah yang menjadi referensi untuk penerapan dari dioda zener. Sedangkan pada dioda biasa daerah *breakdown* merupakan daerah kritis yang harus dihindari dan tidak diperbolehkan pemberian tegangan mundur sampai pada daerah *breakdown*, karena bias merusak dioda biasa. Titik *breakdown* dari suatu dioda zener dapat dikontrol dengan memvariasi konsentrasi doping. Konsentrasi doping yang tinggi akan meningkatkan jumlah pengotoran sehingga tegangan

zenernya akan kecil. Demikian juga sebaliknya, dengan konsentrasi doping yang rendah diperoleh tegangan zener yang tinggi. Pada umumnya dioda zener dipasaran tersedia mulai dari 1,8 V sampai 200 V, dengan kemampuan daya  $\frac{1}{4}$  hingga 50 W.



Gambar 2.19 Rangkaian Dioda Zener<sup>[34]</sup>.

Dioda zener dipasang paralel atau *shunt* dengan L dan R. Regulator ini hanya memerlukan sebuah dioda zener terhubung seri dengan resistor RS. Perhatikan bahwa dioda zener dipasang dalam posisi *reverse bias*. Dengan cara pemasangan ini, dioda zener hanya akan berkonduksi saat tegangan *reverse bias* mencapai tegangan *breakdown* dioda zener. Penyearah berupa rangkaian dioda tipe jembatan (*bridge*) dengan proses penyaringan atau filter berupa filter-RC. Resistor seri pada rangkaian ini berfungsi ganda. Pertama, resistor ini menghubungkan C1 dan C2 sebagai rangkaian filter. Kedua, kapasitor ini berfungsi sebagai resistor seri untuk regulator tegangan (dioda zener). Dioda zener yang dipasang dapat dengan sembarang dioda zener dengan tegangan *breakdown* misal dioda zener 9 volt.

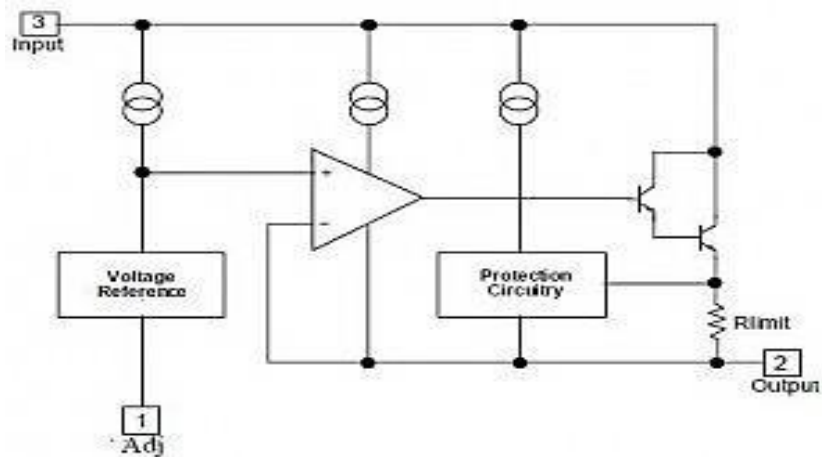
Tegangan output transformer harus lebih tinggi dari tegangan *breakdown* dioda zener, misalnya untuk penggunaan dioda zener 9 volt maka gunakan output



transformer 12 volt. Tegangan breakdown dioda zener biasanya tertulis pada body dari dioda tersebut. Rangkaian regulator tegangan ini kemudian dikemas dalam bentuk sirkuit terintegrasi (IC). IC regulator tegangan yang banyak dijumpai di pasaran antara lain IC regulator keluarga 78xx dan LM317.

#### 2.3.2.4.1. Regulator LM317T

Regulator tegangan variabel merupakan rangkaian reglulator yang memiliki tegangan output dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan. Rangkaian regulator tegangan variabel pada saat ini telah tersedia dalam bentuk chip IC regulator tegangan variabel 3 pin. Salah satu contoh regulator tegangan variabel adalah IC LM317. IC LM317 merupakan chip IC regulator tegangan variable untuk tegangan DC positif. Untuk membuat power supply dengan tegangan output variabel dapat dibuat dengan sederhana apabila menggunakan IC regulator LM317. IC Regulator tegangan variabel LM317 terdiri dari rangkaian internal sebagai berikut<sup>[37]</sup>.

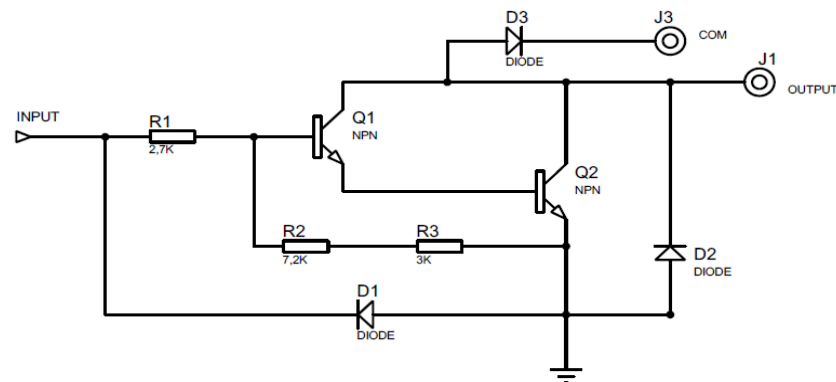


Gambar 2.20. Rangkaian Internal LM317<sup>[32]</sup>

### 2.3.3. Driver Relay IC ULN 2003

*Driver* relai merupakan rangkaian yang digunakan untuk menggerakkan relai. Rangkaian ini digunakan sebagai *interface* antara relai yang memiliki tegangan kerja bervariasi (misal 12 VDC) dengan mikrokontroler yang hanya bertegangan 5 VDC karena tegangan *output* sebesar 5 VDC tersebut belum dapat digunakan untuk mengaktifkan relai.

*ULN2803* merupakan salah satu 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. Keuntungan transistor *Darlington* yakni mempunyai impedansi input tinggi dan impedansi *output* rendah<sup>[22]</sup>.



Gambar 2.21 Rangkaian Darlington Dalam *ULN2803*<sup>[20]</sup>

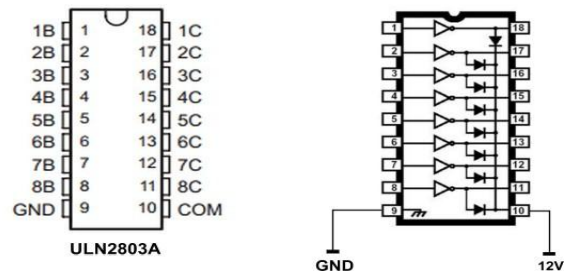
Gambar 2.34 menunjukkan gambar rangkaian *darlington* yang terdapat di dalam setiap pin *IC ULN2803*, dimana transistor dimanfaatkan sebagai saklar untuk memacu cara kerja *relay*. Rangkaian *darlington* terdiri dari dua buah transistor bipolar yang penguatannya lebih tinggi karena arus akan dikuatkan dua

kali oleh transistor pertama dan dilanjutkan transistor kedua untuk mendapatkan arus yang besar yang disebut  $\beta$  atau  $h_{FE}$ <sup>[24]</sup>.

Cara kerja rangkaian *darlington* untuk menggerakkan *relay* adalah ketika *input* rangkaian belum mendapatkan tegangan, maka transistor satu dan transistor dua tidak akan aktif karena tidak ada arus yang mengalir ke basis sehingga coil relay tidak akan aktif karena tegangan balik dari dioda akan di teruskan melalui dioda com.

Ketika *input* mendapatkan tegangan 5 volt, maka arus akan naik sehingga kedua transistor akan *aktif/bekerja*. Arus *input* transistor dua merupakan kombinasi dari arus *input* dan arus emiter dari transistor satu, sehingga arus akan terkumpul dalam jumlah yang banyak. Arus yang mengalir keluar dari transistor dua akan memberikan jalan bagi rangkaian yang terhubung *output ULN2803* yaitu *relay*, untuk tersambung ke *ground*. Sehingga bisa dikata bahwa *output ULN2803* adalah nol atau *ground*.

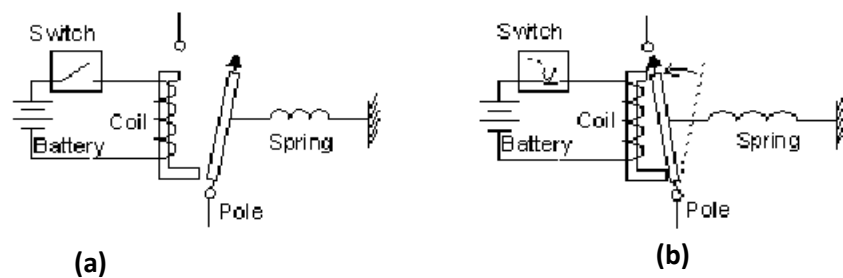
Pada gambar 2.35 merupakan gambaran pin *input* dan pin *output IC ULN 2803* dimana pin 1-8 menerima sinyal tingkat rendah misal dari mikrokontroler *Arduino Mega 2560*, pin 9 sebagai *grounding*(untuk referensi tingkat sinyal rendah). Pin 10 adalah COM sebagai inputan sumber pada sisi yang lebih tinggi dan umumnya akan dihubungkan ke tegangan positif. Pin 11-18 adalah output (Pin 1 untuk pin 18, Pin 2 untuk 12, dst).



Gambar 2.22 Pin-out Diagram ULN 2803<sup>[20]</sup>

### 2.3.3.1. Relay

*Relay* adalah sebuah sakelar yang dikendalikan oleh arus. *Relay* memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada inti. Terdapat sebuah armatur besi yang akan tertarik menuju inti besi apabila arus mengalir melewati kumparan. Armatur ini terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika armature tertarik menuju inti, kontak jalur bersama akan berubah posisinya dari kontak *normal-tertutup* ke kontak *normal-terbuka*<sup>[11]</sup>.



Gambar 2.23. Posisi Kontak Relay<sup>[11]</sup>

(a) Posisi Kontak *Open* saat Relay Tidak Bekerja

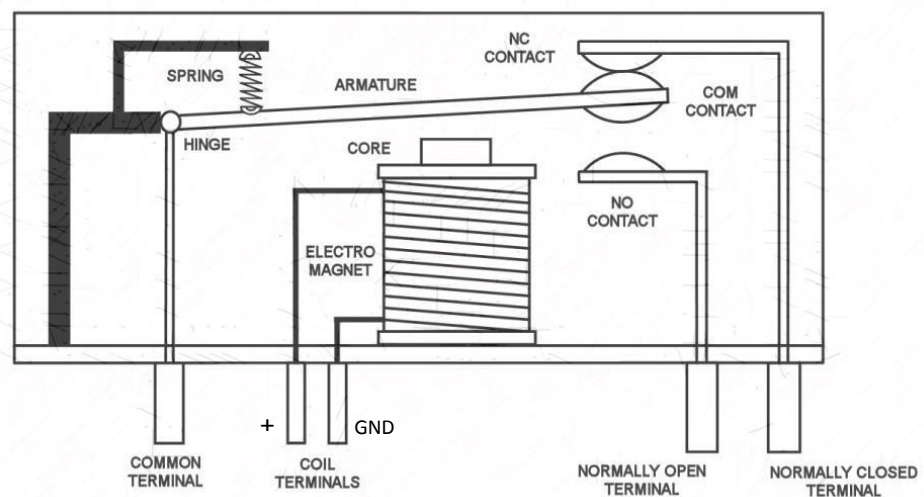
(b) Posisi Kontak *Close* saat Relay Bekerja

*Relay* adalah perangkat listrik atau bisa disebut komponen yang berfungsi sebagai saklar listrik. Cara kerja *relay* adalah apabila kita memberi tegangan pada kaki 1 dan kaki *ground* pada kaki 2 maka *relay* secara otomatis posisi kaki CO (*Change Over*) pada *relay* akan berpindah dari kaki NC (*Normally*

*Close*) ke kaki NO (*Normally Open*). *Relay* juga dapat disebut komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip, *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup.

Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang dan tuas akan kembali ke posisi semula sehingga kontak saklar kembali terbuka. Secara sederhana *relay* elektromekanis ini didefinisikan sebagai berikut:

1. Alat yang menggunakan gaya elektromagnetik untuk menutup (atau membuka) kontak saklar
2. Saklar yang digerakkan (secara mekanis) oleh daya/energi listrik.



Gambar 2.24. Konfigurasi *Relay*<sup>[11]</sup>

Berikut ini penjelasan dari gambar di atas :

1) *Armature*

Merupakan tuas logam yang bisa naik turun. Tuas akan turun jika tertarik oleh magnet ferromagnetik (elektromagnetik) dan akan kembali naik jika sifat kemagnetan ferromagnetik sudah hilang.

2) *Core*

Merupakan inti besi yang dililiti kumparan.

3) *Spring*

Pegas (atau per) berfungsi sebagai penarik tuas. Ketika sifat kemagnetan ferromagnetik hilang, maka spring berfungsi untuk menarik tuas ke atas.

4) *NC Contact*

NC singkatan dari *Normally Close*. Kontak yang secara default terhubung dengan kontak sumber (kontak inti) ketika posisi *OFF*.

5) *NO Contact*

NO singkatan dari *Normally Open*. Kontak yang akan terhubung dengan kontak sumber (kontak inti, C) ketika posisi *ON*.

6) *COM Contact*

Merupakan kontak sumber yang akan terhubung dengan NC atau NO

7) *Electromagnet*

Kabel lilitan yang membelit logam ferromagnetik. Berfungsi sebagai magnet buatan yang sifatnya sementara. Menjadi logam magnet ketika lilitan dialiri arus listrik, dan menjadi logam biasa ketika arus listrik diputus. Gambar 2.31 menunjukkan *relay* dengan 5 kaki<sup>[11]</sup>.

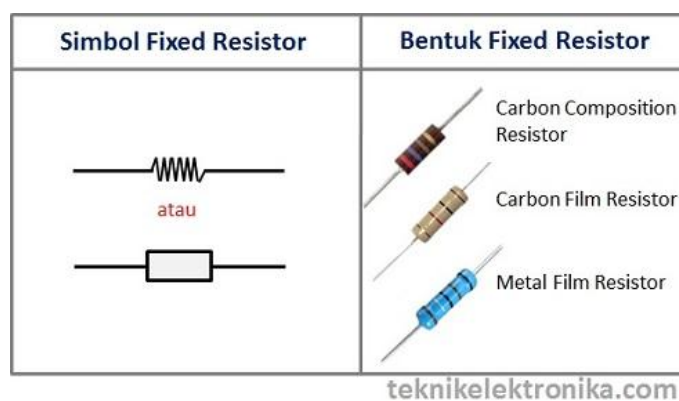


Gambar 2.25. Relay 5 kaki HKE<sup>[11]</sup>

#### 2.2.4. Resistor

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, asalkan nilainya sama dengan nilai yang tertera pada PCB atau skema.

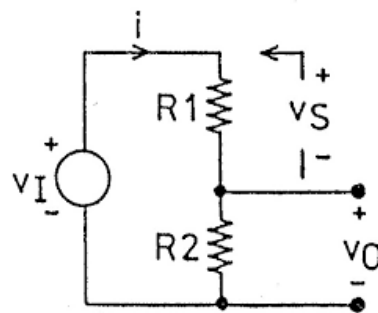
Komponen ini terbuat dari bahan arang sehingga arus yang ada dalam resistor tetap tidak dapat di ubah-ubah lagi. Apabila nilai ohmnya tidak sesuai dengan arus yang masuk (lebih besar arus dari nilainya) maka komponen ini akan terbakar dan tidak berfungsi lagi<sup>[17]</sup>.



Gambar 2.26. Simbol dan Bentuk Fisik Resistor<sup>[17]</sup>

### 2.3.4.1. Resistor sebagai Pembagi Tegangan

Dalam elektronik, pembagi tegangan (juga dikenal sebagai pembagi potensial) adalah sebuah rangkaian elektronika linear yang akan menghasilkan tegangan output ( $V_{out}$ ) yang merupakan sebagian kecil dari tegangan masukan ( $V_{in}$ ). Pembagi tegangan biasanya menggunakan dua resistor atau dibuat dengan satu potensiometer. Tegangan output tergantung dari nilai-nilai komponen resistor atau dari pengaturan potensiometer. Ketika pembagi tegangan diambil dari titik tengah, tegangan akan terbagi sesuai dengan nilai hambatan (resistor atau potensiometer) yang di pasang<sup>[17]</sup>.

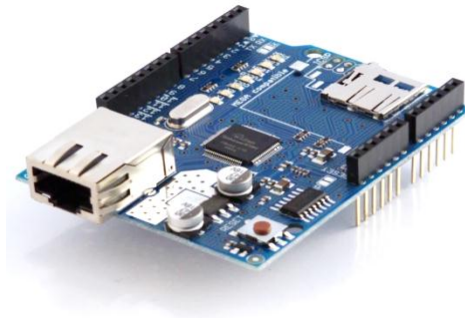


Gambar 2.27. Rangkaian resistor sebagai pembagi tegangan<sup>[17]</sup>

### 2.3.5 Ethernet Shield

*Ethernet Shield* menambah kemampuan arduino board agar terhubung ke jaringan komputer. Perangkat *Ethernet Shield* ditunjukkan pada gambar 2.47.





Gambar 2.28. *Ethernet Shield*<sup>[17]</sup>.

*Ethernet shield* berbasiskan *chip* ethernet *Wiznet W5100*. *Ethernet library* digunakan dalam menulis program agar arduino board dapat terhubung ke jaringan dengan menggunakan *ethernet shield*. Pada *ethernet shield* terdapat sebuah slot *micro-SD*, yang dapat digunakan untuk menyimpan file yang dapat diakses melalui jaringan. Onboard *micro-SD* card reader diakses dengan menggunakan *SD library*. Arduino board berkomunikasi dengan *W5100* dan *SD card* menggunakan bus *SPI (Serial Peripheral Interface)*. Komunikasi ini diatur oleh library *SPI.h* dan *Ethernet.h*.

Bus *SPI* menggunakan pin digital 11, 12 dan 13 pada Arduino *Uno* dan pin 50, 51, dan 52 pada *Mega*. Pin digital 10 digunakan untuk memilih *W5100* dan pin digital 4 digunakan untuk memilih *SD card*. Pin-pin yang sudah disebutkan sebelumnya tidak dapat digunakan untuk input/output umum ketika kita menggunakan ethernet shield. Karena *W5100* dan *SD card* berbagi bus *SPI*, hanya salah satu yang dapat aktif pada satu waktu.

Jika kita menggunakan kedua perangkat dalam program kita, hal ini akan diatasi oleh *library* yang sesuai. Jika kita tidak menggunakan salah satu perangkat dalam program kita, kiranya kita perlu secara eksplisit mendeselect-nya. Untuk

melakukan hal ini pada SD card, set pin 4 sebagai output dan menuliskan logika tinggi padanya, sedangkan untuk *W5100* yang digunakan adalah pin 10.

Untuk menghubungkan *ethernet shield* dengan jaringan, dibutuhkan beberapa pengaturan dasar. Yaitu *ethernet shield* harus diberi alamat MAC (*Media Access Control*) dan alamat IP (*Internet Protocol*). Sebuah alamat MAC adalah sebuah identifikasi unik secara global untuk perangkat tertentu. Alamat IP yang valid tergantung pada konfigurasi jaringan. Hal ini dimungkinkan untuk menggunakan *DHCP* (*Dynamic Host Configuration Protocol*) untuk secara dinamis menentukan sebuah IP. Selain itu juga diperlukan *gateway* jaringan dan *subnet*<sup>[17]</sup>.

#### 2.3.6. Router

*Router* adalah sebuah alat yang mengirimkan paket data melalui sebuah jaringan atau Internet menuju tujuannya, melalui sebuah proses yang dikenal sebagai routing. Proses routing terjadi pada lapisan 3 (Lapisan jaringan seperti *Internet Protocol*) dari *stack* protokol tujuh-lapis OSI.

*Router* berfungsi sebagai penghubung antar dua atau lebih jaringan untuk meneruskan data dari satu jaringan ke jaringan lainnya. *Router* berbeda dengan switch. Switch merupakan penghubung beberapa alat untuk membentuk suatu *Local Area Network (LAN)*<sup>[17]</sup>.



Gambar 2.29. Router<sup>[11]</sup>.

### 2.3.7. VT SCADA

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

*Software VTSCADA* mampu untuk melakukan sistem kendali berbasis komputer yang dipakai untuk pengontrolan suatu proses tenaga listrik. Dapat juga menampilkan hasil besaran yang di ukur oleh sensor. Selain itu *software* juga dilengkapi oleh button ataupun switch yang mampu untuk menggerakkan kontak relay pada rangkaian elektronika.<sup>[17]</sup>.