BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Gagasan dan ide penulis tentang Tugas Akhir ini atas dasar observasi yang penulis lakukan saat melakukan Kerja Praktik di PT. PLN (Persero) UP2D Jawa Tengah dan DIY DCC 3 Purwokerto. Penulis tertarik untuk membahas mengenai kontrol, status dan sistem *interlock* yang terdapat pada panel RTU *Keypoint* (*recloser*).

Dalam menentukan gagasan dan ide penyusunan Tugas Akhir penulis membaca beberapa jurnal referensi. Ada 3 jurnal referensi yang penulis gunakan, yaitu:

1. Tugas Akhir yang dibuat oleh Galang Adi Nugroho (2018) di Universitas Diponegoro dengan judul *Simulasi Panel RTU dengan Sistem Interlock pada Panel Outgoing 20 kV Dilengkapi dengan IED Digital Power Meter ION 6200 Berbasis Arduino Mega 2560* [1].
2. Tugas Akhir yang dibuat oleh Mohamad Rizki Kurniawan (2017) di Universitas Diponegoro dengan judul *Implementasi SCADA untuk Monitoring Koordinasi PMT dengan Recloser Sebagai Proteksi pada Jaringan 3 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560* [2].
3. Jurnal penelitian yang dibuat oleh Alimuddin Mappa (2016) di Politeknik Katolik Saint Paul Sorong dengan judul *Analisa Kerja Recloser untuk Memproteksi Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Area Sorong* [3].

Persamaan Tugas Akhir yang dibuat penulis dengan jurnal referensi pertama adalah pembahasan tentang prinsip dan cara kerja pengoperasian sistem *interlock* pada panel RTU. Untuk jurnal referensi kedua, penulis sama-sama membahas tentang implementasi *recloser* sebagai peralatan *switching* sistem proteksi jaringan distribusi menggunakan SCADA. Sedangkan, persamaan Tugas Akhir penulis dengan jurnal referensi ketiga adalah sama-sama membahas *monitoring* SCADA pada *recloser* berupa status, kontrol dan *metering*-nya.

Yang membedakan Tugas Akhir penulis dengan jurnal referensi pertama adalah penulis akan membuat alat simulasi panel RTU pada *Keypoint* berupa *recloser*, bukan berupa panel RTU kubikel *outgoing* sehingga penggunaan sistem *interlock* kontrol yang akan dibahas juga berbeda, yaitu sistem *interlock recloser* pada *control open/close.* Selain itu, penulis juga membuat beberapa status/indikator yang berbeda karena faktanya pengambilan status *recloser* dan kubikel *outgoing* memiliki status-status yang berbeda. Contohnya, pada kubikel *outgoing* terdapat status ESW (*Earth Switch*), status *Rack In/Out* dan status RNR (*Relay Not Ready*) yang tidak digunakan pada *Keypoint recloser*. Sedangkan, perbedaan dengan jurnal referensi kedua yaitu implementasi *recloser* yang dibuat penulis berupa simulasi untuk jaringan 1 fasa tanpa adanya *monitoring* koordinasi PMT. Selanjutnya, perbedaan Tugas Akhir penulis dengan jurnal referensi ketiga yaitu *recloser* yang digunakan sebagai peralatan *monitoring* dan kontrol merupakan *prototype* yang dirancang penulis berupa alat simulasi *recloser* menggunakan *Relay* DPDT (*Double Pole Double Throw*) Omron tipe LY2N 12VDC, bukan merupakan sebuah analisa penelitian *recloser* yang terpasang di

lapangan. Perancangan sistem *monitoring*nya pun tidak menggunakan *software* WinSMART GRID namun dirancang dengan menggunakan *software* Weintek m-TV-100 karena *software* ini didukung dengan pengembangan HMI (*Human Machine Interface*) terkini sehingga merupakan salah satu *software* yang umum digunakan dalam dunia industri otomasi.

Dalam simulasi alat ini, mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pusat kendali keseluruhan sistem. Dengan menggunakan mikrokontroler, maka pemrograman alat dilakukan melalui suatu *software* dengan bahasa pemrograman Arduino yang dapat dikembangkan. Alat ini juga dapat mengakumulasi *data logger recloser* secara otomatis dengan *tools* yang terdapat pada software Weintek m-TV-100 yang terakuisisi langsung pada *software* Microsoft Excel. Sistem dan prinsip kerja pada *recloser* untuk kontrol dan statusnya pun diracang semirip mungkin dengan sistem yang diterapkan di PT. PLN (Persero).

2.2 Dasar Teori

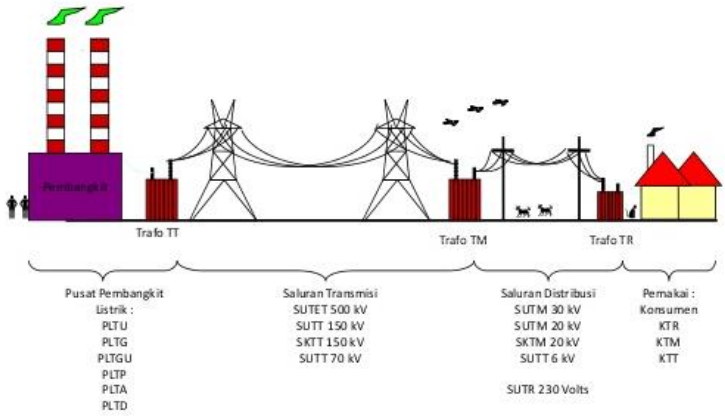
2.2.1 Sistem Operasi Tenaga Listrik

Secara umum, suatu sistem operasi tenaga listrik secara sederhana terdiri atas [4]:

1. Sistem pembangkit
2. Sistem transmisi dan Gardu Induk
3. Sistem distribusi
4. Sistem sambungan pelayanan

Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik modern merupakan sistem yang komplek yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan juga jaringan distribusi yang berfungsi

untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat pusat beban [5]. Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketiga bagian yaitu pembangkit, penyaluran dan distribusi tersebut satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan seperti terlihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2. 1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik [5]

Energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik, disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian didistribusikan ke beban. Penamaan suatu sistem tenaga listrik biasanya menggunakan daerah cakupan yang dilistriki, misalnya Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali (STLJB) atau Sistem Jawa Bali (SJB) berarti sistem tenaga listrik yang mencakup Pulau Jawa, Madura dan Bali.

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat tenaga listrik, seperti PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP, PLTA, PLTD, PLTN, dan PLTB. Tegangan listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit ini semula sebesar 11 kV yang selanjutnya

dinaikan secara bertahap melalui transformator *step-up* menjadi 500 kV atau 150 kV.

Setelah tegangan dari pembangkit dinaikan melalui transformator *step-up* menjadi 500 kV atau 150 kV, kemudian tegangan tersebut 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. Tegangan ini umumnya disalurkan melalui saluran udara sehingga disebut SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi), sedangkan untuk besaran tegangan sebesar 150 kV yang disalurkan melalui saluran udara disebut dengan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Kedua besaran tegangan yang berasal dari pembangkit ini dinaikan dengan tujuan meminimalisir rugi-rugi daya dan *drop* tegangan akibat penyaluran jaringan yang sangat panjang. Semakin panjang jalur jaringan, 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 teganganya melalui transformator *step-down* dari Tegangan Ekstra Tinggi (TET) atau Tegangan Tinggi (TT) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan besaran tegangan 20 kV. Selanjutnya, besaran tegangan ini disalurkan ke jaringan distribusi melalui gardu distribusi.

Dari gardu distribusi, tenaga listrik disalurkan 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) dengan besar tegangan 380 V untuk jaringan 3 fasa atau 220 V untuk jaringan 1 fasa. Jaringan Tegangan Rendah (JTR) tersebut kemudian kemudian disalurkan ke konsumen Tegangan Rendah (TR), misalnya untuk konsumen rumah tangga.

Dari ketiga bagian dalam sistem operasi tenaga listrik yang dijelaskan di atas, penulis akan membahas dan memfokuskan bahasan Tugas Akhir pada sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV.

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat. Sistem distribusi ini terbagi menjadi 2 bagian [4]:

1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah

   Mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 35 kV. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah berawal dari Gardu Induk/Pusat Listrik pada sistem terpisah/*isolated*. Namun, untuk beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk *radial* atau tertutup (*radial open loop*).

2. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

   Mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya 1 kV dengan berbentuk radial murni.

Di Indonesia, sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) memiliki tegangan operasi nominal 20 kV/11,6 kV dan disebut dengan jaringan

distribusi primer, sedangkan sistem distribusi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) memiliki tegangan operasi nominal 380 V/220 V dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan, sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen [6].

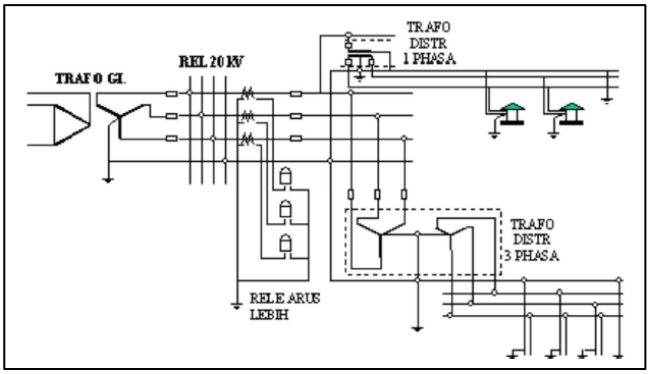
Dilihat dari sistem pentanahannya, sistem distribusi dapat dibedakan menjadi beberapa macam. Tiga pola utama sistem distribusi 20 kV yang ada dan berkembang di pulau Jawa, yaitu [7]:

1. Sistem pentanahan netral dengan tahanan tinggi di PLN Distribusi Jawa Timur.
2. Sistem pentanahan netral langsung sepanjang jaringan di PLN Distribusi Jateng dan DIY.
3. Sistem pentanahan netral dengan tahanan rendah yang berlaku di PLN Distribusi Jawa Barat dan PLN Distribusi DKI Jaya.

Di mana masing-masing memiliki karakter dan kekhususan tersendiri yang akan dijadikan sebagai dasar bagi perkembangan sistem distribusi di daerah yang sedang berkembang. Dilihat dari pengawatannya, sistem distribusi dapat dipisahkan menjadi 2 macam yaitu [7]:

1. Sistem distribusi 20 kV tiga fasa tiga kawat, terdapat pada sistem distribusi 20 kV dengan pentanahan netral tinggi dan pada sistem distribusi 20 kV dengan pentanahan netral rendah.
2. Sistem distribusi 20 kV tiga fasa empat kawat, terdapat pada sistem distribusi 20 kV dengan netral pentanahan langsung.

Gambar 2.2 merupakan sistem pentanahan langsung 3 fasa 4 kawat.



Gambar 2. 2 Sistem Pentanahan Langsung 3 Fasa 4 Kawat [7]

Adapun, sistem distribusi tenaga listrik di daerah Jawa Tengah dan DIY menggunakan sistem distribusi 20 kV tiga fasa-empat kawat. Sistem jaringan yang digunakan pada daerah Jawa Tengah dan DIY adalah sebagai berikut [7]:

1. Jaringan tegangan menengah (JTM) terdiri dari JTM 3 fasa dan JTM 1 fasa.
2. Tegangan nominal antar fasa 20 kV (tiga fasa)
3. Tegangan fasa-netral sebesar 20/√3 kV (satu fasa).
4. Menggunakan kawat netral untuk jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah.

2.2.3 Gangguan pada Jaringan Distribusi

2.2.3.1 Jenis-jenis Gangguan

Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi biasanya merupakan gangguan-gangguan yang terkait dengan saluran penghantar dan peralatan-peralatan gardu distribusi seperti transformator distribusi, kawat pentanahan dan sebagainya.

Seperti pada sistem tenaga umumnya, maka gangguan yang terjadi pada sistem distribusi dapat dikategorikan sebagai berikut [8]:

1. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan ini pada umumnya berupa gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa dengan tanah, dua fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat semacam ini dapat menimbulkan arus yang besar dan dapat merusak peralatan pada sistem tenaga listrik seperti transformator daya, *current transformator* (CT), *potential transformator* (PT), kapasitor, kabel, dan sebagainya. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi untuk dapat melindungi peralatan listrik yang digunakan dari berbagai macam bentuk gangguan dan harus dapat meminimalkan akibat dari gangguan tersebut [9]. Gangguan ini memiliki 2 sifat, yaitu gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan permanen dapat terjadi karena hubung singkat pada kabel, belitan transformator maupun pada generator. Selanjutnya, terdapat gangguan temporer yang merupakan gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan temporer biasanya terjadi karena sambaran petir, *flashover* (busur api), pohon atau tertiup angin.

Pada gangguan hubung singkat yang terjadi di antara belitan fasa (2 fasa atau 3 fasa) digunakan *Relay* OCR (*Over Current Relay*) sebagai pengaman gangguan antar fasa. Pemasangannya dapat di *incoming feeder* (penyulang masuk), *outgoing feeder* (penyulang keluar) atau di gardu hubung [10]. Sedangkan, pengaman *Relay* GFR (*Ground Fault Relay*) dipergunakan untuk mengamankan sistem distribusi jika ada gangguan hubung singkat satu fasa

ke tanah. Pemasangannya dapat di *incoming feeder* (penyulang masuk), *outgoing feeder* (penyulang keluar) atau di gardu hubung [10].

Dalam masing-masing jenis gangguan OCR dan GFR memiliki tiga *section*:

a) *Section* TD (*Time Delay*), merupakan *trip* dengan jeda waktu sesuai dengan kurva TMS dimana semakin besar arus maka akan semakin cepat *trip* terjadi yang difungsikan secara *reclose.*

b) *Section* HCL (*High Current Lockout*), merupakan *trip* dengan jeda waktu kerja *instant* (0,1 s) yang dapat difungsikan secara *reclose.*

c) *Section* HCT (*High Current Trip*), merupakan *trip* dengan jeda waktu kerja *instant* (0,1 s) namun *section* ini tidak memungkinkan *recloser* untuk bekerja secara *reclose* melainkan akan langsung *lock out* karena jumlah arus gangguan yang terjadi telah melewati batas *settingan* arus proteksi.

2. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih terjadi karena pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan [10]. Beban lebih adalah sejumlah arus yang mengalir yang lebih besar dari arus nominal. Hal ini terjadi karena penggunaan daya listrik oleh konsumen melampaui kapasitas nominal mesin atau adanya peningkatan beban dari generator, transformator tenaga atau penghantar listrik. Jika gangguan ini dibiarkan maka dapat mengurangi umur peralatan listrik.

3. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih juga termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi. Berdasarkan penyebabnya, maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas 2 hal [11]:

a) Tegangan lebih *power* frekuensi.

Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada transformator distribusi.

b) Tegangan lebih surja

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surja petir.

2.2.3.2 Akibat dari Gangguan

Akibat yang paling serius dari gangguan adalah kebakaran yang tidak hanya akan merusak peralatan dimana gangguan terjadi tetapi bisa berkembang ke sistem dan akan mengakibatkan kegagalan total dari sistem. Berikut ini akibat-akibat yang disebabkan oleh gangguan:

1. Penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem daya sehingga dapat merugikan pelanggan atau mengganggu kerja peralatan listrik.
2. Bahaya kerusakan pada peralatan yang diakibatkan oleh *arcing* (busur api listrik).
3. Bahaya kerusakan pada peralatan akibat *overheating* (pemanasan berlebih) dan akibat tekanan mekanis (alat pecah dan sebagainya).
4. Terganggunya stabilitas sistem serta menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik.
5. Menyebabkan penurunan tegangan sehingga koil tegangan *Relay* gagal

bertahan.

2.2.4. *Manuver* Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Manuver jaringan atau manipulasi jaringan merupakan serangkaian kegiatan pelimpahan tenaga listrik dengan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan pemeliharaan jaringan akibat adanya gangguan atau adanya pekerjaan jaringan sedemikian rupa sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran yang maksimum atau dengan kata lain yang lebih sederhana adalah mengurangi daerah pemadaman [12].

Kegiatan yang dilakukan saat *manuver* [13]:

1. Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.
2. Memisahkan jaringan menjadi bagian-bagian jaringan yang semula terhubung menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak. Jadi, *manuver* jaringan ini dapat dikatakan sebagai pekerjaan membuka (melepas) dan memasukan (memasukan) peralatan peralatan switching/ penghubung yang ada pada jaringan dan penyulang seperti : ABSW, FCO, LBS, *recloser* dan PMT sehingga dapat dilakukan pelimpahan beban.

2.2.4.1 Syarat-Syarat Manuver

Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam melakukan *manuver/*pelimpahan beban yaitu [12]:

1. Tegangan antara kedua penyulang yang akan diparalelkan dalam keadaan sama ataupun maksimal beda tegangan 0,5 kV.

2. Frekuensi antara kedua penyulang yang akan di-*manuver* dalam keadaan sama.
3. Jaringan harus dalam satu subsistem yang sama, apabila berbeda subsistem akan terjadi pemadaman sesaat.
4. Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
5. Urutan ketiga fasa antara kedua penyulang yang akan di-*manuver* harus sama.
6. Penampang konduktor kedua penyulang harus sama ukurannya.
7. Peralatan *manuver/switching* harus dalam keadaan baik untuk beroperasi.

Pelimpahan beban juga dapat diartikan sebagai kegiatan atau pekerjaan pengalihan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara dengan menutup (memasukkan) atau membuka (melepas) peralatan-peralatan penghubung/*switching* seperti ABSW, LBS, dan PMT [12].

2.2.4.2 Tujuan Manuver

Manuver pada sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah dilakukan dengan tujuan [12]:

1. Mempercepat penormalan jaringan.
2. Mempersempit daerah padam atau menimalisir pelanggan padam.
3. Pengaturan distribusi beban jaringan.
4. Pertimbangan keandalan jaringan.

2.2.5 Peralatan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Dalam sistem Jaringan Tegangan Menengah yang terpasang pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah), terdapat beberapa peralatan yang dapat

membantu proses penyaluran tenaga listrik. Peralatan ini terbagi menjadi peralatan hubung/*switching* (PHB-TM) dan peralatan proteksi jaringan SUTM.

2.2.5.1 PHB-SUTM (Peralatan Hubung/Switching Saluran Udara Tegangan Menengah)

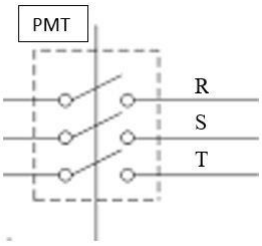
Berikut ini adalah komponen utama PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai yang lazim digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah:

1. PMT (Pemutus Tenaga)/ *Circuit Breaker*

   PMT adalah alat pemutus tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik baik dalam kondisi normal atau abnormal (gangguan) [12]. Pemutus Tenaga (PMT) merupakan sebuah peralatan saklar/*switching* mekanis yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi *short circuit*/hubung singkat [14]. Pada saat PMT bekerja menghubungkan atau memutus beban, akan terjadi suatu fenomena tegangan lebih dan busur api (*flashover*), sehingga PMT dilengkapi dengan media pemadam busur api.

   Fungsi utama dari PMT sendiri adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain. Oleh karena itu, proteksi PMT berguna untuk memisahkan daerah yang terkena gangguan dengan daerah yang normal.

   Gambar 2.3 merupakan *single line* PMT.



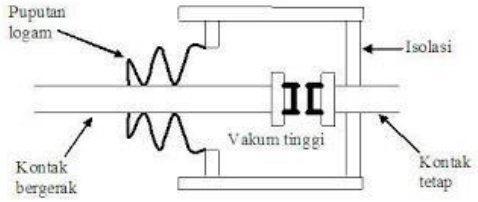
Gambar 2. 3 *Single Line* PMT [14]

Prinsip pemisahan daerah gangguan pada PMT adalah ketika *Relay* merasakan adanya kondisi tidak normal pada sistem, maka *Relay* akan mengirimkan sinyal kepada *coil* PMT untuk memerintahkan *trip* pada PMT sehingga gangguan dapat dipisahkan dan tidak meluas ke daerah yang normal. Bagian-bagian utama pada PMT [15]:

a) Kontak Pemutus

Pada PMT terdiri dari dua jenis kontak, yaitu *fixed contact* (kontak diam) dan *moving contac*t yang terhubung dengan terminal penggerak. *Moving contact* digerakkan dengan berbagai macam penggerak, seperti penggerak pegas (*spring drive*), penggerak hidrolik, penggerak *pneumatic* dan SF6 gas *dynamic*. Dalam keadaan normal, kedua kontak ini saling terhubung untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban. Bila suatu saat dilakukan pemutusan beban dengan membuka kontak, pada kedua ujung kontak yang terbuka akan muncul beda potensial dan akan menimbulkan medan elektrik di sela kontak tersebut. Akibat adanya medan elektrik inilah terjadi proses emisi thermal pada ujung-ujung kontak, sehingga terjadilah proses ionisasi dan lompatan elektron yang sangat tinggi intensitasnya. Perpindahan elektron secara

masif ini yang menjadikan busur api. Gambar 2.4 merupakan konstruksi PMT.



Gambar 2. 4 Konstruksi PMT [15]

b) Peredam busur api

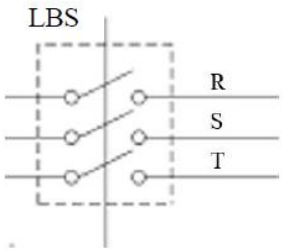
Untuk menghentikan busur api pada saat pemutusan beban, diperlukan media dielektrik sebagai isolasi antar kontak. Beberapa media peredam busur api yang ada di PMT antara lain adalah gas SF6, minyak, dan *Vacuum*. Gambar 2.5 merupakan gambar fisik PMT 20 kV.

Gambar 2. 5 PMT 20 kV pada Gardu Induk

2. LBS (*Load Break Switch*)

LBS (*Load Break Switch*) bisa disebut juga dengan pemutus beban, karena alat ini merupakan saklar yang dapat membuka dan menutup dalam keadaan berbeban. Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV.

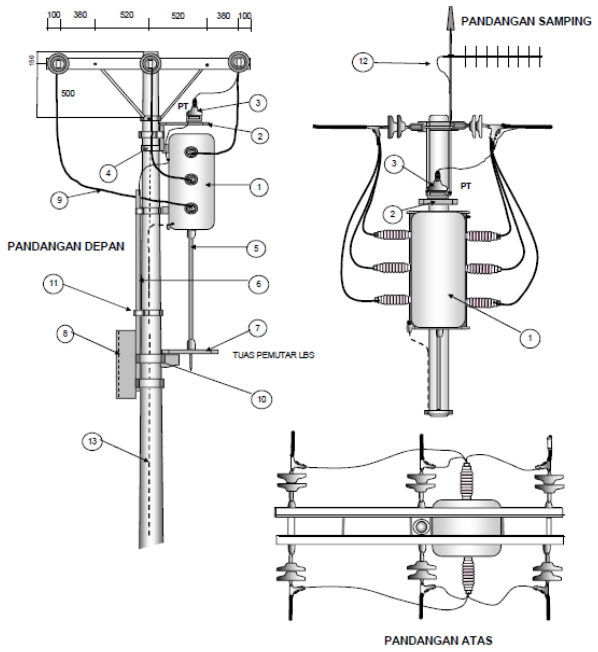
Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi. Kubikel LBS dilengkapi dengan saklar pembumian yang bekerja secara *interlock* dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (*remote control*), *Remote Terminal Unit* (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak [16]. Gambar 2.6 merupakan *single line* LBS.



Gambar 2. 6 *Single Line* LBS [16]

LBS disertai dengan peredam busur api berupa medium minyak, gas SF6, atau *vacuum interrupter*. Cara pengoperasian LBS melalui suatu kotak panel yang dapat dikontrol sehingga pengoperasiannya lebih mudah dan aman. Tetapi, apabila panel kontrol tersebut tidak bisa dioperasikan, maka digunakan sebuah *stick* untuk menarik tuas LBS. Biasanya, setelah dimasukkan atau dilepas akan terdengar bunyi yang menandakan bahwa kondisi LBS telah berubah, yakni dari NO (*normally open*) menjadi NC (*normally close*) ataupun sebaliknya.

Gambar 2.7 merupakan gambar konstruksi LBS.



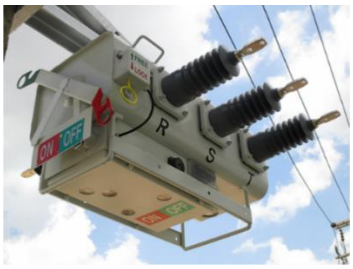
Gambar 2. 7 Konstruksi LBS [17]

Keterangan Gambar [17]:

1. LBS / *Motor Rise*
2. *Braket* untuk PT
3. *Potensial Transformer* (PT)
4. *Klem Motor Rise*
5. Tuas pemutar manual
6. Pipa pelindung kabel
7. Kedudukan tuas
8. *Control Box*
9. Kabel *jumper*
10. Klem Box 2
11. Klem pipa pelindung kabel
12. Antena pemutus

13. Arde

Gambar 2.8 merupakan gambar fisik LBS.



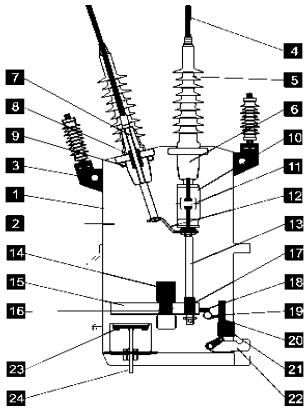
Gambar 2. 8 *Load Breaker Switch* [17]

2.2.5.2 Peralatan Proteksi Tegangan Menengah SUTM

Selain ketiga komponen utama peralatan hubung/*switching* (PHB-SUTM) yang telah ditunjukkan di atas, terdapat beberapa peralatan proteksi pada Jaringan Tegangan Menengah untuk SUTM yang juga dapat berfungsi sebagai peralatan *switching*, salah satunya adalah PBO (Pemutus Balik Otomatis) atau biasa disebut dengan *recloser*.

1. PBO (Pemutus Balik Otomatis)/*Recloser*

   PBO/*recloser* merupakan peralatan pemutus tenaga listrik (*circuit breaker*) yang dilengkapi dengan piranti kontrol (*control device*) yang berfungsi sebagai pengaman arus lebih gangguan fasa-fasa/fasa-nol. Cara kerja *recloser* adalah apabila terjadi gangguan hubung singkat temporer, maka secara otomatis *recloser* akan trip dan akan masuk (*close*) kembali. Bila gangguan bersifat permanen, maka *recloser* akan bekerja membuka (*open*) dan menutup kembali (*close*) sesuai dengan *setting* yang ditentukan hingga pada *recloser* tersebut membuka permanen (*lock out*) [18]. Gambar 2.9 merupakan konstruksi dari *recloser*.



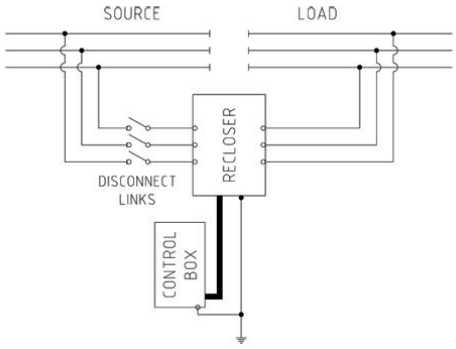
Gambar 2. 9 Konstruksi *Recloser* [19]

Keterangan Gambar [19]:

1. *Tank*
2. SF6 *insulating gas*
3. *Surge arrester bracket*
4. *HV cable tail*
5. *Bushing boot*
6. *Bushing*
7. *Central conductor*
8. *Capacitive Voltage Transformer* (CVT)
9. *Current Transformer* (CT)
10. *Vacuum interrupter*
11. *Contacts*
12. *Flexible connection*
13. *Push rod*
14. *Close selenoid*
15. *Mechanism plate*

16. *Opening spring*
17. *Contact spring*
18. *Latch*
19. *Trip bar*
20. *Trip bar armature*
21. *Trip selenoid*
22. *Manual trip lever*
23. SCEM
24. *Control cable*

Gambar 2.10 merupakan *single line recloser.*



Gambar 2. 10 *Single Line Recloser* [19]

Pada umumnya, gangguan temporer yang menyebabkan *recloser* bekerja seperti [20]:

1. Terhubungnya antar konduktor karena tarikan kurang kencang dan tertiup angin.
2. Karena tersambar petir.
3. Tersentuh cabang pepohonan.

4. Binatang yang melintasi konduktor yang menyebabkan hubung singkat (burung, tikus dan lain-lain).

Pengaman jenis ini dapat di-*setting* cepat untuk gangguan yang temporer dan lambat untuk gangguan yang permanen, dengan kata lain di-*setting delay* atau instan. Setelan lambat (*delay*) perlu dikoordinasikan dengan pengaman lain seperti OCR, GFR atau *fuse*. Karena setelan waktu *Relay* (OCR atau GFR) di sumber minimum waktu tripnya 0,3 detik, bila terjadi gangguan arus di bawah setelan dengan waktu singkat (< 0,3 detik) *recloser* kemungkinan tidak trip [10].

Dimisalkan, pada jaringan udara tersentuh pohon yang sesaat karena tertiup angin dan pohon tersebut hanya beberapa detik menyentuh jaringan, maka settingan *delay* akan bekerja dan *recloser* akan melakukan tindakan *autoreclose* sesuai *setting*an dan lamanya waktu *delay* (umumnya sebanyak 3 kali *open-close*). *Recloser* dapat menutup dan membuka dengan adanya kontak *Relay*. Jika gangguan terjadi, kontak *Relay* akan menutup dengan waktu 20 ms yang selanjutnya baterai akan terhubung ke PMT dan PMT pun dapat membuka, kemudian gangguan dapat dilokalisir. Ketika penormalan selesai, PMT akan masuk kembali dan kontak *Relay* juga akan membuka, selanjutnya hubungan baterai terputus.

Recloser juga bisa menjadi instan ketika arus gangguan hubung singkat melebihi arus settingan instan pada *recloser*. Settingan ini sesuai keinginan petugas yang mensetting *recloser* tersebut tentunya ada juga faktor yang mempengaruhi besarnya settingan tersebut [21]. *Recloser* dipasangkan pada

jaringan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) dengan tujuan sebagai peralatan proteksi jaringan SUTM. Gambar 2.11 merupakan gambar fisik *recloser.*

Gambar 2. 11 *Recloser* [20]

2.2.6 SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

SCADA adalah sistem yang dapat memonitor dan mengontrol suatu peralatan atau sistem dari jarak jauh secara *real time*. SCADA merupakan sistem yang mengawasi dan mengendalikan peralatan proses yang tersebar secara geografis [22]. SCADA berfungsi mulai dari pengambilan data pada Gardu Induk atau Gardu Distribusi, pengolahan informasi yang diterima, sampai reaksi yang ditimbulkan dari hasil pengolahan informasi. Secara umum fungsi dari sistem SCADA adalah:

1. Penyampaian data
2. Proses kegiatan dan *monitoring*
3. Fungsi kontrol
4. Perhitungan dan pelaporan

Sebelum sistem SCADA diterapkan pada sistem tenaga listrik, konfigurasi jaringan harus mengikuti standar yang berlaku. Pada SCADA distribusi, konfigurasi jaringan harus memungkinkan untuk dilakukannya manuver dan tersedianya peralatan *switching* yang *motorized* dan sistem proteksi 20 kV yang

optimal, serta kondisi beban *feeder* yang memungkinkan untuk dilakukan tambahan manuver beban.

Dengan adanya sistem SCADA, penyampaian dan pemrosesan data dari peralatan Gardu Induk yang terdiri dari peralatan proteksi, kontrol dan pengukuran menjadi lebih cepat diketahui oleh operator (*dispatcher*). *Dispatcher* merupakan petugas yang melakukan supervisi dari *control center* yang ditempatkan pada gedung kontrol RCC/UP2D [23]. Kegiatan *dispacher* meliputi keadaan sistem saat kondisi normal, menghadapi gangguan, serta recovery terhadap terjadinya suatu gangguan.

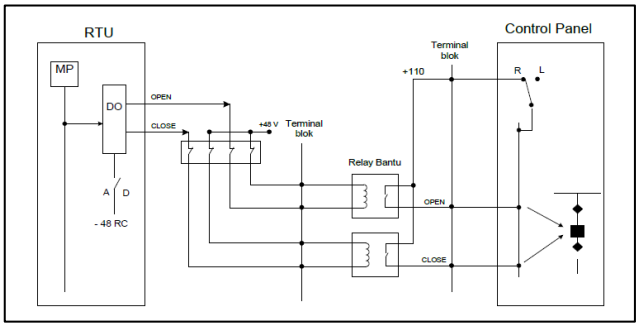
Sistem SCADA dipakai terutama untuk meningkatkan pelayanan kepada para pelanggan listrik dengan cara mengurangi lama waktu padam dan kemudahan dalam mendapatkan data-data operasional serta posisi/kedudukan gawai-gawai kendali pada instalasi listrik [4]. Di dalam pengoperasian secara sistem, diharapkan tidak terjadi pemutusan pelayanan selama 24 jam selama sehari dan tujuh hari dalam seminggu. Untuk tujuan tersebut SCADA dan Telekomunikasi menjadi hal yang sangat diperlukan keberadaannya sebagai sarana pengendali.

2.2.6.1 Fungsi SCADA

Terdapat tiga kontrol jarak jauh untuk fungsi SCADA dimana urutan prioritas informasi SCADA mulai dari tingkatan yang tertinggi hingga ke tingkatan yang terendah yaitu [24]:

1. *Telecontrolling* (TC)

Telecontrolling/ telekontrol adalah kendali peralatan operasional jarak jauh menggunakan transmisi informasi dengan teknik telekomunikasi [25]. Telekontrol dapat berisi kombinasi perintah, alarm, indikasi, *metering*/pengukuran, proteksi dan fasilitas *tripping*, tidak menggunakan pesan suara [24]. TC memberikan perintah *close* dan *open* pada PMT, PMS atau *start/stop* suatu generator dari *Control Center* melalui RTU yang berupa *Relay contact* dari output modul *remote control* (*Digital Output*) [26]. Gambar 2.12 merupakan skema *telecontrolling* SCADA.



Gambar 2. 12 Skema *Telecontrolling* SCADA [26]

2. *Telesignaling* (TS)

Telesignaling adalah pengawasan status dari peralatan operasional dalam jarak tertentu dengan menggunakan teknik telekomunikasi seperti kondisi alarm, posisi *switch* atau posisi katup [27]. *Digital input* adalah input/masukan sinyal yang berupa indikasi-indikasi dan alarm-alarm dari suatu peralatan, yang diperlukan sistem SCADA untuk dikirim ke *Control Center* sebagai status dan indikator dalam pengaturan sistem [26]. Ada dua jenis *telesignalling* [26]:

a) *Tele Signal Single* (TSS)/Single Status

Terdiri dari alarm-alarm suatu proteksi dengan *output ON/OFF*, seperti:

a. *Local/Remote*

b. OC (*Over Current*) status

c. EF status

d. *Communication Link Fail*

e. Fasa Gangguan

f. *Auto Reclose OFF/ON* status

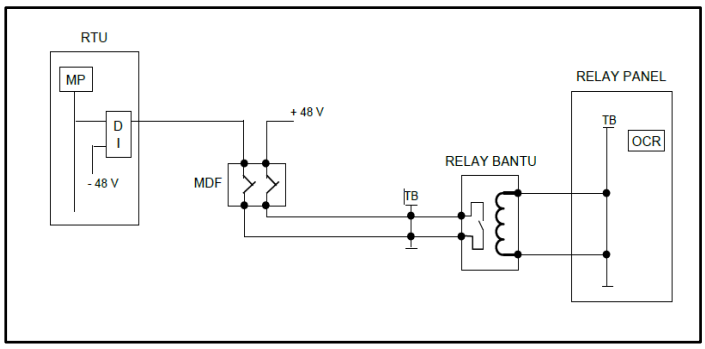
g. AC *Fault*/DC *Fault*

h. RTU *Fail/Inacces*

i. *Ground Fault*

j. *Breaker Fault*

Gambar 2.13 merupakan skema TSS SCADA.



Gambar 2. 13 Skema TSS SCADA [26]

b) *Tele Signal Double* (TSD)/Double Status

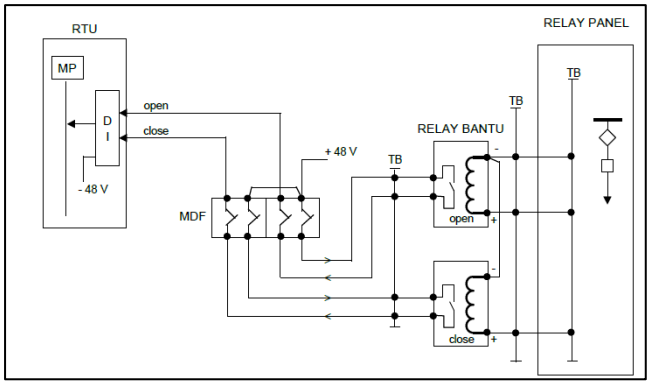
Terdiri dari alarm-alarm suatu proteksi dengan *output ON/OFF* yang bisa dikontrol, seperti:

a. *Open Close Circuit Breaker*

b. *Open Close Earthing Swicth*

c. *Disconecting switch*

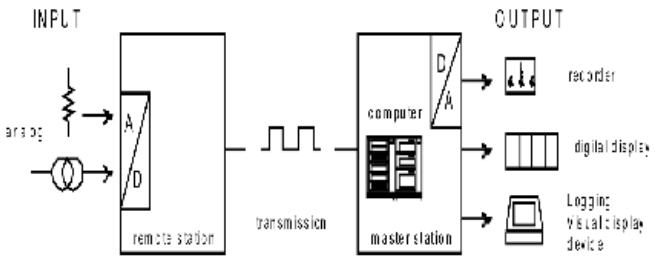
Gambar 2.14 merupakan skema TSD SCADA.



Gambar 2. 14 Skema TSD SCADA [26]

3. *Telemetering* (TM)

Merupakan transmisi nilai variabel yang diukur dengan menggunakan teknik telekomunikasi [28]. *Telemetering* adalah melakukan pengukuran besaran ukur tenaga listrik yang ada di Gardu Induk atau Gardu Distribusi. Besaran-besaran operasi ini diambil melalui pengamatan jarak jauh yang dapat dikirim dan dimonitor di *Control Center* secara *real time* meliputi daya (MW), arus beban (3 fasa RST dan arus rata-rata), tegangan kerja (3 fasa RST, tegangan rata-rata dan tegangan *unbalaced*), frekuensi, KVA/KVAr, PF, dan lain-lain sebagai bahan pengaturan sistem tenaga listrik [26]. Gambar 2.15 merupakan skema *telemetering* SCADA.



Gambar 2. 15 Skema *Telemetering* SCADA [26]

2.2.6.2 Tujuan SCADA

Beberapa tujuan-tujuan SCADA dalam sistem distribusi diberikan di bawah ini [29]:

1. Meningkatkan efisiensi sistem tenaga dengan mempertahankan rentang faktor daya yang dapat diterima
2. Membatasi permintaan daya puncak
3. Pemantauan dan pengendalian terus menerus dari berbagai parameter listrik baik dalam kondisi normal maupun tidak normal
4. Alarm yang memungkinkan operator untuk mengatasi titik masalah
5. *History data* dengan *monitoring* dari lokasi *remote* penginstalasian
6. Respons cepat terhadap gangguan layanan pelanggan

2.2.6.3 Peralatan SCADA

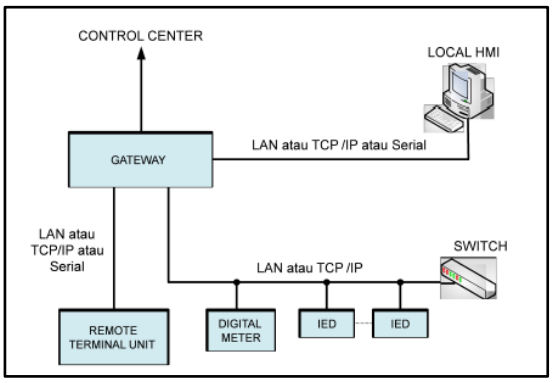
Peralatan-peralatan SCADA yang utama terdiri dari 3 bagian, yaitu *master computer/master station*, sarana komunikasi data (protokol komunikasi), dan RTU. *Master station* merupakan stasiun yang melaksanakan telekontrol *(telemetering, telesignal,* dan *remote control)* terhadap *remote station* [23]. *Master station* ditempatkan di *Control Center* (pusat kendali). Kemudian, dalam melaksanakan proses komunikasi data pada sistem SCADA, terdapat istilah protokol komunikasi. Protokol komunikasi adalah sistem format pesan digital dan aturan untuk bertukar pesan-pesan di dalam/antar sistem komputer dan telekomunikasi. Jenis-jenis protokol komunikasi yang digunakan pada sistem SCADA [24]:

1. Protokol komunikasi data antara RTU dan *master station:*

a. IEC 60870-5-101 (syarat kecepatan minimum 1200 bps, *redundant*)
b. IEC 60870-5-104 (syarat kecepatan minimum 64 Kbps, opsional)
c. DNP 3.0 serial dan/atau DNP 3.0 TCP/IP (opsional)

2. Protokol komunikasi data antara RTU dengan *gateway:*
   a. IEC 60870-5-101
   b. IEC 60870-5-104
   c. DNP 3.0 serial dan/atau DNP 3.0 TCP/IP
3. Protokol komunikasi data antara *gateway* dengan IED:
   a. IEC 60870-5-103 (opsional)
   b. IEC 60870-5-104 (opsional)
   c. IEC 60870-5-101 (opsional)
   d. DNP 3.0 serial dan/atau DNP 3.0 TCP/IP (opsional)
   e. Modbus; ASCII, RTU (opsional untuk peralatan pendukung)
   f. IEC 61850
4. Protokol antar *Control Center*:
   a. Inter Control Center Protocol (ICCP)/IEC 870-6 Tase 2

Sedangkan, *remote station* adalah stasiun yang dipantau, atau diperintah dan dipantau oleh *master station,* yang terdiri dari *gateway*, IED, HMI lokal, RTU, dan meter energi [23]. Sesuai dengan judul Tugas Akhir penulis, penulis akan memfokuskan pembahasan pada RTU dengan menggunakan protokol komunikasi jenis Modbus. Gambar 2.16 merupakan skema *telemetering* SCADA.



Gambar 2. 16 Konfigurasi *Remote Station* [24]

Remote Terminal Unit (RTU) adalah peralatan yang dipantau, atau diperintah dan dipantau oleh *master station* [30]. RTU adalah salah satu komponen peralatan SCADA yang didesain untuk memonitor aktivitas *substation* pada suatu sistem tenaga listrik. Informasi dasar tentang sistem tenaga listrik diperoleh dari pemantauan status peralatan dan pengukuran besaran listrik pada Gardu Induk yang kemudian informasi tersebut diproses oleh RTU untuk kemudian dikirim ke *Control Center.* Sebaliknya, *Control Center* pun dapat mengirim perintah ke RTU. Proses ini, disebut teleinformasi (terdiri dari t*elesignal*, *telecontrol* dan *telemetering*). RTU terpasang pada setiap Gardu Induk (GI) atau pusat pembangkit yang masuk dalam sistem jaringan tenaga listrik. Remote Terminal Unit (RTU) terdiri dari [31]:

1. *Central Processing Unit* (CPU)
2. Memory
3. Modul *Input/Output* (I/O)
4. Modul *Power Supply*
5. *Telemetering* (TM) yang datang dari CT, VT melalui *transducer* disambung langsung ke modul *analog input.*

6. Telesinyal (TS) yang datang dari peralatan GI (PMT, PMS, ES, Trafo dll) disambung langsung ke modul *digital input.*
7. *Telecontroll digital* (TC) yang dkeluarkan dari modul analog output disambung ke peralatan pembangkit atau Gardu induk (PMT, PMS, ES dll) yang dilengkapi dengan motor penggerak untuk dikontrol dari pusat pengatur.
8. *Telecontrol analog* (TC) yang dikeluarkan dari modul *analog output* disambung ke Unit Pembangkit yang bisa diatur pembebanannya.

RTU dapat mengakuisisi *digital input*, *digital output*, *analog input,* dan *analog output* serta harus dilengkapi dengan fasilitas *dummy breaker* untuk melakukan simulasi *remote control.* Berikut merupakan fungsi RTU [32]:

a. Komunikasi dengan multi *master master station, multi protocol.*
b. Mengolah *input/output*.
c. Komunikasi dengan IED (*Intelligent Electronic Device*)
d. Mengakuisisi data analog maupun sinyal digital.
e. *Local data logging,* untuk merekam semua kejadian, termasuk apabila terdapat kelainan dari sistem maupun sinyal yang sedang dipantau.
f. Manajemen database
g. Sebagai *event recording,* merekam setiap kejadian sesuai dengan prosedur yang ada/sesuai dengan yang diperintahkan/diprogram dari pusat pengendali, misalnya perintah *close/open* PMT.

Gambar 2.17 merupakan panel RTU *recloser* merk Schneider.

Gambar 2. 17 Panel RTU *Recloser* merk Schneider

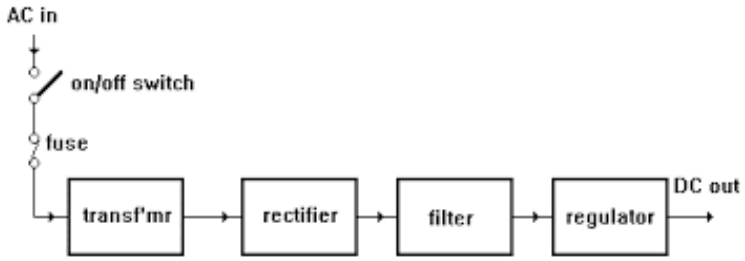
RTU ditempatkan pada panel RTU yang merupakan tempat untuk merakit RTU dengan peralatan integrasi RTU lainnya, seperti peralatan DI/DO (*Digital Input/Output*) *Board*, *Relay* dan *power supply* guna menjalankan tugasnya sebagai kontrol dan status. Panel RTU memiliki beberapa lokasi titik r*emote* penginstalasian, salah satunya berada pada *Keypoint* (titik *manuver*). *Keypoint* adalah peralatan *switching* dimana bisa dilakukan *manuver* antara dua *feeder* atau lebih [33]. Penggunaan dari adanya *Keypoint* berfungsi sebagai optimalisasi penormalan pasca gangguan dengan meminimalisir pekerjaan manual sehingga penormalan tidak hanya dilakukan pada lokasi titik gangguan, namun dapat dikontrol secara *remote* dari *Control Center* oleh *Dispatcher.* Unuk saat ini, peralatan *switching* jaringan distribusi yang terintegrasi SCADA (*Keypoint*) adalah *recloser* dan LBS (*Load Breaking Switch*).

2.2.7 Catu Daya (*Power Supply*)

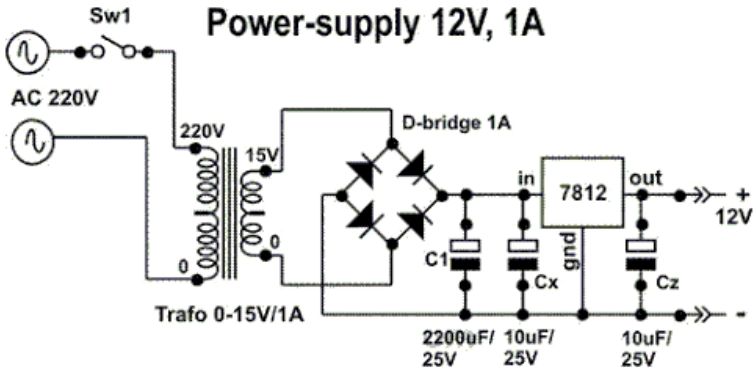
Catu daya atau sering disebut dengan *power supply* adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain yang mempunyai *input* tegangan AC (*Alternating Current*) dan mempunyai *output*

tegangan DC (*Direct Current*) [15]. Pada dasarnya, *power supply* ini memerlukan sumber energi listrik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dibutuhkan oleh perangkat elektronika lainnya.

Untuk prinsip kerja catu daya, catu daya memiliki beberapa tahapan-tahapan untuk menghasilkan sebuah tegangan yang sesuai dari tegangan *input* AC menjadi sebuah tegangan *output* DC murni. Gambar 2.18 merupakan *block diagram* catu daya dan Gambar 2.19 menunjukan rangkaian catu daya.



Gambar 2. 18 *Block Diagram* Catu Daya [15]



Gambar 2. 19 Rangkaian *Power Supply* [15]

2.2.7.1 Transformator

Menurut Zuhal dan Zhanggischan 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 gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi-

elektromagnet [15]. Transformator terdiri dari 2 bagian utama yang berbentuk lilitan, yaitu lilitan primer sebagai *input* transformator dan lilitan sekunder sebagai *output* transformator.

Transformator yang digunakan untuk *power supply* adalah transformator jenis *step down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan komponen elektronika yang terdapat pada rangkaian catu daya (DC *power supply*). *Output* pada transformator *step down* masih berupa tegangan AC sehingga masih perlu dilakukan beberapa tahapan. Dapat dimisalkan, *input* transformator *step down* yang semula berasal dari PLN sebesar 220 VAC dapat menghasilkan *output* sebesar 12 VAC atau sesuai kebutuhan.

Ada 2 jenis transformator *step down,* yaitu trafo CT dan trafo non-CT. Kedua trafo ini digunakan penulis dalam membuat rangkaian *power supply*.

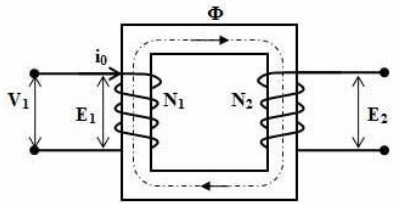
1. Trafo CT

   Trafo CT berfungsi untuk rangkaian *power supply* simetris gelombang penuh (seperti yang digunakan untuk *amplifier*) yang memiliki 3 kutub, yaitu kutub positif, kutub netral, dan kutub negatif. Pada trafo CT, gulungan sekundernya menggunakan 2 buah *output* dimana masing-masing *output* mempunyai beda fasa 180° dengan pin CT yang berfungsi sebagai titik netral [15]. Trafo ini mempunyai jumlah lilitan 2 kali lebih banyak dari pada trafo non-CT dengan ukuran kawat lilitan yang lebih kecil, sehingga dapat menampung jumlah lilitan 2 kali lebih banyak bila dibandingkan dengan trafo non-CT dengan ukuran fisik yang sama. Oleh karena itu, besar arus yang

keluar dari trafo CT dibandingkan dengan trafo non-CT adalah setengahnya saja.

2. Trafo non-CT

Trafo non-CT fungsinya untuk *power supply* non simetris, yakni *power supply* yang memiliki 2 kutub berupa kutub positif dan kutub negatif saja. Sebenarnya, trafo CT dapat juga digunakan untuk membuat *power supply* non simetris, bahkan pembuatannya lebih mudah dibandingkan dengan trafo non-CT. Gambar 2.20 menunjukan konstruksi transformator.



Gambar 2. 20 Konstruksi Transformator [15]

Keterangan Gambar 2.20:

V1 = tegangan primer (volt)

N1 = jumlah belitan primer

V2 = tegangan sekunder (volt)

N2 = jumlah belitan sekunder

E1 = gaya gerak listrik pada belitan primer (volt)

E2 = gaya gerak listrik pada belitan sekunder (volt)

I0 = arus beban nol

ϕ = *fluks* magnetik pada inti (weber)

Dari Gambar 2.20 di atas, transformator bekerja berdasarkan Hukum Induksi Faraday, dimana apabila terdapat arus arus bolak- balik (AC) yang

mengalir pada kumparan mengelilingi suatu inti besi, maka akan timbul elektromagnet pada inti besi tersebut. Akibat dari adanya induksi elektromagnet membuat ujung belitan akan timbul beda potensial yang kemudian menimbulkan gaya gerak listrik (GGL).

Besar tegangan keluaran/GGL induksi dari sebuah transformator ini nilainya berbanding lurus dengan besar perubahan *fluks* pada saat terjadi induksi. Jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak balik (AC), sementara kumparan sekunder dalam keadaan tidak dibebani, maka di kumparan primer mengalir arus yang disebut dengan arus beban nol (Io). 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:

$$E1 = 4{,}44.N1.f1.\phi \qquad \text{(persamaan 2-1)}$$

$$E2 = 4{,}44.N2.f2.\phi \qquad \text{(persamaan 2-2)}$$

Pada persamaan di atas:

$E1$ = gaya gerak listrik pada kumparan primer (volt)

$N1$ = jumlah belitan kumparan primer

f = frekuensi tegangan sumber (Hz)

ϕ = *fluks* magnetik pada inti (weber)

Sehingga,

$$\frac{E1}{E2} = \frac{N1}{N2} \qquad \text{(persamaan 2-3)}$$

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

$$a = \frac{E1}{E2} = \frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2}$$ (persamaan 2-4)

Selanjutnya, dengan adanya efisiensi trafo yang mengatakan perbandingan antara daya keluaran (P2) dengan daya masukan (P1), maka nilai efisiensi trafo dapat dirumuskan:

$$\eta = \frac{P1}{P2}\, x\, 100\ \%$$ (persamaan 2-5)

Apabila efisiensi sebuah transformator sama dengan 100% (trafo ideal), berarti daya listrik pada kumparan primer sama dengan daya listrik pada kumparan sekunder.

$$P1 \quad = \quad P2$$ (persamaan 2-6)

$$V1.I1 = \quad V2.I2$$ (persamaan 2-7)

$$\frac{V1}{V2} \quad = \quad \frac{I2}{I1}$$ (persamaan 2-8)

Dari persamaan (2-4) di atas, maka pada trafo, dapat dirumuskan: (persamaan 2-9)

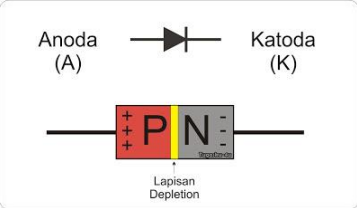
$$N1.I1 = N2.I2$$

Gambar 2.21 menunjukan bentuk fisik transformator.

Gambar 2. 21 Bentuk fisik Transformator *Stepdown* 3A

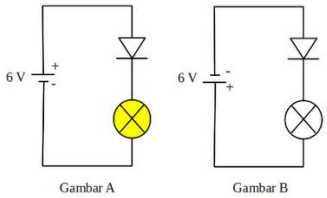
2.2.7.2 Dioda sebagai *Rectifier* (Penyearah)

Menurut Zuhal dan Zhanggischan dalam buku *Prinsip Dasar Elektroteknik,* dioda adalah suatu bahan semikonduktor (silikon) yang tersusun atas 'pn *junction'* dan didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan arus pada satu arah saja [15]. Dioda-dioda semikonduktor biasanya digunakan untuk mengkonversi arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC), dimana dalam kasus ini rangkaian dioda-dioda tersebut disebut sebagai penyearah (*rectifier*) [34]. Artinya, pada catu daya *output* tegangan transformator *stepdown* menjadi tegangan DC yang belum murni (masih terdapat denyut/*ripple*). Terdapat 2 jenis elektroda pada dioda, yaitu elektroda P (anoda) yang berupa kutub positif (+) dan elektroda N (katoda) yang berupa kutub negatif. Gambar 2.22 merupakan simbol dioda.



Gambar 2. 22 Simbol Dioda [34]

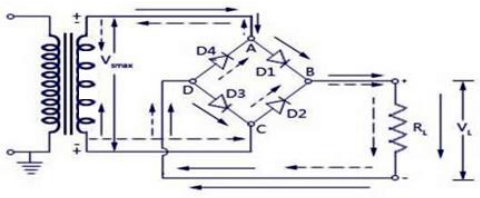
Dari Gambar 2.22 di atas, pada daerah sambungan 2 jenis semikonduktor yang berlawanan akan muncul lapisan *depletion* (deplesi) yang akan membentuk gaya *barier*. Gaya *barier* ini dapat ditembus dengan tegangan *break down voltage*, yaitu tegangan minimum yang dibutuhkan dioda agar dapat bersifat sebagai konduktor atau penghantar arus listrik. Besarnya b*reak down voltage* adalah 0,7 V (dioda jenis silikon) atau 0.3 V (dioda jenis germanium). Gambar 2.23 merupakan prinsip kerja dioda.



Gambar 2. 23 (a) *Forward Bias,* (b) *Reverse Bias* Dioda [34]

Pada Gambar 2.23 di atas, dapat ditunjukkan bahwa prinsip kerja 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.*

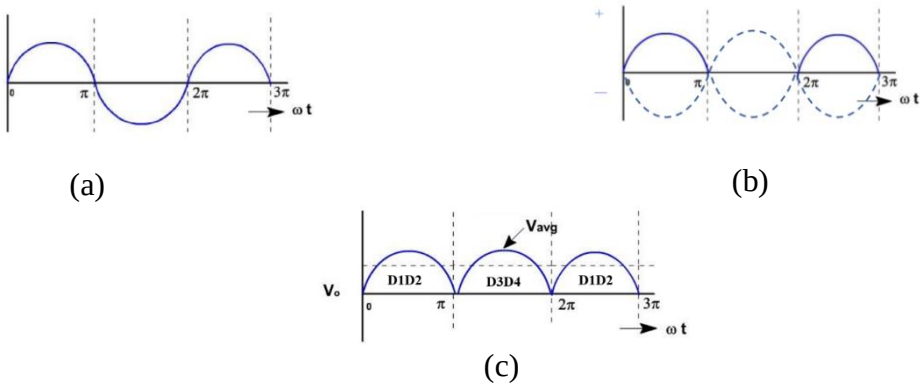
Jika dioda diberi *forward bias*, dimana tegangan sisi P (+) lebih besar dari tegangan sisi N (-), elektron dengan mudah mengalir dari sisi N (-) lalu mengisi kekosongan elektron (*hole*) di sisi P (+). Sebaliknya, jika dioda diberi tegangan balik (*reverse bias*), maka tidak ada elektron dari sisi N (-) untuk mengisi *hole* di sisi P (+) karena tegangan di sisi N (-) lebih tinggi. Ada dua tipe rangkaian penyearah pada dioda, yaitu penyearah setengah gelombang (*half bridge rectifier*) dan penyearah gelombang penuh (*full bridge rectifier*). Dalam Tugas Akhir ini, penulis menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh (*full bridge rectifier*) 4 dioda semikonduktor. Gambar 2.24 rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 siklus.



Gambar 2. 24 *Full Bridge Rectifier* dengan Siklus Positif dan Negatif [15]

Pada rangkaian *full bridge rectifier*, hanya ada 2 dioda saja yang menghantarkan arus untuk setiap siklus tegangan AC, sedangkan 2 dioda lainnya bersifat sebagai isolator pada saat siklus yang sama. Ketika tegangan AC mengalir pada kutub positif, arus akan mengalir ke anoda dioda D1, kemudian menuju beban dan kembali melalui dioda D3. Pada saat yang bersamaan, D2 dan D4 mengalami *reverse bias* karena D2 dan D4 tertahan oleh katoda pada kedua dioda tersebut sehingga tidak ada arus yg mengalir dan bersifat sebagai isolator.

Sedangkan jika tegangan AC mengalir pada kutub negatif (kutub diubah), arus akan mengalir ke anoda dioda D2, kemudian menuju beban dan kembali melalui dioda D4. Pada saat yang bersamaan, D1 dan D3 mengalami *reverse bias* karena D1 dan D3 tertahan oleh katoda pada kedua dioda tersebut sehingga tidak ada arus yg mengalir dan bersifat sebagai isolator. Kedua hal ini terjadi berulang secara terus menerus hingga didapatkan tegangan beban yang berbentuk gelombang penuh yang sudah disearahkan (tegangan DC), maka gelombang *input* dan *output* pada rangkaian *full bridge rectifier* pun berubah seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.25.



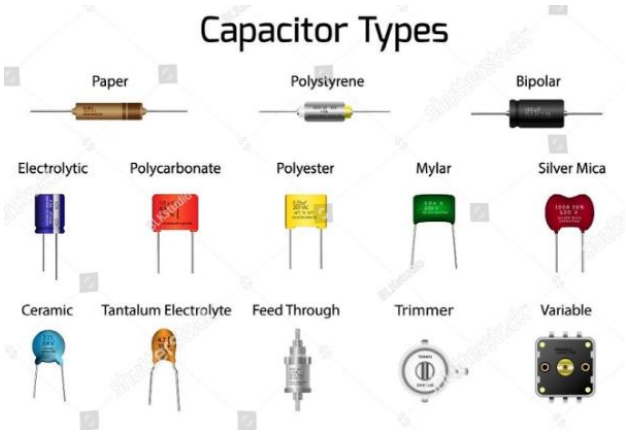
Gambar 2. 25 Gelombang *Input* dan *Output Full Bridge Rectifier* [15]

Bentuk gelombang yang terjadi pada penyearah gelombang penuh dapat dilihat pada Gambar 2.25. Arus AC yang mengalir sebagai *input* pada rangkaian penyearah gelombang penuh mulanya akan berbentuk gelombang sinusoidal seperti pada Gambar 2.25 (a). Gelombang ini senantiasa berubah terhadap waktu. Namun, setelah melalui komponen dioda, bentuk gelombang menjadi setengah dari gelombang *input.* Ini menunjukkan bahwa pada saat gelombang *input* melewati komponen dioda, maka gelombang tersebut akan disearahkan oleh dioda. Pada Gambar 2.25 (b), gelombang tersebut merupakan gelombang hasil *forward bias* yang dilakukan oleh dioda D1 dan dioda D3, sedangkan untuk dioda D2 dan dioda D4 tidak menghasilkan sebuah gelombang karena pada gelombang *rectifier* hanya dapat dihasilkan dari adanya siklus positif saja. Sedangkan, ketika dioda D2 dan dioda D4 mendapat *forward bias,* dioda D1 dan dioda D3 mendapatkan siklus negatif (*reverse bias*) sehingga tidak menghasilkan gelombang. Selanjutnya, untuk Gambar 2.25 (c), gelombang ini merupakan gelombang *output* akhir dari rangkaian *full wave rectifier* berupa gelombang DC denyut/*ripple.*

2.2.7.3 *Filter* (Penyaring)

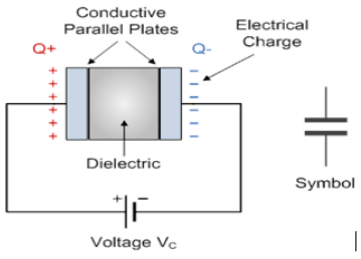
Suatu penyaring (*filter*) listrik adalah suatu rangkaian yang melewatkan arus searah dan menolak arus bolak-balik untuk memperlemah riak/*ripple* [35]. Penyaring yang digunakan dalam rangkaian catu daya adalah kapasitor, yaitu komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Kapasitor memiliki 2 jenis, yaitu kapasitor tetap (*fixed capacitor*) yang terdiri dari kapasitor keramik, kapasitor polyester/milar, kapasitor elektrolit, kapasistor tantalum, kapasitor

kertas dan kapasitor mika. Untuk jenis lainnya, disebut kapasitor tidak tetap/variabel (*variable capacito*r) yang terdiri dari varco (*variabel condesator*) dan *trimmer*. Pada Tugas Akhir ini, penulis menggunakan kapasitor elektrolit dan mylar. Gambar 2.26 merupakan jenis-jenis kapasitor.



Gambar 2. 26 Jenis-jenis Kapasitor [35]

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 positif akan mengumpul pada salah satu kaki elektroda, pada saat yang sama muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang lain. Gambar 2.27 merupakan struktur kapasitor.



Gambar 2. 27 Struktur Kapasitor [34]

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 [36]. Bila hubungan ke kapasitor di tukar polaritasnya, maka muatan listrik akan kembali mengalir keluar dari kapasitor. Tegangan listrik pada kapasitor besarnya berbanding lurus dengan muatan listrik yang tersimpan di dalam kapasitor, hubungan ini dapat dituliskan menjadi [37]:

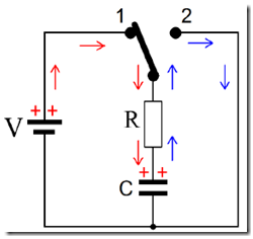
$$V = \frac{Q}{C}$$

dimana, Q = muatan listrik (coulomb)

V = tegangan/beda potensial (volt)

C = kapasitansi yang diukur dalam Farad (1F = 1 coulomb/volt)

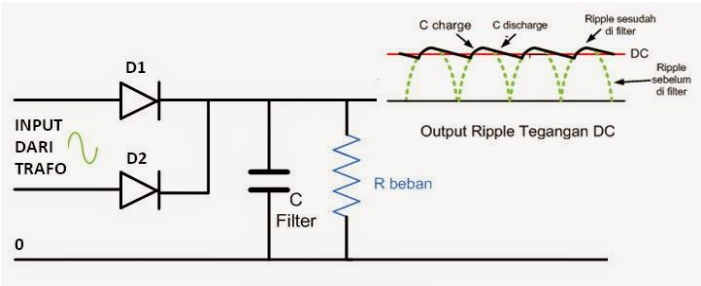
Kapasitor memiliki kemampuan untuk pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*), kemampuan kapasitor inilah yang berfungsi untuk mengurangi riak/*ripple* pada sinyal *output* tersebut. Apabila sebuah kapasitor dihubungkan dengan sumber arus AC, maka dalam beberapa saat akan ada arus listrik yang mengalir masuk ke dalam kapasitor, kondisi ini disebut proses pengisian kapasitor, apabila muatan listrik di dalam kapasitor sudah penuh dan telah melewati batas tegangan maksimal (*breakdown voltage*), maka aliran arus listrik akan berhenti. Untuk lebih jelasnya, prinsip pengisian kapasitor dapat dilihat pada Gambar 2.28:



Gambar 2. 28 Rangkaian R-C dengan Sumber Tegangan DC [37]

Pada saat saklar dihubungkan ke posisi 1, maka ada rangkaian tertutup antara tegangan V, saklar, tahanan R, dan C. Arus akan mengalir dari sumber tegangan kapasitor melalui tahanan R yang ditandai dengan panah warna merah. Hal ini akan menyebabkan naiknya perbedaan potensial pada kapasitor. Dengan demikian, arus akan menurun sehingga pada suatu saat tegangan sumber akan sama dengan perbedaan potensial pada kapasitor (*charging*) dan selanjutnya arus akan berhenti mengalir (I = 0) [37].

Selanjutnya, ketika saklar dihubungkan pada posisi 2, muatan kapasitor masih penuh karena pengisian kapasitor ketika saklar dihubungkan ke posisi 1 tadi, sehingga arus akan mengalir melalui tahanan R hingga terjadilah proses pengosongan kapasitor (*discharging*). Tegangan kapasitor akan menurun sehingga arus yang melalui tahanan R akan menurun. Pada saat kapasitor sudah membuang seluruh muatannya (VC = 0), maka aliran-aliran arus dari kapasitor pun berhenti (I=0) [37]. Gambar 2.29 merupakan gelombang *output filter* kapasitor.



Gambar 2. 29 Gelombang *Output Filter* Kapasitor [37]

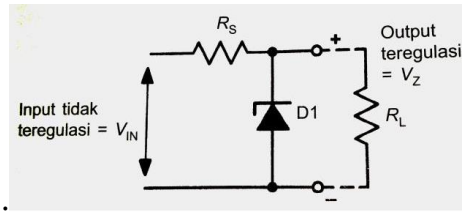
Dalam rangkaian *power supply*, kapasitor digunakan untuk meratakan sinyal *output* dari penyearah dan memperlemah riak/*ripple*. Setelah dipasang *filter* kapasitor, maka *output* dari rangkaian penyearah gelombang penuh akan menjadi tegangan DC (*Direct Current*) murni.

2.2.7.4 *Voltage Regulator* (Regulator Tegangan)

Regulator tegangan adalah bagian *power supply* yang berfungsi untuk memberikan stabilitas *output* pada suatu *power supply*. *Output* tegangan DC dari penyearah tanpa regulator mempunyai kecenderungan yaitu berubah harganya saat dioperasikan. Adanya perubahan pada masukan AC dan variasi beban merupakan penyebab utama terjadinya ketidakstabilan pada *power supply* [38].

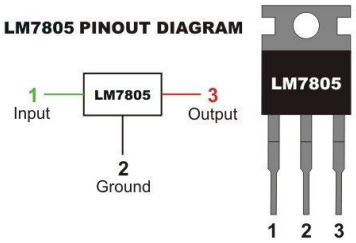
Ada 2 jenis *regulator* tegangan, yaitu *fixed voltage regulator* (tetap) dan *adjustable voltage regulator* (tidak tetap). Penulis menggunakan *voltage regulator* (tetap). Penggunaan *regulator* tegangan sekarang banyak digunakan dalam bentuk bentuk *chip* IC. Ada 2 jenis IC *regulator*, yaitu IC *regulator* 78XX untuk tegangan positif dan IC *regulator* 79XX untuk tegangan negatif.

Dalam IC *regulator*, dibutuhkan bahan semikonduktor sebagai penstabil tegangan. Bahan semikonduktor yang digunakan dalam IC *regulator* 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 pemberian tegangan yang lebih besar dari tegangan referensi dioda tersebut. Dioda zener akan memberikan tegangan *output* yang relatif tetap sesuai dengan tegangan referensi dioda zener tersebut. Namun ketika tegangan yang melewati dioda zener sudah melewati batas toleransi yang dizinkan dari referensi (*breakdown voltage*), maka dioda zener sudah tidak mampu lagi menahan tegangan tersebut. Akibatnya, kondisi dioda zener akan mengalami kerusakan [36]. Gambar 2.30 merupakan rangkaian *regulator* dioda zener.



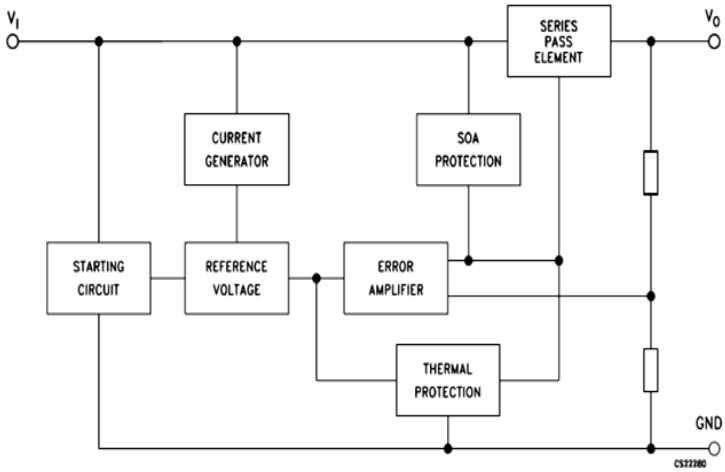
Gambar 2. 30 Rangkaian *Regulator* Dioda Zener [34]

Sebuah *regulator* tegangan sederhana dapat ditunjukan pada Gambar 2.30. Resistor RS berfungsi untuk membatasi arus pada dioda zener. Ketika sebuah beban disambung dengan zener, tegangan *output* akan tetap sama dengan tegangan zener sehingga pengaturan berhenti [34]. Gambar 2.31 merupakan diagram *pinout* dari *voltage regulator*.



Gambar 2. 31 Diagram *Pinout* dari *Voltage Regulator* [39]

Besarnya tegangan keluaran IC seri 78XX dan 79XX ini dinyatakan dengan dua angka terakhir pada serinya. Contoh IC 7812 adalah *regulator* tegangan positif dengan tegangan keluaran +12 V, sedangkan IC 7912 adalah *regulator* tegangan negatif dengan tegangan keluaran -12 volt [39]. Gambar 2.32 merupakan *block diagram* internal IC 78XX.



Gambar 2. 32 *Block Diagram* Internal IC 78XX [39]

Pada Gambar 2.32 yang merupakan blok diagram internal IC 78XX, blok tegangan referensi adalah dimana dioda zener berada. Bila tegangan input yang masuk pada LM7805 sesuai dengan tegangan minimalnya, misal 8 V, maka *output* dioda zener akan menjadi 5 V. Namun, bila *input* berada dibawah nilai tersebut, maka zener akan *cut-off*. Rangkaian *pass element* dan *error amplifier* digunakan untuk mengatur parameter pada rangkaian sehingga tegangan *output* akan tetap konstan meskipun arus beban dan tegangan input berubah. Selain itu, 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 [39]. Tabel 2.1 menunjukan beberapa tipe IC *regulator* dengan referensi tegangannya.

Tabel 2. 1 Referensi Tegangan beberapa IC LM78XX [35]

Tipe *Regulator*	*Vin* min	*Vin* maks	*Vout*	*I max*
7805	8 V	20 V	5 V	1 A
7808	11,5 V	23 V	8 V	1 A

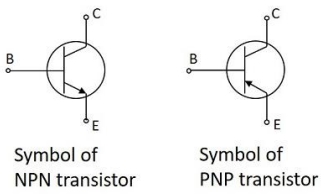
Lanjutan Tabel 2.1 Referensi Tegangan beberapa IC LM78XX

7812	15,5 V	27 V	12 V	1 A
7824	28 V	38 V	24 V	1 A

Batasan nilai tegangan masukan *IC regulator* yang terdapat dalam tabel adalah nilai DC. Berdasarkan tabel 2.1 dapat diambil kesimpulan bahwa nilai tegangan *output* akan tetap konstan meskipun tegangan *input* bervariasi, namun dalam *range* tertentu. Di dalam *datasheet*, komponen IC *regulator* tegangan hanya bisa dilewati oleh arus maksimal 1 Ampere. Kemampuan memberikan catu daya dari IC *regulator* dapat ditingkatkan kapasitasnya dengan menambahkan transistor NPN untuk tegangan positif atau PNP untuk tegangan negatif.

2.2.7.5 *Transistor Power*

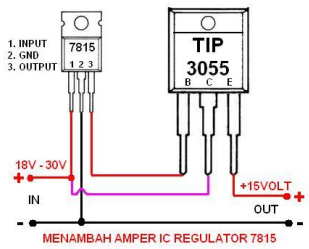
Transistor adalah komponen semikonduktor yang terdiri atas sebuah bahan tipe *p* dan diapit oleh dua bahan tipe *n* (transistor NPN) atau terdiri atas sebuah bahan tipe *n* dan diapit oleh dua bahan tipe *p* (transistor PNP) [41]. Transistor adalah komponen aktif dengan arus, tegangan, atau daya keluaran yang dikendalikan oleh arus masukan. Di dalam dunia elektronika, transistor digunakan sebagai penguat sinyal/arus atau sebagai saklar elektronik laju tinggi. Ketiga terminal transistor disebut *Emitter, Basis,* dan *Collector.* Gambar 2.33 merupakan simbol transistor.



Gambar 2. 33 Simbol Transistor [40]

Dengan penambahan transistor, maka sebagian besar dari arus akan dilewatkan pada transistor tersebut sehingga IC *regulator* tegangan hanya berfungsi sebagai pengontrol tegangan dan transistor berfungsi sebagai penguat arus/sinyal (*amplifier*). Dalam Tugas Akhir ini, transistor yang digunakan adalah transistor jenis *Bipolar Junction Transistors* (BJT) tipe NPN, yaitu TIP 3055.

Transistor BJT adalah komponen semi konduktor yang dibuat dengan tiga terminal/kaki semikonduktor. Secara teknis, transistor BJT dapat bertindak sebagai isolator atau konduktor dengan menggunakan tegangan dan sinyal yang kecil. Terminal *Basis* dan *Emitter* memiliki tegangan listrik minimal antara 0,5 (germanium) sampai 0,7 Volt (silikon) untuk bisa membuat arus listrik mengalir melalui kaki *Emitter* ke *Basis* atau *Collector* ke *Basis.* Gambar 2.34 merupakan rangkaian penguat arus.



Gambar 2. 34 Rangkaian Penguat Arus [41]

Cara kerja transistor NPN secara sederhana adalah jika pada kaki *Basis* transistor diberi tegangan bias, maka arus pada *Collector* akan mengalir ke kaki *Emitter* (transistor sebagai saklar). Jika pada tegangan bias ini diikuti dengan adanya sinyal/pulsa listrik yang akan dikuatkan, maka pada *Collector* pun akan menguatkan sinyal (transistor sebagai penguat). Untuk mengaktifkan transistor dibutuhkan tegangan sebesar 0.7 V (silikon) dari *Basis* ke *Emitter*. Jika tidak

terdapat tegangan antara *Basis* dan *Emitter* atau Vb-e = 0, maka tidak ada arus yang mengalir pada transistor. Sebaliknya, jika terdapat tegangan minimal 0,7 V (silikon) antara *Basis* dan *Emitter* maka Ib (arus *Basis*) juga terdapat arus dan menyebabkan transistor dapat menghantarkan arus pada *Collector* ke *Emitter*-nya [42]. Prinsip kerja transistor NPN ini sama dengan transistor PNP, namun arah arus transistor PNP mengalir dari *Emitter* ke *Basis.*

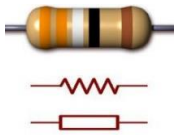
2.2.8 *Voltage Divider* (Pembagi Tegangan)

Voltage divider atau pembagi tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi dari pembagi tegangan di rangkaian elektronika adalah untuk membagi tegangan *input* menjadi satu atau beberapa tegangan *output* yang diperlukan oleh komponen lain di dalam rangkaian [43].

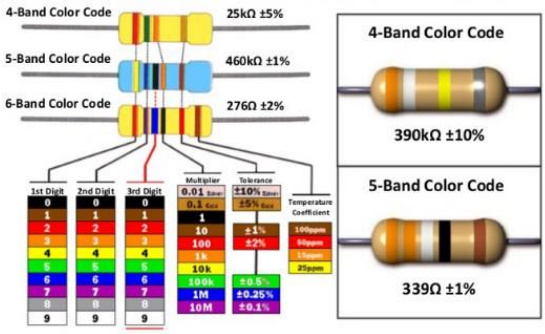
Pembagi tegangan biasanya menggunakan dua resistor atau dibuat dengan potensiometer. Tegangan *output* tergantung dari nilai-nilai komponen resistor atau dari pengaturan potentiometer. Ketika pembagi tegangan diambil dari titik tengah, tegangan akan terbagi sesuai dengan nilai hambatan yang dipasang [36].

Pada dasarnya, rangkaian pembagi tegangan terdiri dari dua buah resistor yang dirangkai secara seri. Resistor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menghambat atau membatasi aliran listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian elektronika [35]. 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 bisa terbalik.

Gambar 2.35 dan 2.36 merupakan gambar simbol dan kode warna resistor.

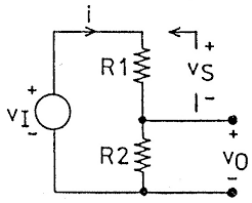


Gambar 2. 35 Simbol Resistor [35]



Gambar 2. 36 Kode Warna Resistor [35]

Tahapan sensor tegangan/pembagi tegangan berawal dengan penggunaan transformator tegangan sebagai penurun tegangan dari 220 ke 12 VAC, kemudian disearahkan menggunakan jembatan dioda untuk mengubah tegangan AC ke tegangan DC, kemudian di-*filter* menggunakan kapasitor dan selanjutnya masuk ke rangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi membagi tegangan input menjadi beberapa bagian tegangan output. Gambar 2.37 merupakan rangkaian *voltage divider.*



Gambar 2. 37 Rangkaian *Voltage Divider* [44]

Dari Gambar 2.37 dapat dirumuskan tegangan *output* (Vo). Arus (I) mengalir pada R1 dan R2 sehingga nilai tegangan sumber VI adalah penjumlahan Vs dan Vo, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut [39]:

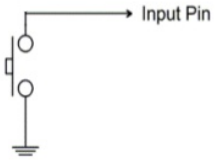
$$V1 = Vs + Vo = i.R1 + i.R2 \quad \text{(persamaan 2-10)}$$

Dari rangkaian pada Gambar 2.37, dapat dilihat bahwa tegangan *input* terbagi menjadi dua bagian yang masing-masing sebanding dengan nilai resistor yang dikenai oleh tegangan tersebut, sehingga didapati sebuah rumus:

$$Vo = Vin\,.\left(\frac{R2}{R1 + R2}\right) \quad \text{(persamaan 2-11)}$$

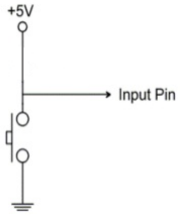
2.2.9 Rangkaian *Pull Down Resistor*

Dalam rangkaian digital, dikenal sinyal "*high*" dan "*low*" atau "1" dan "0". Untuk rangkaian digital 5 V, sinyal "*high*" adalah 5 V dan sinyal "*low*" adalah 0 V, sedangkan pada rangkaian digital 3,3 V sinyal "*high*" adalah 3,3 V dan sinyal "*low*" adalah 0 V. Tentunya sinyal "*high*" tidak harus persis 5 V atau 3,3 V tergantung dari toleransi rangkaian dan "*Integrated Circuit*" yang digunakan [45]. Gambar 2.38 merupakan rangkaian *switch.*



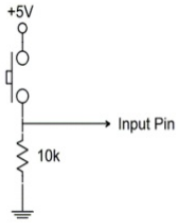
Gambar 2. 38 Rangkaian *Switch* [45]

Pada Gambar 2.38, jika *switch* ditekan, pin *input* mikrokontroler akan terhubung ke *ground* sehingga mikrokontroler akan membaca sinyal "*low*" pada pin tersebut. Pin *input* mikrokontroler tidak terhubung ke tegangan apapun sehingga sinyal yang dibaca adalah *random*, yang berarti bisa saja "*high*" atau "*low*". Kondisi dimana sinyal tidak terdefinisi disebut "*floating*". Gambar 2.39 merupakan rangkaian *switch* dengan *input* 5 V.



Gambar 2. 39 Rangkaian *Switch* dengan *Input* 5 V [45]

Dari Gambar 2.39, rangkaian ditambahkan tegangan 5 V pada pin *input*, sehingga masalah "*floating*" telah diselesaikan. Namun, ketika *switch* ditekan tegangan 5 V akan terhubung langsung dengan *ground*, sehingga arus yang sangat besar akan mengalir antara tegangan 5 V dan *ground*. Kondisi ini disebut "*short circuit*" yang dapat menyebabkan kerusakan fisik *power supply* dan rangkaian itu sendiri. Oleh karena itu, *short circuit* tersebut dapat dibatasi dengan menambahkan sebuah resistor. Gambar 2.40 merupakan rangkaian *switch* dengan *Pull Down* ke 5 V.



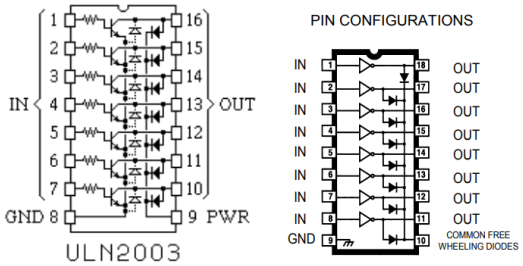
Gambar 2. 40 Rangkaian *Switch* dengan *Pull Down* ke 5 V [45]

Dari Gambar 2.40, resistor 10 kΩ akan membatasi arus menjadi (5 V/10 kΩ) = 0,5 mA, maka masalah "*short circuit*" telah diselesaikan. Penambahan resistor ke sinyal "*low*" disebut "*pull down*". Maka, dapat disimpulkan fungsi utama "*pull down*" adalah untuk mengatasi kondisi "*floating*" yang terjadi pada suatu rangkaian agar menjadi terdefinisi ke sinyal "*high*" atau "*low*".

2.2.10 *Driver Relay* IC ULN 2803

Driver Relay merupakan rangkaian yang digunakan untuk menggerakkan *Relay*. Rangkaian ini digunakan sebagai *interface* antara *Relay* yang memiliki tegangan kerja bervariasi, misalnya 12V dengan mikrokontroler yang hanya bertegangan 5V. Sebab, tegangan *output* mikrokontroler sebesar 5V tersebut belum bisa digunakan untuk mengaktifkan *Relay* [36].

ULN2803 merupakan salah satu *chip* IC yang dapat difungsikan sebagai *driver Relay*. IC ini mempunyai 8 buah pasangan transistor *Darlington* NPN dengan tegangan *output* maksimal 50 V dan arus setiap pin mencapai 500 mA. Pasangan transistor *Darlington* adalah penggabungan dua buah transistor bipolar sejenis. Keuntungan transistor *Darlington* yakni mempunyai impedansi *input* tinggi namun impedansi *output*-nya rendah serta memilik penguatan *(gain)* yang tinggi karena hasil penguatan transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor yang kedua. Gambar 2.41 merupakan *Pin Out Configuration* IC ULN 2003 dan IC ULN 2803.

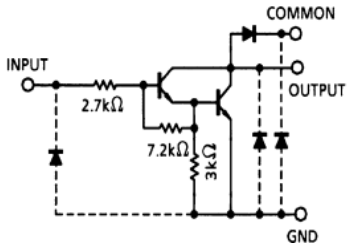


(a) (b)

Gambar 2. 41 *Pin Out Configuration* (a) IC ULN 2003 (b) IC ULN 2803 [36]

IC ULN2803. ULN 2003 mempunyai 16 pin dengan rincian pin 1-7 digunakan untuk menerima sinyal tingkat rendah (*input*), pin 8 sebagai *ground*,

pin 9 sebagai VCC, dan pin 10-16 merupakan *output*. Sedangkan, IC 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*. Gambar 2.42 menunjukan *schematic* pasangan *Darlington* di dalam IC ULN 2803.



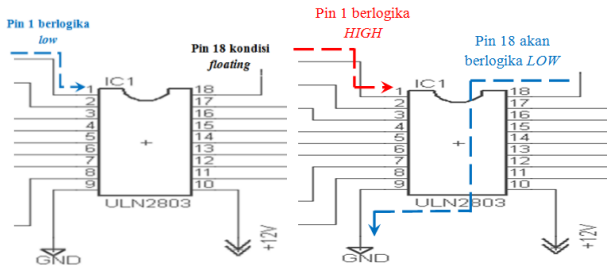
Gambar 2. 42 *Schematic* Transistor *Darlington* pada IC ULN

Gambar 2.42 menunjukan rangkaian internal dalam setiap pin IC ULN, 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 arus *input* akan naik sehingga kedua transistor Q1 dan Q2 akan aktif/bekerja. Arus *input* Q2 merupakan kombinasi dari arus *input* dan arus emitter 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* ULN,

misalnya *Relay* untuk tesambung ke *ground*. Sehingga bisa dikatakan bahwa *output* dari IC ULN adalah nol atau *ground* [36].

Dari penjelasan transistor *Darlington* di atas, dapat diketahui bahwa prinsip kerja IC ULN 2003 dan IC ULN 2803 adalah sama. Misalnya, dalam IC ULN 2803 untuk mengendalikan *on-off Relay* adalah apabila salah satu pin *input* (dimisalkan pin *input* 1 IC ULN 2803) mendapat logika "*high"* atau bertegangan 5 VDC dari Arduino, maka pada pin *output* IC ULN 2803 bernomor 18 akan menghasilkan logika "*low"* atau tidak bertegangan sehingga *coil Relay* R1 akan mendapat tegangan 12 VDC. Gambar 2.43 menunjukan prinsip kerja IC ULN 2803.



Gambar 2. 43 Prinsip Kerja IC ULN 2803 [46]

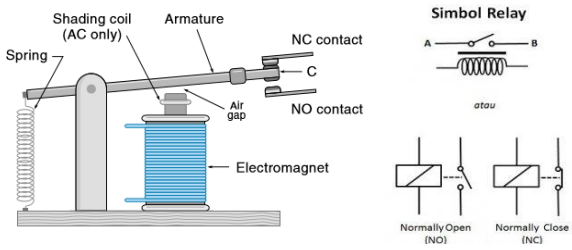
Sedangkan, jika pin *input* berlogika "*low",* maka pin *output* dalam kondisi *floating* (mengambang) dimana kondisi ini pin *output* tidak berlogika "*high"* ataupun "*low"*. Sebagai contoh pada saat pin *input* 1 IC ULN2803 berlogika "*low"*, maka pin *output* 18 IC ULN 2803 akan berkondisi *floating*. Gambar 2.43 menunjukan skema rangkaian ULN2803 apabila pin *input* mendapat logika "*low"* [46].

2.2.11 *Relay* 12 VDC

Relay adalah saklar yang dapat dikontrol secara elektronis melalui prinsip elektromekanikal. Sebuah *Relay* dapat mengontrol suatu rangkaian elektronika

dengan membuka atau menutup saklar yang dikendalikan oleh arus listrik yang diberikan sehingga menimbulkan medan magnet tertentu yang akan menghubungkan dan memutuskan saklar mekanik [47].

Untuk lebih jelasnya, *Relay* bekerja dengan sebuah besi (*iron core*) yang dililit oleh sebuah kumparan *coil* sebagai pengendali besi tersebut. Apabila kumparan *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik *armature* untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NC/*normally close*) ke posisi baru (NO/*normally open*) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Begitu juga sebaliknya jika posisi sebelumnya (NO), maka akan berubah ke posisi baru (NC). Pada saat tidak dialiri arus listrik, *armature* akan kembali lagi ke posisi awal [36]. Gambar 2.44 merupakan gambar bagian-bagian dan simbol *Relay*.

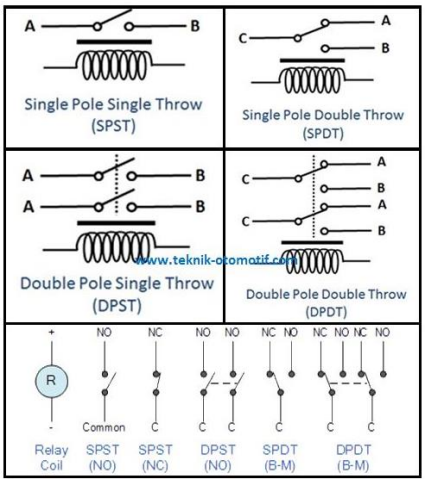


(a) (b)

Gambar 2. 44 (a) Bagian-bagian *Relay*, (b) Simbol *Relay*

Pada dasarnya, *Relay* merupakan salah satu jenis dari saklar, dimana kondisi umum sebuah saklar juga berlaku. Umumnya saklar memiliki istilah *Pole* dan Throw, maka begitu juga dengan *Relay*. ***Pole*** adalah banyaknya kontak yang telah dimiliki oleh sebuah *Relay*, sedangkan ***Throw*** adalah banyaknya kondisi *Relay* yang berupa sebuah kontak (NO/NC). Gambar 2.45 merupakan gambar dari

gambar jenis *Relay* berdasarkan *pole* dan *throw.*



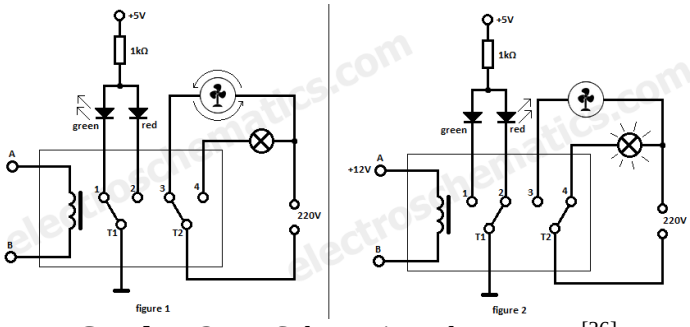
Gambar 2. 45 Jenis *Relay* berdasarkan *Pole* dan *Throw* [47]

Berdasarkan Gambar 2.45, jumlah *pole* (kontak) dan jumlah *throw* (kondisi kontak) *Relay* dapat digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. *Single Pole Single Throw* (SPST)
2. *Single Pole Double Throw* (SPDT)
3. *Double Pole Single Throw* (DPST)
4. *Double Pole Double Throw* (DPDT)

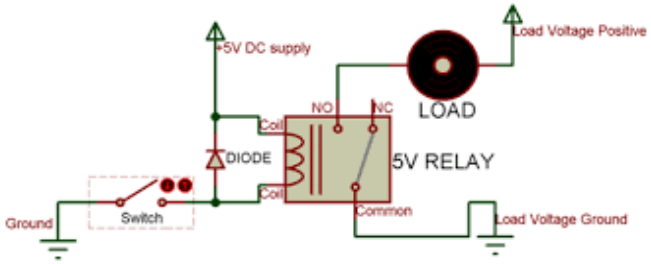
Dalam rancangan alat yang dibuat, digunakan *Relay* jenis *Double Pole Double Throw* (DPDT) dan *Single Pole Double Throw* (SPDT). Pada *Relay* DPDT, *Relay* memiliki 2 *coil* yang apabila ia diberi arus DC *Relay* akan menginduksi *coil* dan akan menggerakkan 2 kontak (NO dan NC) sekaligus. Digunakannya *Relay* tersebut bertujuan agar dapat menggerakkan dua beban dalam waktu bersamaan. Gambar 2.46 dan 2.47 merupakan gambar fisik *Relay* Omron 12 VDC serta *schematic Relay* DPDT.

Gambar 2. 46 Bentuk Fisik *Relay* Omron 12 VDC [47]



Gambar 2. 47 *Schematic Relay* DPDT [36]

Pada *Relay* SPDT, *Relay* memiliki 1 *coil*. Jika *Relay* diberi arus DC, *Relay* akan menginduksi *coil* namun hanya akan menggerakkan 1 kontak (NO atau NC), maka *Relay* ini hanya dapat menggerakkan satu beban saja dalam waktu bersamaan. Gambar 2.48 dan 2.49 merupakan *Schematic Relay* SPDT dan bentuk fisik *Relay* Songle.



Gambar 2. 48 *Schematic Relay* SPDT [36]

2.2.12 Sistem *Interlock*

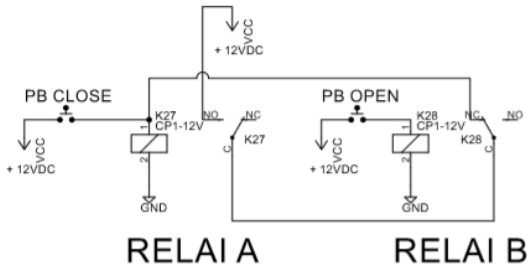
Sistem *interlock* adalah suatu cara untuk mengamankan jalannya proses serta peralatan dari unit yang paling kecil sampai keseluruhan sistem. Dimana alat

pengaman tersebut terkait satu dengan lainnya, sehingga membentuk satu kesatuan yang akan mencegah aatau memproteksi sistem atau rangkaian bekerja secara bersamaan atau dengan kata lain hanya membolehkan satu saja yang bekerja [48].

Sistem *interlock* merupakan suatu sistem proteksi yang sangat vital pada sistem operasi tenaga listrik, contohnya pada *Keypoint*. Tanpa adanya sistem *interlock*, pengoperasian peralatan *Keypoint* akan sering mengalami gangguan bahkan dapat menyebabkan bahaya kebakaran akibat *human error* yang berakibat terputusnya aliran listrik kepada para konsumen.

Dalam pembuatannya, sistem *interlock* dapat dirancang dengan menggunakan 2 cara, yaitu sistem *interlock* dengan *Relay* atau sistem *interlock* dengan gerbang logika [1]. Dalam Tugas Akhir ini, penulis membuat rangkaian *interlock* dengan *Relay*. Fungsi *interlock Relay* pada *recloser* berfungsi sebagai kontrol *recloser*. Posisi *open* dan *close Relay recloser* ditunjukan dengan tampilan indikator (*pilot lamp*) dan tampilan LCD 20 x 4.

Rangkaian *interlock* juga dapat digunakan pada kontrol *open* dan *close* PMT. Rangkaian *interlock* PMT dibutuhkan untuk membuat *Relay* PMT mengunci *(latching)* dengan sekali *trigger* menggunakan *push button*. Apabila *push button close* ditekan, maka kondisi *Relay* 1 yang semula "*low*" menjadi "*high*" dan jika *push button close* dilepas, maka *Relay* 1 tidak akan kembali "*low*" namun akan tetap "*high*" (mengunci/*latching*). Untuk membuat *Relay* 1 menjadi "*low*" kembali, caranya dengan memutus arus pada *Relay* 1 yang melewati kontak *Relay* 2 [1]. Gambar 2.50 merupakan contoh rangkaian *interlock* pada PMT.



Gambar 2. 49 Rangkaian *Interlock* PMT [1]

2.2.13 Sistem ATS (*Automatic Transfer Switch*)

Secara umum, fungsi dari ATS (*Automatic Transfer Switch*) adalah untuk menghubungkan beban dengan dua sumber tenaga (sumber utama dan sumber cadangan) atau lebih yang terpisah yang bertujuan untuk menjaga ketersediaan dan keandalan aliran daya menuju beban. Secara sederhana fungsi ATS adalah untuk melakukan transfer daya secara otomatis ke beban, dari sebuah sumber utama ke sumber cadangan ketika terjadi gangguan pada sumber utama [49].

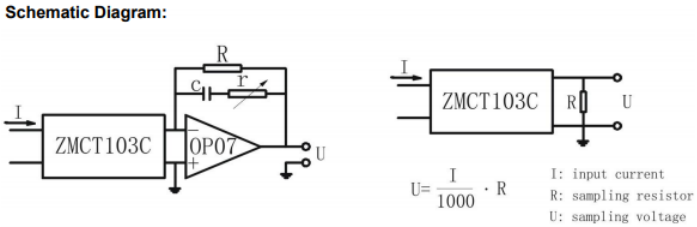
ATS sering disamakan dengan COS (*Change Over Switch*), hanya saja ATS dioperasikan secara otomatis sedangkan COS dioperasikan secara manual. Di lapangan, ATS berupa rangkaian kontrol saklar baterai otomatis untuk menghidupkan dan menghubungkan baterai ke beban secara otomatis ketika sumber utama PLN padam. Pada saat sumber utama PLN hidup kembali, alat ini akan memindahkan sumber daya ke beban dari baterai ke PLN. Cara kerja ATS yang digunakan PLN adalah ketika *rectifier* berfungsi secara normal, ATS bertugas untuk menyalurkan sumber daya listrik yang berasal dari *rectifier* ke beban. Apabila terjadi gangguan hilangnya sumber daya listrik yang disuplai oleh *rectifier*, berikutnya ATS bertugas untuk memindahkan sambungan *rectifier*

tersebut secara otomatis ke sisi baterai sehingga listrik tetap terjaga untuk menyuplai beban [50].

Namun, pada Tugas Akhir ini penulis membuat sistem ATS menggunakan *Relay* Omron 12 VDC serta rangkaian pembagi tegangan. Apabila rangkaian pembagi tegangan mendeteksi hilangnya tegangan, maka *Relay* akan bekerja secara otomatis untuk mengaktifkan penggunaan baterai. Dari sub-bab 2.2.8 tentang *Voltage Divider* (pembagi tegangan), Gambar 2.37 merupakan gambar rangkaian pembagi tegangan.

2.2.14 Sensor Arus ZMCT103C

Sensor arus ZMCT103C adalah modul yang digunakan untuk mengukur arus tegangan AC 1 fasa. Sensor arus ZMCT103C dilengkapi dengan transformator arus berbentuk *ring-core* rasio 1000:1 serta keluaran arus maksimal sebesar sebesar 5mA. Adapun kelebihannya di antaranya dimensi kecil, akurasi tinggi, mampu mengukur sampai dengan 5 A dan keluaran yang proporsional berupa arus AC [51]. Berdasarkan *datasheet*, sensor ini dapat mengukur arus AC kurang dari 5A, sesuai analog *output* 5 A/5 mA. Gambar 2.51 merupakan *schematic diagram* ZMCT103C.



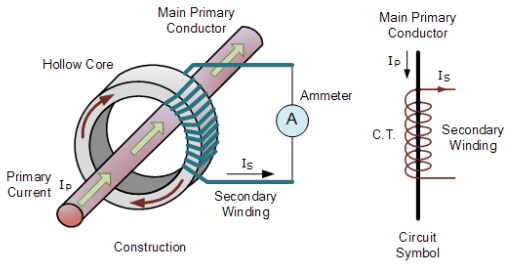
Gambar 2. 50 *Schematic Diagram* ZMCT103C [51]

Prinsip kerja sensor ZMCT103C ini bekerja dengan cara memanfaatkan induksi elektromagnet akibat adanya penghantar yang dialiri arus listrik sehingga

muncul medan magnet yang bergerak. Kemudian, medan magnet yang bergerak tersebut mengelilingi inti besi yang diam sehingga menimbulkan *fluks* magnet yang menginduksi inti besi, sehingga bisa mentransformasikan tegangan dari lilitan pimer ke lilitan sekunder. *Output* sensor trafo arus ini berupa tegangan AC yang selanjutnya diinputkan ke rangkaian pengkondisi sinyal (*op-amp*) agar menghasilkan *output* tegangan DC yang dapat diolah oleh mikrokontroler. Penggunaan *op-amp* ini pada dasarnya berguna untuk memperbesar nilai *input* dari sensor ke rangkaian ADC.

2.2.14.1 Transformator Arus

Transformator Arus (*Current Transformator*-CT) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada intalasi tenaga listrik di sisi primer (TET, TT dan TM) 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 [51]. Gambar 2.52 adalah prinsip kerja transformator arus.



Gambar 2. 51 Rangkaian Trafo Arus [51]

Prinsip kerja transformator arus sama dengan transformator daya satu fasa. Bila pada kumparan primer mengalir arus I_1, maka pada kumparan timbul gaya gerak magnet sebesar I_1N_1. Gaya gerak ini memproduksi fluks pada inti, dan fluks

ini membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Bila terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_1. Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet I_2N_2 pada kumparan sekunder. Pada transformator arus dipasang burden pada bagian sekunder yang berfungsi sebagai impedansi beban, sehingga transformator tidak benar-benar *short circuit.*

Fungsi dari transformator arus adalah:

1. Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering *metering* dan proteksi.
1. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer sebagai pengaman terhadap manusia aau operator yang melakukan pengukuran.
2. Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1 A dan 5 A

Gambar 2.53 adalah bentuk fisik ZMCT103C dengan *module*.

Gambar 2. 52 Bentuk Fisik ZMCT103C [52]

Secara fungsi, transformator arus dibedakan menjadi dua yaitu [52]:

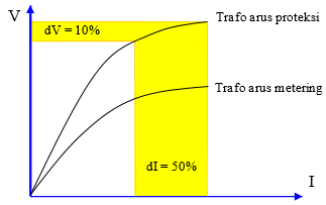
1. Transformator arus pengukuran

   Transformator arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) 5%-120%. Arus nominalnya tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah

dibandingkan transformator arus untuk proteksi. Penggunaan transformator arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan cos Ø meter.

2. Transformator arus proteksi

Transformator arus untuk proteksi, memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadi gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi. Penggunaan transformator arus proteksi untuk *Relay* arus lebih (OCR dan GFR), *Relay* beban lebih, *Relay* differensial, *Relay* daya dan *Relay* jarak. Gambar 2.54 menunjukan perbedaan mendasar transformator arus pengukuran dan proteksi pada kurva titik saturasinya.

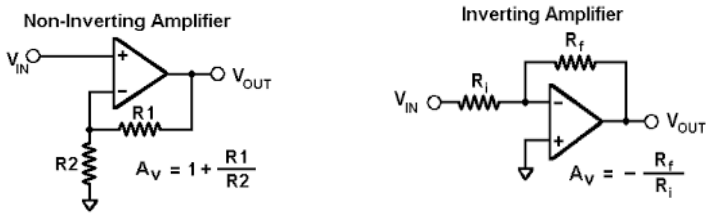


Gambar 2. 53 1 Kurva Kejenuhan CT untuk Pengukuran dan Proteksi [53]

2.2.14.2 Pengkondisi Sinyal LM358

Pengkondisi sinyal/*operational amplifier* atau lebih dikenal dengan istilah *Op-Amp* adalah salah satu dari bentuk IC Linear yang berfungsi sebagai penguat sinyal listrik. Sebuah *Op-Amp* terdiri dari beberapa Transistor, Dioda, Resistor dan Kapasitor yang terinterkoneksi dan terintegrasi sehingga memungkinkannya untuk menghasilkan *Gain* (penguatan) yang tinggi pada rentang frekuensi yang luas [54]. Dalam penulisan ini, *op-amp* digunakan sebagai penguat tegangan dari

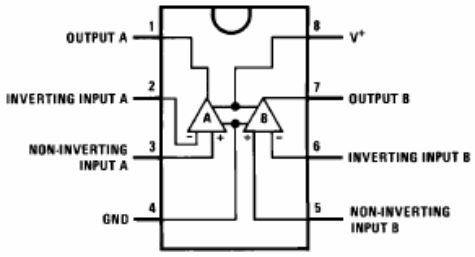
sensor. Pada dasarnya, ada dua macam penguatan yaitu *inverting* dan *non-inverting*. Gambar 2.55 merupakan macam-macam *op-amp*.



Gambar 2. 54 Macam-macam *Op-Amp* [54]

Rangkaian *inverting* akan menguatkan sinyal *input* dimana sinyal *output*-nya akan memiliki fasa yang berbeda 180° dengan sinyal *input*. Umumnya, besar penguatannya bisa mencapai 2,2 kali tegangan *input.* Sedangkan, rangkaian *non-inverting* akan menguatkan sinyal *input* dimana sinyal *output*-nya akan memiliki fasa yang sama dengan sinyal *input*. Umumnya, besar penguatannya bisa penguatannya bisa mencapai 3,2 kali tegangan *input* [55].

Pada rangkaian sensor arus yang digunakan, umumnya digunakan sebuah IC LM358 yang berfungsi sebagai penguat *input* dari sensor. Maka, fungsi rangkaian penguat adalah untuk memperbesar masukan dari sensor ke rangkaian ADC. Gambar 2.56 merupakan pin konfigurasi LM358.



Gambar 2. 55 Pin Konfigurasi LM358 [54]

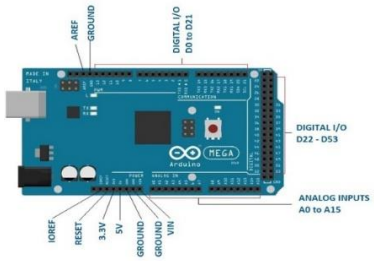
Diagram pin LM358 IC terdiri dari 8 pin, dimana:

1. Pin-1 dan pin-8 adalah o/p dari komparator

2. Pin-2 dan pin-6 adalah pembalik i/id
3. Pin-3 dan pin-5 adalah non *inverting* i/id
4. Pin-4 adalah terminal GND
5. Pin-8 adalah VCC +

2.2.15 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 [56]. Mikrokontroler sendiri merupakan sebuah komputer yang berukuran mikro dalam satu chip *IC (integrated circuit)* yang terdiri dari *processor*, *memory*, dan *interface* yang bisa diprogram. Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kontrol yang mengatur *input*, proses, dan *output* sebuah rangkaian elektronik. Gambar 2.57 merupakan gambar pembagian pin pada Arduino Mega 2560.



Gambar 2. 56 *Mapping Pin* Arduino Mega 2560 [56]

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

tersebut. Rentang sumber tegangan yang direkomendasikan agar Arduino dapat beroprasi dengan optimal adalah 7 sampai 12 V. Arduino Mega 2560 mempunyai beberapa pin yang terbagi berdasarkan fungsinya.

Berikut ini adalah pin tegangan yang tersedia pada *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 berjumlah 54 pin dan 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 kΩ [56].

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()* [56]. Berikut adalah pin lain yang tersedia di Arduino [36]:

1. **AREF,** digunakan untuk mengubah tegangan referensi pada *input* analog.
2. **Reset,** digunakan untuk *restart* mikrokontroler tombol *reset* pada papan.

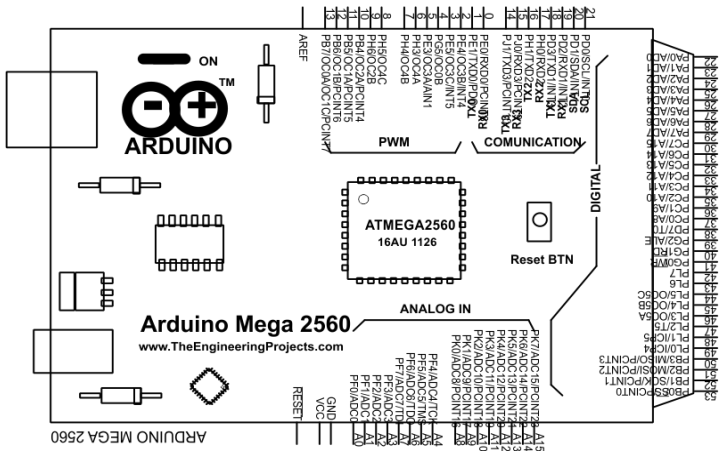
Berikut adalah beberapa pin yang memiliki fungsi khusus [36]:

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/*receiver*) dan mengirim (TX/*transceiver*) data serial TTL.
2. **Interupsi Eksternal:** pin 2 (*interrupt 0),* pin 3 *(interrupt 1),* pin 18 *(interrupt5),* pin 19 *(interrupt 4),* pin 20 *(interrupt 3),* dan pin 21 *(interrupt 2).* Pin ini dapat dikonfigurasikan 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), 5 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** Pin ini mendukung komuniikasi *SPI* menggunakan *SPI library.*
5. **LED: pin 13.** Pin ini dilengkapi dengan LED yang sudah tersedia pada *Arduino (built-in).* Ketika pin bernilai "*high*' maka LED akan menyala, dan sebaliknya akan mati jika bernilai "*low*".
6. **I^2C: pin 20 (SDA) dan 21 (SCL).** Pin ini mendukung komunikasi TWI menggunakan *Wire library.*

Pemrograman Arduino Mega 2560 dapat dilakukan menggunakan aplikasi Ide (*Intergrated Development Environtment)* yang merupakan *software open source* dari Arduino. Software ini berfungsi untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner, dan upload program dalam memori mikrokontroler [36].

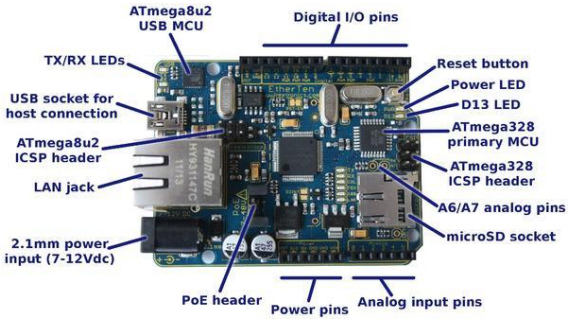
Gambar 2.58 merupakan *pin out* Arduino Mega 2560.



Gambar 2. 57 *Pin Out* Arduino Mega 2560 [36]

2.2.16 Ethernet Shield

Ethernet Shield bekerja dengan cara memberikan layanan IP pada arduino dan PC agar dapat terhubung ke internet. Berdasarkan datasheet Wiznet W5100, untuk menghubungkan Ethernet dengan Arduin agar dapat terkoneksi internet caranya dengan memasangkan modul tersebut diatas Arduino *Board* kemudian sambungkan dengan kabel *network* RJ45 [1]. Selanjutnya, *setting* konfigurasi IP Ethernet Shield dan PC agar agar dapat terhubung internet satu sama lain. Gambar 2.59 merupakan gambar Ethernet Shield.



Gambar 2. 58 Ethernet Shield [57]

Selain itu, Ethernet Shield juga memiliki sebuah *onboard micro*-SD *slot*

untuk menyimpan file dan data. Untuk menggunakan akses microSD *card reader onboard* dapat dengan menggunakan library SD *card* dengan menempatkan SS pada pin 4. Modul Ethernet Shield bisa digunakan dengan board Arduino Uno dan Arduino Mega 2560 [57].

Agar Arduino dapat berkomunikasi dengan modul W5100 dan SD card, gunakan SPI *bus* melalui ICSP *header* di di pin digital 10, 11, 12, dan 13 untuk board Arduino Uno atau gunakan pin digital 50, 51, dan 52 untuk Arduino Mega 2560. Di kedua board Arduino tersebut, pin digital 10 digunakan untuk memilih mode W5100 dan pin digital 4 untuk SD card, dimana pin tersebut tidak dapat digunakan untuk pin I/O seperti biasa. Dalam board Arduino Mega 2560, pin digital 53 (SS) tidak digunakan sama sekali, baik untuk memilih antara module W5100 atau SD card, namun harus tetap ditetapkan sebagai *output* agar *interface* SPI dapat bekerja dengan baik. Module Ethernet juga terdapat tombol *reset controller* untuk memastikan bahwa modul W5100 Ethernet dapat *reset on power-up.*

2.2.17 *Data Logger (Data Sampling)*

Data logger (perekam data) adalah sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen di dalamnya maupun ekternal sensor dan instrumen. Atau secara singkat data logger adalah alat untuk melakukan *data logging* [15].

Sedangkan, *data logging* adalah proses otomatis pengumpulan dan perekaman data dari sensor untuk tujuan pengarsipan atau tujuan analisis. Sensor digunakan untuk mengkonversi besaran fisik menjadi sinyal listrik yang dapat

diukur secara otomatis dan akhirnya dikirimkan ke komputer atau mikroprosesor untuk pengolahan dari berbagai macam sensor [20].

Data logger secara otomatis pada program Arduino Mega 2560 umumnya menggunakan *software* Parallax Data Acquisition *tool* (PLX-DAQ). PLX-DAQ adalah alat tambahan akuisisi data mikrokontroler Parallax untuk Microsoft Excel dengan memperoleh hingga 26 saluran data dari setiap mikrokontroler dengan memasukkan nilai angka ke dalam kolom. Namun, pada Tugas Akhir ini penulis menggunakan *hardware* Weintek mTV-100 dimana pada *software* Easy Builder Pro memiliki menu/*tools* tersendiri agar dapat menampilkan *history data logger*. Data yang dapat disimpan dalam *data logger* pada *software* Easy Builder Pro dapat terdiri dari data sampel, waktu pengambilan sampel, alamat, atau panjang data. Selain itu, sampel data yang diambil dapat disimpan ke lokasi yang ditentukan, seperti kartu SD atau USB disk.

2.2.18 Weintek mTV-100 dan Easy Builder Pro

Gambar 2.60 merupakan gambar fisik PC sebagai HMI dan *hardware* Weintek mTV-100.

Gambar 2. 59 Weintek mTV-100 [58]

Weintek mTV-100 merupakan salah satu piranti yang dapat digunakan sebagai HMI (*Human Machine Interface*) berupa layar sentuh (*touchscreen*). HMI digunakan untuk memasukkan data *input* dan menampilkan/memantau kemajuan

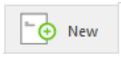
yang dibuat oleh program. Dalam dunia industri otomasi, Weintek mTV-100 adalah salah satu *software* yang umum digunakan karena *software* ini didukung dengan pengembangan HMI (*Human Machine Interface*) terkini.

Tampilan dari Weintek mTV-100 dibuat dengan bantuan Software Easy Builder Pro pada sebuah *personal computer* (PC) [58]. Easy Builder Pro adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Weintek untuk pemrograman berbagai jenis grafis *interface* pengguna untuk mengendalikan dan memerintahkan berbagai jenis PLC/mikrokontroler. Perangkat lunaknya berupa beragam gambar, tombol, grafik, dan layar pemantauan suara. Selain itu juga memungkinkan penyisipan elemen lain yang dapat digunakan untuk membuat *interface*, tergantung pada proyek yang dilakukan, dengan kata lain Easy Builder Pro merupakan *software* yang digunakan dalam Weintek mTV-100 sebagai program dalam pembuatan HMI (*Human Machine Interface*). Pembuatan program tampilan HMI pada *software* Easy Builder Pro disusun berdasar pengalamatan program yang terdapat pada mikrokontroler ATMega 2560. Komunikasi hubungan Weintek mTV-100 dengan mikrokontroler ATMega 2560 adalah hubungan *interface* menggunakan adapter RS-232. Berikut merupakan cara pengoperasian *software* Easy Builder Pro secara umum dalam membuat tampilan HMI SCADA:

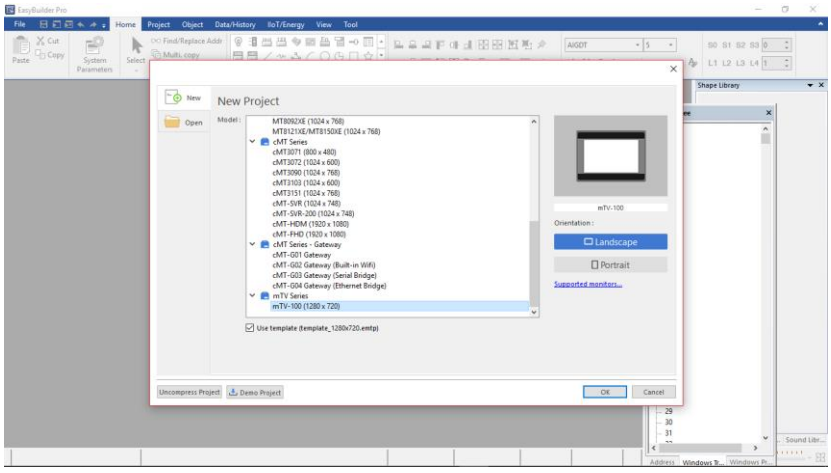
1. Membuka aplikasi Easy Builder Pro yang sudah terinstal pada PC seperti pada Gambar 2.61.

Gambar 2. 60 Tampilan *Software* Easy Builder Pro

2. Langkah-langkah pembuatan *Project* baru:

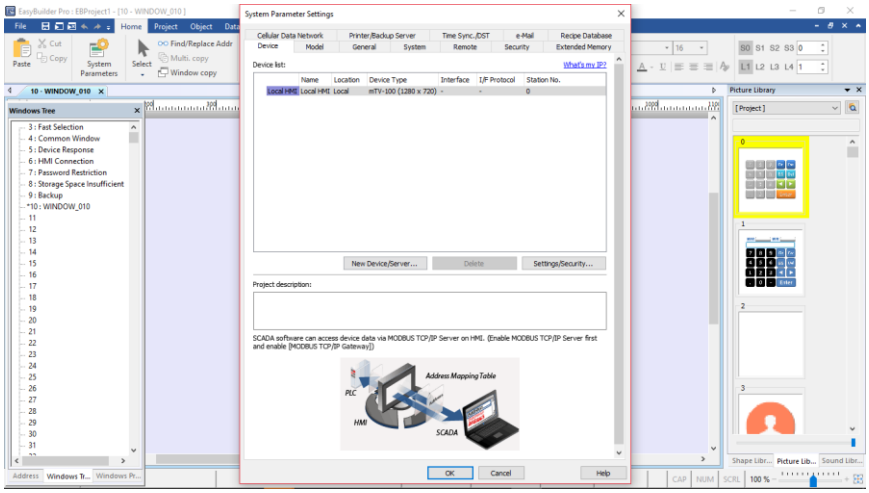
a) Setelah aplikasi dibuka, klik gambar 

untuk membuat gambar *interface* sistem SCADA dan pilih Model mTV-100 (1280 x 720) karena penulis menggunakan *hardware* Weintek mTV-100. Tampilan *page* membuat *project* baru seperti pada Gambar 2.62.



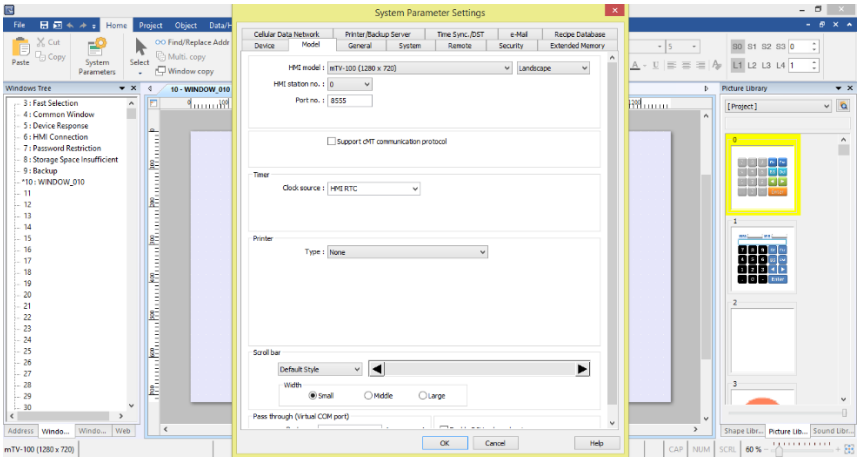
Gambar 2. 61 Membuat *Project* Baru

b) Kemudian, akan muncul *page* "*System Parameter Setting"* seperti Gambar 2.63.



Gambar 2. 62 *Page System Parameter Setting*

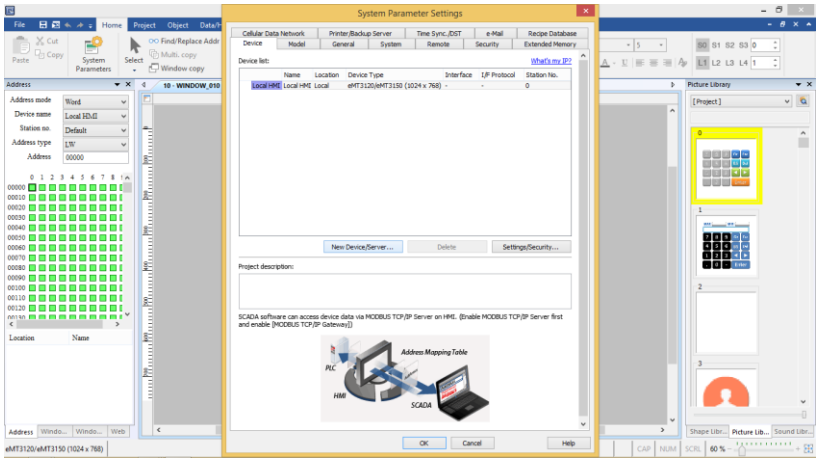
c) Dari Gambar 2.63 tersebut, pilih Menu "*Model"*, selanjutnya ganti "HMI *model"* dengan pilihan mTV-100 (1280 x 720) dan isikan HMI "*Port no"* dengan nomor 8555 seperti Gambar 2.64.



Gambar 2. 63 Mengatur Menu Model pada *System Parameter Setting*

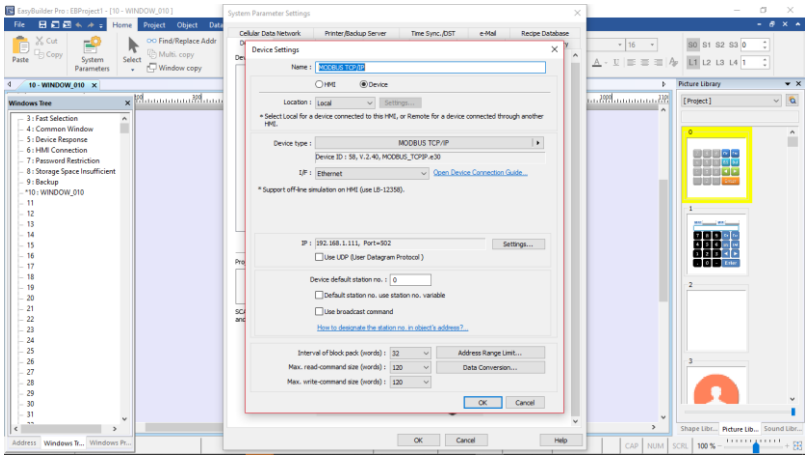
3. Langkah-langkah pembuatan *Device* baru:

a) Dari Gambar 2.64 di atas, kembali ke Menu "*Device"* dan klik pilihan "*New Device/Server"* seperti Gambar 2.65.



Gambar 2. 64 Membuat *Device* Baru

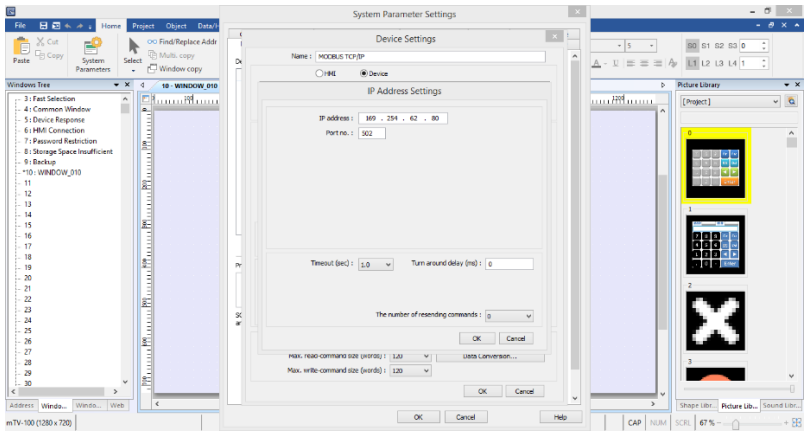
b) Mengisikan nama *Device* dengan judul MODBUS TCP/IP. Karena penulis menggunakan protokol komunikasi Modbus, pilih "*Device Type*" dengan MODBUS TCP/IP dan memilih Ethernet pada "I/F" nya seperti pada Gambar 2.66.



Gambar 2. 65 Mengatur *Device*

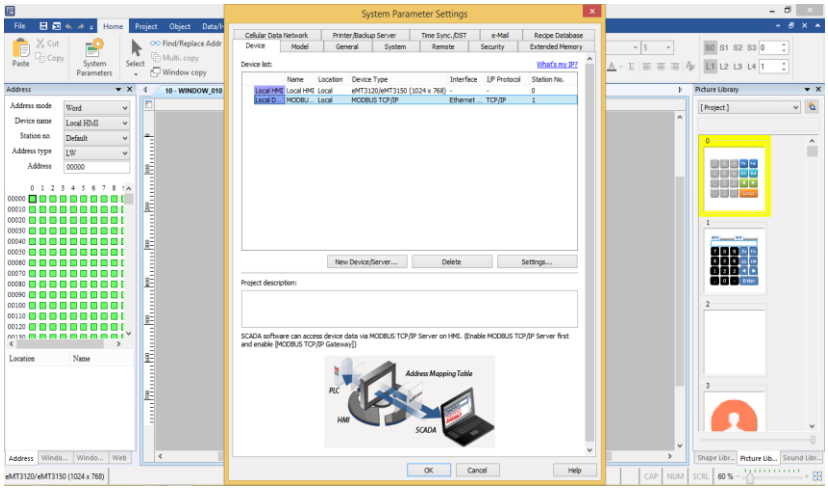
c) Pada "*Device Setting"* juga memasukan IP *Addres* dan mengganti "*Port no*" dengan 502 (Modbus). IP disesuaikan dengan program Arduino IDE dimana terdapat penambahan/pengurangan 1 digit IP terakhir pada program Arduino IDE dengan IP asli ketika kabel *connector* RJ45LAN

(Ethernet) dikoneksikan pada PC. IP Ethernet asli dapat dilihat melalui aplikasi *Command Prompt* seperti pada Gambar 2.67.



Gambar 2. 66 Menentukan IP *Addres* dan Port Modbus

d) Setelah pengaturan selesai, maka akan tampil *devices* baru yang telah dibuat seperti Gambar 2.68.



Gambar 2. 67 Tampilan *New Devices* pada *System Parameter Setting*

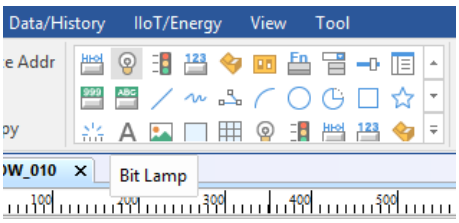
4. Dalam pembuatan indikator status dan *control* pada HMI, agar pengalamatan *address* dapat terkoneksi dengan pengalamatan pada program Arduino IDE, pilih set

untuk pin digital dan set

untuk pin analog.

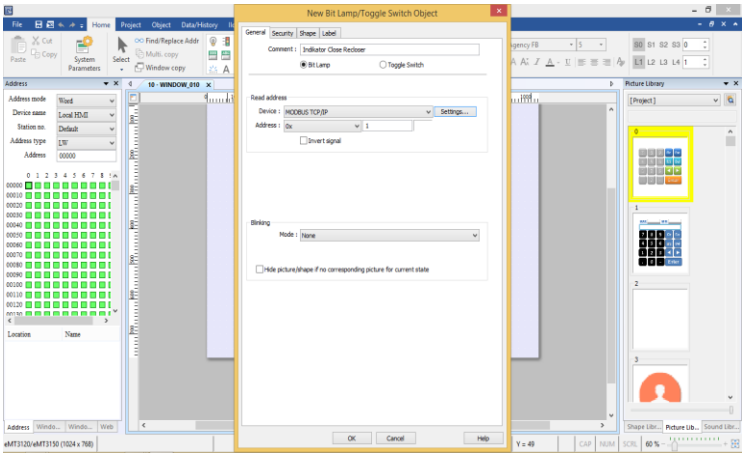
5. Langkah-langkah pembuatan indikator *digital status:*

a) Pembuatan indikator untuk fungsi *digital status* dengan cara memilih Menu "*Home"* pada menu utama *software* Easy Builder Pro. Klik atau "*Bit Lamp"* untuk membuat indikator tersebut seperti pada Gambar 4.69.



Gambar 2. 68 Memilih *Toolbar "Bit Lamp"*

b) Akan tampil jendela seperti Gambar 2.70. Masukkan judul sesuai indikator/status yang diinginkan, selanjutnya pilih "*Bit Lamp"* dan ganti *"Device"* dengan MODBUS TCP/IP. *Adress* disesuaikan dengan penambahan 1 digit Mb.R terakhir pada program Arduino IDE.

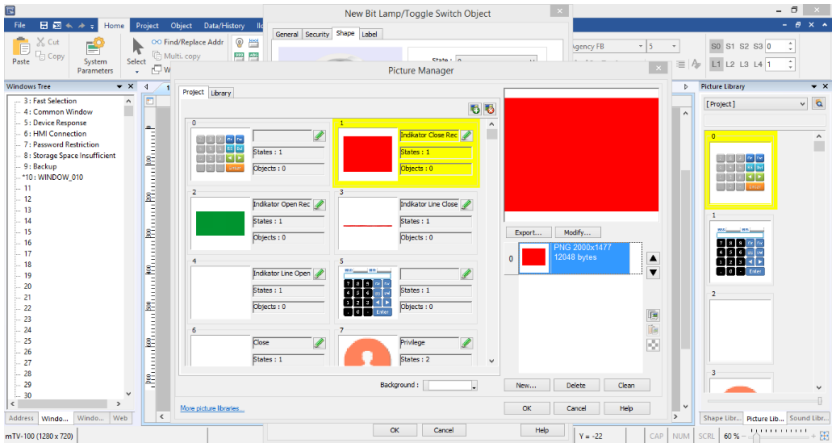


Gambar 2. 69 Membuat Indikator *Digital Status*

6. Langkah-langkah mengganti *shape display* pada indikator *digital status*:

Tujuan dari penggantian *shape* untuk *display state* 0 atau *display state* 1 agar sesuai seperti yang diinginkan (*push button green* untuk status *open* dan *push button red* untuk status *close*). Dari Gambar 2.70, klik menu "*Shape"*-

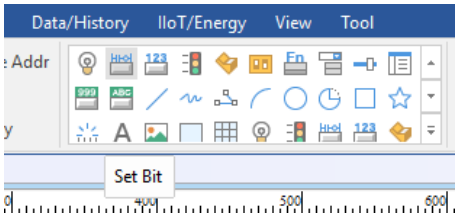
"Picture Library"-"Project" dan klik ("*Add New Picture*") seperti pada Gambar 2.71.



Gambar 2. 70 Pengaturan *Shape Display Bit Lamp*

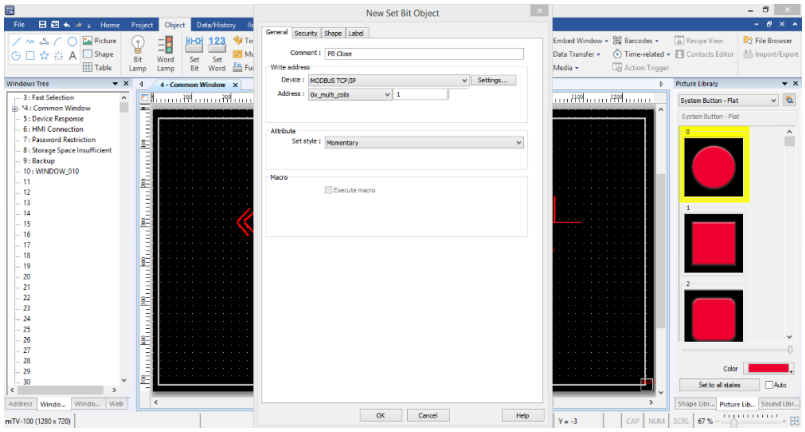
7. Langkah-langkah pembuatan indikator *push button control:*

   a) Membuat tombol untuk fungsi *push button control* (*digital control*) dengan memilih Menu "*Home"* pada menu utama *software* Easy Builder Pro. Klik atau "*Set Bit"* untuk membuat tombol tersebut seperti pada Gambar 2.72.



Gambar 2. 71 Memilih *Toolbar Set Bit*

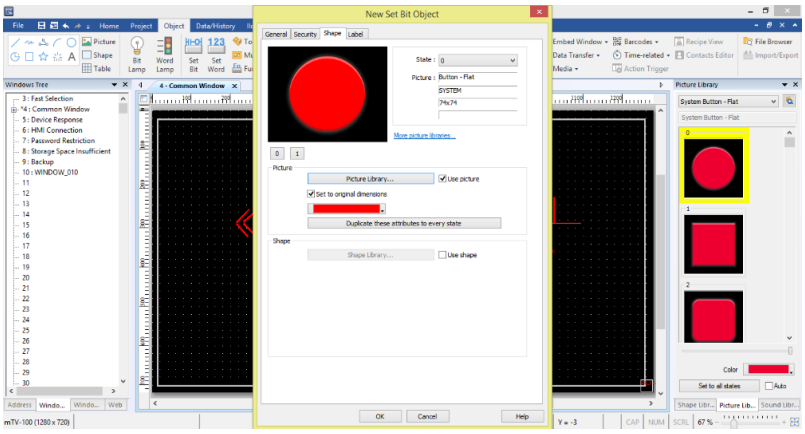
   b) Akan tampil jendela seperti Gambar 2.73. Masukkan judul sesuai *push button* yang dibuat dan ganti *"Device"* dengan MODBUS TCP/IP. *Address* disesuaikan dengan penambahan 1 digit Mb.C terakhir pada program Arduino IDE, kemudian ganti "*Attribute: Set Style"* dengan mode *Momentary*.



Gambar 2. 72 Membuat Tombol *Digital Control*

8. Langkah-langkah mengganti *color shape* pada indikator *push button control:*

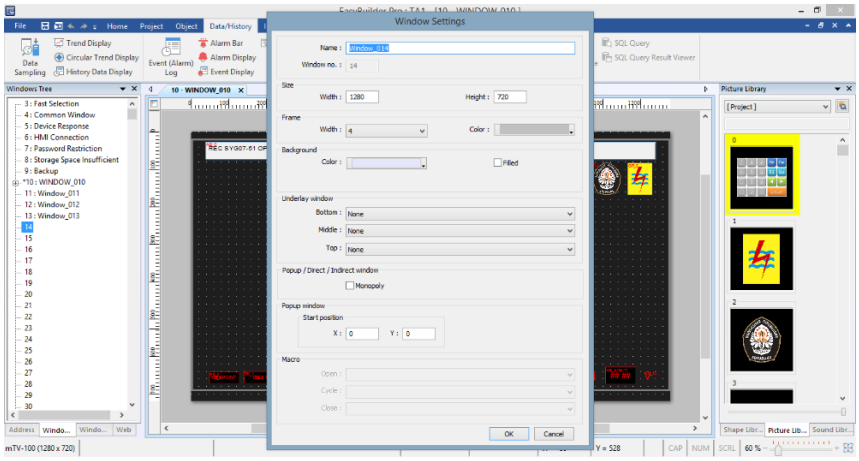
   Tujuan dari penggantian *color shape* untuk *display state* 0 atau *display state* 1 agar sesuai seperti yang diinginkan (*green* untuk *control open* dan *red* untuk *control close*) pada menu "*Shape"* seperti pada Gambar 2.74.



Gambar 2. 73 Pengaturan *Shape Display Set Bit*

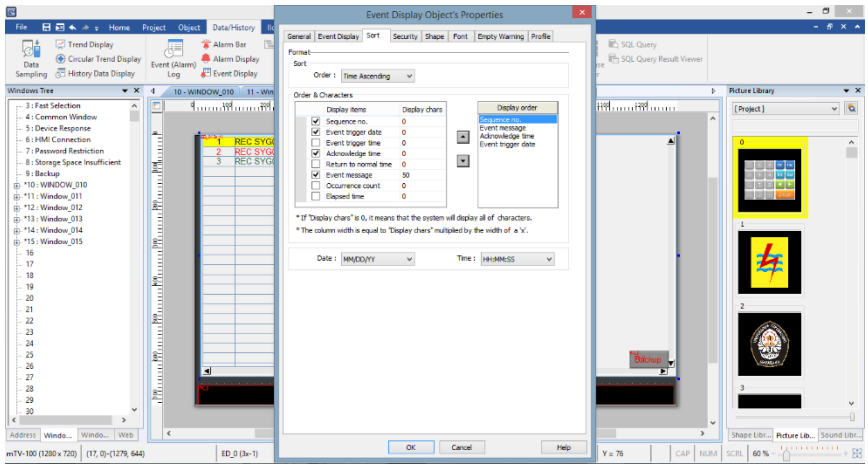
9. Langkah-langkah pembuatan *data logger:*

   a) Untuk membuat *window* baru sebagai *field* data *logger,* klik kanan pada nomor yang belum terisi di bagian *Windows Tree,* klik *"New"*, selanjutnya muncul tampilan *Windows Setting,* kemudian pilih OK seperti pada Gambar 2.75.



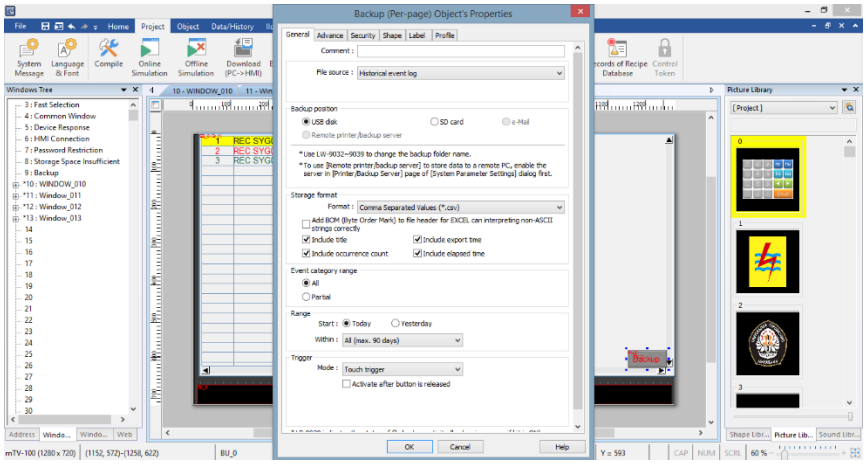
Gambar 2. 74 Tampilan *Window Setting*

b) Setelah tampilan Window baru telah dibuat, pilih Menu History/Data dan klik *tools* Event Display. Selanjutnya, pada tampilan *Properties* klik Sort dan atur *Order & Character* seperti pada Gambar 2.76.

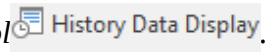


Gambar 2. 75 *Setting Order & Character Event Display*

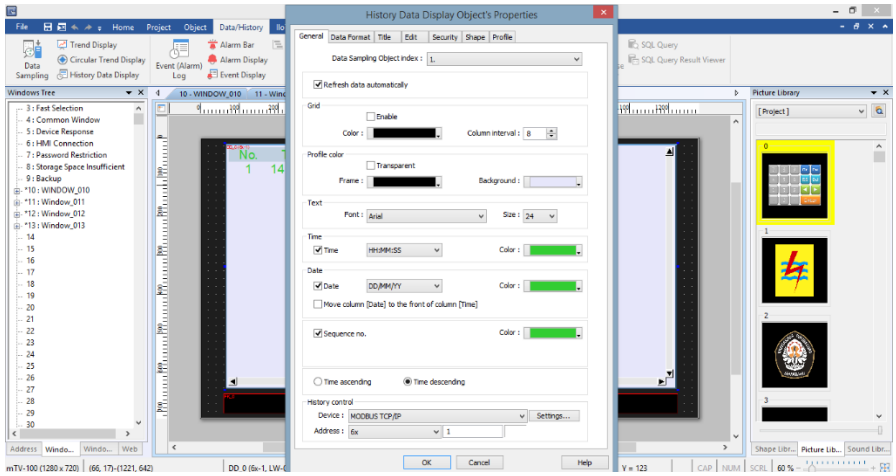
Selanjutnya, klik Backup (Per-page) untuk memback-up *event display* tersebut. Pilih jenis *disk* yang akan dimasukkan ke dalam *hardware* Weintek mTV-100 seperti pada Gambar 2.77.



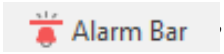
Gambar 2. 76 *Back-Up (per Page) Object's Properties*

c) Dengan menambahkan tampilan *Window* baru seperti langkah nomor 9 a), selanjutnya pilih Menu History/Data dan klik *tool* 

. Kemudian atur jumlah "*Column Interval"* yang diinginkan dan set nama kolom di Menu "*Title*" seperti pada Gambar 2.78.



Gambar 2. 77 *History Data Display Properties*

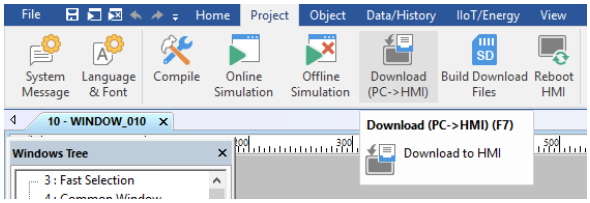
d) Sedangkan, untuk menampilkan *alarm bar* pada *Window* utama, klik *tool* 

, sehingga muncul *alarm bar* seperti Gambar 2.79.

Gambar 2. 78 Alarm Bar

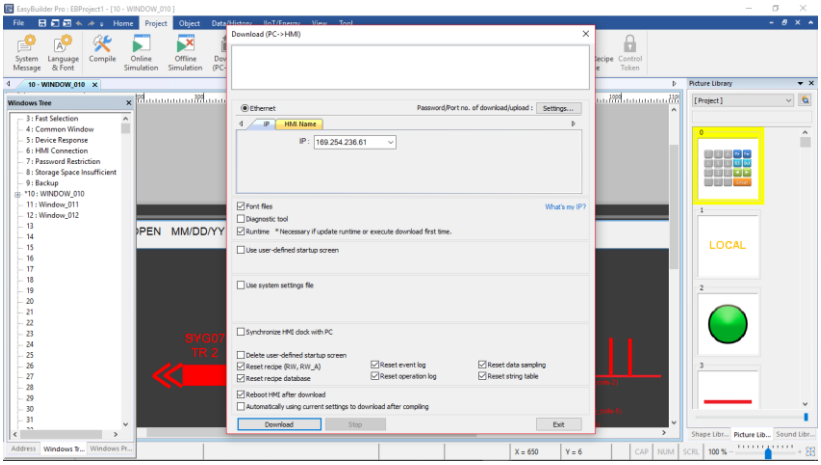
10. Langkah-langkah *download* HMI:

a) Setelah selesai membuat *object* dan tampilan *windows* HMI, melakukan *download* ke Weintek mTV-100 dengan klik pada *toolbar* seperti Gambar 2.80.



Gambar 2. 79 Proses *Download* HMI

b) Masukkan IP dari Weintek mTV-100 yang digunakan untuk melakukan proses *download* program seperti pada Gambar 2.81.



Gambar 2. 80 Menentukan IP HMI Weintek mTV-100