

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Gagasan dan ide penyusun tentang Tugas Akhir ini atas dasar observasi yang penyusun lakukan saat melaksanakan Kerja Praktik di PT PLN (Persero) TJBT APP Salatiga Basecamp Surakarta. Penyusun mendapatkan banyak pengetahuan mengenai sistem transmisi tenaga listrik. Penyusun kemudian berkeinginan melakukan pembahasan mengenai sistem proteksi yang terdapat pada jaringan tegangan tinggi konfigurasi double busbar pada bay penghantar terutama pada relai arus lebih (*Over Current Relay*) dengan karakteristik *Standard Invers* yang diaplikasikan sebagai proteksi cadangan pada bay penghantar.

Pembuatan Tugas Akhir ini menggunakan beberapa referensi yang membahas tentang *Over Current Relay* (OCR) atau relai arus lebih dan jurnal laporan Tugas Akhir yang sebelumnya memang sudah ada. Analisa Perhitungan *Setting Over Current Relay* pada Transformator Daya Area Lukit di EMP Malacca Strait SA^[1] membahas tentang analisa setting *Over Current Relay* atau relai arus lebih pada transformator daya. Hal tersebut dilakukan guna menghindari kerusakan pada peralatan listrik khususnya transformator daya di area lukit EMP Malacca Strait SA di Kabupaten Siak Sri Indrapura Provinsi Riau. Pada jurnal tersebut dijelaskan mengenai pentingnya penyettingan ulang *Over Current Relay* (OCR) pada transformator dengan menghitung

setting waktu kerja relay dengan menggunakan arus hubung singkat dan menghitung arus setting dengan menggunakan arus nominal/ arus beban puncak.

Referensi lain diambil dari laporan tugas akhir mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro. *Over Current Relay Standard Invers* Berbasis Arduino Uno ^[2] membahas tentang nilai arus hubung singkat pada *Over Current Relay* serta waktu kerja *Over Current Relay* dengan karakteristik *Standard Invers* pada jaringan Distribusi. Tugas Akhir tersebut mempunyai bahasan yang sama dengan Tugas Akhir ini, yaitu sama-sama membahas tentang *Over Current Relay* (OCR) , hanya saja Tugas Akhir ini membahas mengenai *Over Current Relay* (OCR) yang terdapat pada jaringan transmisi khususnya *Over Current Relay* (OCR) pada bay penghantar yang terletak di Gardu Induk 150kV dengan konfigurasi *double busbar*.

Koordinasi *Over Current Relay* (OCR) Sisi *Incoming* 1 dengan OCR Sisi *Outgoing* Kls 03 pada Gardu Induk Kalisari ^[3] membahas tentang bagaimana koordinasi *Over Current Relay* (OCR) pada sisi *Incoming* yang terletak di jaringan transmisi dengan *Over Current Relay* (OCR) pada sisi *Outgoing* yang terletak di jaringan distribusi. Pentingnya koordinasi tersebut dikarenakan pada sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan akibat kesalahan koordinasi proteksi yang tidak baik. Keadaan tersebut yang mengakibatkan proteksi pada sisi *incoming* dengan proteksi pada sisi *outgoing* bekerja secara bersamaan sehingga dapat menyebabkan padam pada konsumen tenaga listrik.

Persamaan dari ketiga referensi tersebut dengan laporan tugas akhir penulis adalah sama-sama membahas mengenai prinsip kerja dari relay arus lebih (*Over*

Current Relay). Perbedaan laporan tugas akhir yang disusun buat dengan laporan tugas akhir yang dijadikan referensi adalah penulis akan membahas *Over Current Relay* yang diaplikasikan pada jaringan transmisi sebagai proteksi cadangan yang terletak di *bay* penghantar dari suatu gardu induk tegangan tinggi dengan konfigurasi *double busbar* .

Dalam pembuatan simulasi tugas akhir ini penulis menggunakan *Arduino Mega 2560* sebagai pengendali simulator serta melakukan inovasi dengan membuat alat simulasi yang dilengkapi dengan data *logger* data dan grafik kerja relai OCR dapat dipantau dan diakses secara langsung melalui data *logger* pada aplikasi VT Scada. Alasan pembuatan alat simulasi tersebut karena perlunya pemahaman tentang prinsip kerja *Over Current Relay* dengan karakteristik *Standard Invers* sebagai proteksi cadangan di *bay* penghantar pada Gardu Induk dengan konfigurasi *Double Busbar* sehingga dibuat alat simulasi untuk menggambarkan kerja *Over Current Relay* dengan karakteristik *Standard Invers* sebagai proteksi cadangan di *bay* penghantar pada Gardu Induk dengan konfigurasi *Double Busbar* tersebut.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

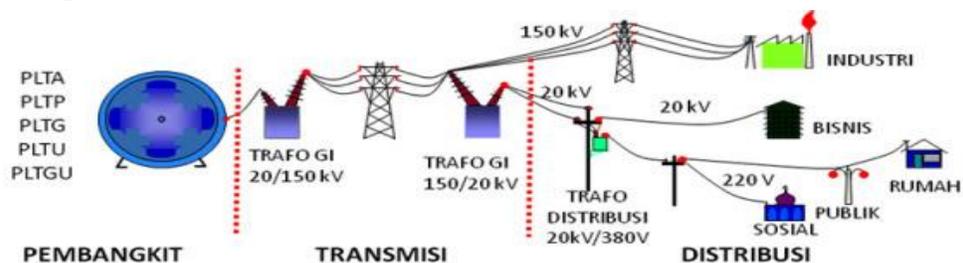
Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari sekumpulan pembangkit sebagai penghasil energi listrik yang dihubungkan dengan jaringan transmisi menuju Gardu Induk sebagai pengumpul energi listrik dari beberapa

pembangkit sebelum akhirnya didistribusikan pada pusat-pusat beban melalui jaringan distribusi untuk sampai pada konsumen ^[4].

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

- a. Pembangkit tenaga listrik,
- b. Penyaluran tenaga listrik dan
- c. Distribusi tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik modern merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat pusat beban. Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketiga bagian yaitu pembangkit, penyaluran (transmisi) 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]

Apabila salah satu bagian sistem transmisi mengalami gangguan maka akan berdampak terhadap bagian transmisi yang lainnya, sehingga Saluran transmisi, Gardu induk dan Saluran distribusi merupakan satu kesatuan yang harus dikelola dengan baik. Pembangkit listrik kebanyakan dibangun tidak berdekatan dengan pusat beban karena

alasan keterbatasan lahan, dampak terhadap lingkungan ataupun karena ketersediaan energi primernya. Kondisi tersebut mengharuskan adanya saluran transmisi untuk menyalurkan energi listrik ke pusat-pusat beban. Sistem tenaga listrik yang besar bisa terdiri dari ratusan atau bahkan ribuan bus.

Saluran transmisi merupakan suatu proses penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya pada tingkat tegangan yang lebih tinggi dari tegangan di sisi sumber listrik (generator) ke gardu induk (beban) atau pada tingkat tegangan yang telah dinaikkan atau ditinggikan di atas tegangan generator. Saluran transmisi memegang peranan yang penting dalam pengiriman daya yang aman dan optimal. Macam Saluran Transmisi yang ada di Sistem Ketenagalistrikan PLN P3B Jawa Bali antara lain :

- 1) Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
- 2) Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
- 3) Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV

2.2.2 Gardu Induk

2.2.2.1 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat penyaluran (transmisi), yang menghubungkan sistem transmisi tegangan tinggi dengan saluran-saluran dan gardu-gardu distribusi^[5].

2.2.2.2 Fungsi Gardu Induk

Gardu Induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik tegangan tinggi yang mempunyai beberapa fungsi, di antaranya:^[6]

1. Mentransformasikan daya listrik dengan frekuensi tetap (50 *Hertz*):

2. Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan pelayanan beban dari gardu induk ke gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang tegangan menengah yang ada di gardu induk.
4. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang biasa disebut dengan SCADA.

2.2.2.3 Tipe Busbar

Busbar atau rel adalah titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik^[7].

a. Jenis Isolasi Busbar

1. Gardu Induk SF 6

Gardu induk seperti ini sangat hemat tempat sebab menggunakan gas SF₆ sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan dan ditempatkan didalam suatu selubung besi. Sering disebut Gardu Induk SF 6 atau disingkat GIS.

2. Gardu Induk Konvensional

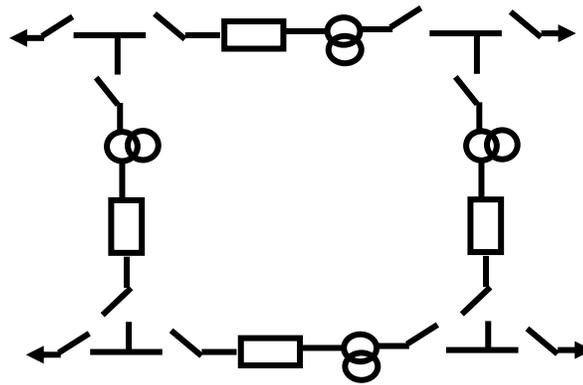
Gardu Induk yang menggunakan udara menjadi isolasi antara bagian yang bertegangan dan dengan demikian memerlukan tempat yang cukup luas.

b. Sistem Busbar (Rel)

Busbar atau rel adalah titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Berdasarkan busbar gardu induk dibagi menjadi :

1. Gardu Induk dengan sistem ring busbar

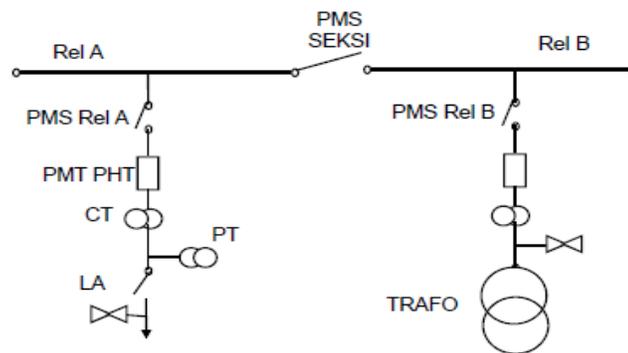
Adalah gardu induk yang busbar berbentuk ring yaitu semua rel/busbar yang ada tersambung satu sama lain dan membentuk seperti ring / cincin.



Gambar 2- 2 Gardu Induk Sistem *Ring* Busbar^[7]

2. Gardu Induk dengan single busbar.

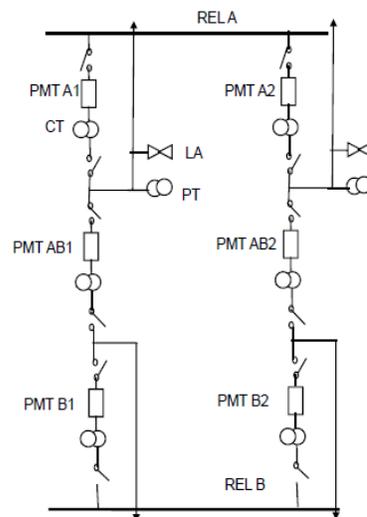
Adalah gardu induk yang mempunyai satu / single busbar. Pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk diujung atau akhir dari suatu transmisi.



Gambar 2- 3 Gardu Induk Single Busbar ^[7]

3. Gardu Induk dengan satu setengah / one half busbar.

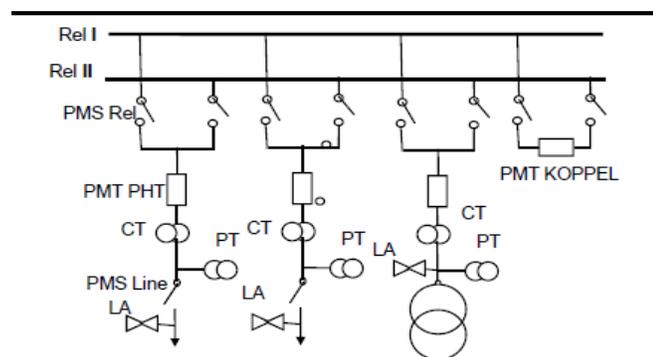
Adalah gardu induk yang mempunyai dua / double busbar . Gardu induk Pembangkitan dan gardu induk yang sangat besar menggunakan sistem ini karena sangat efektif dalam segi operasional dan dapat mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sistem (maneuver sistem). Sistem ini menggunakan 3 buah PMT didalam satu diagonal yang terpasang secara seri.



Gambar 2- 4 Gardu Induk Satu Setengah CB ^[7]

4. Gardu Induk dengan double busbar.

Adalah gardu induk yang mempunyai dua / double busbar. Sistem ini sangat umum, hampir semua gardu induk menggunakan sistem ini karena sangat efektif untuk mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sstem (manuver sistem).



Gambar 2- 5 Gardu Induk Double Busbar ^[7]

Dalam Tugas Akhir ini lebih membahas tentang peralatan pada Gardu Induk Tegangan Tinggi 150 kV dengan konfigurasi *double* busbar. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem penyaluran tenaga listrik, karena sistem *double* busbar mempunyai keuntungan sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya melakukan perubahan sistem (*maneuver system*) dari busbar rel 1 ke busbar rel 2 maupun sebaliknya pada saat pemeliharaan .

2.2.2.4 Peralatan Utama Gardu Induk

Peralatan utama gardu induk sistem *double* busbar sebagai berikut :

- a. Serandang

Serandang merupakan salah satu komponen yang terpasang di Gardu Induk, berfungsi sebagai terminal interkoneksi yang menghubungkan antar peralatan gardu induk^[8].

b. Transformator

1. Trafo Tenaga

Trafo merupakan peralatan statis di mana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama [9]

2. Trafo Instrumen (Pengukuran) :

- Trafo Arus (*CT*)

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi 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 [10]

- Trafo Tegangan (*PT*)

Trafo tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk peralatan indikator, alat ukur / meter dan relai. [11]

c. Pemutus Tenaga (*PMT / CB*)

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan 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.

Fungsi utamanya 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 peralatann lain. [12]

d. Pemisah (PMS / DS)

Disconnecting switch atau pemisah (PMS) suatu peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah rangkaian listrik tanpa arus beban (memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain yang bertegangan), dimana pembukaan atau penutupan PMS ini hanya dapat dilakukan dalam kondisi tanpa beban. [13]

e. Peralatan Komunikasi (*PLC / JWOTS*)

Semua peralatan yang digunakan sebagai alat telekomunikasi, sehingga semua sistem transmisi dapat diinterkoneksi dengan baik di seluruh Indonesia.

f. Panel Kontrol

Berfungsi untuk mengetahui (mengontrol) kondisi gardu induk dan merupakan pusat pengendali lokal gardu induk.

g. Panel Proteksi

Tempat almari relai-relai pengaman yang dikelompokkan dalam *bay*, sehingga mudah dalam pengontrolan dan operasionalnya. Berfungsi untuk memproteksi (melindungi sistem jaringan gardu induk) pada saat terjadi gangguan maupun karena kesalahan operasi.

h. Sumber DC Gardu Induk

- Baterai:

Sumber DC berfungsi untuk menggerakkan peralatan kontrol, relai pengaman, motor penggerak CB, DS, dan lain-lain.

- *Rectifier* :

Rectifier yang terpasang di Gardu Induk berfungsi untuk mengisi muatan baterai, memasok daya secara kontinu ke beban dan menjaga baterai agar tetap dalam kondisi penuh [14]

i. *Lightning Arrester*

Lightning Arrester/ Arrester/ Surge Arrester memiliki peran penting di dalam koordinasi isolasi peralatan di gardu induk. Fungsi utama dari *Lightning Arrester* adalah melakukan pembatasan nilai tegangan pada peralatan gardu induk yang dilindunginya [15].

j. *Busbar* (Rel Daya)

Busbar adalah salah satu komponen penting dalam Gardu Induk dan merupakan titik pertemuan daya atau sebagai pusat konsentrasi daya. Dalam buku SKDIR PT. PLN yang berjudul *Proteksi dan Kontrol Busbar*^[12] menyebutkan bahwa, busbar merupakan

bagian utama dalam suatu gardu induk yang berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay yang ada pada gardu induk tersebut, baik bay line maupun bay trafo.

2.2.3 Saluran Transmisi

Saluran transmisi adalah sarana untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit ke gardu induk. Banyaknya jenis konsumen yang disalurkan dengan beban yang berbeda – beda membuat jenis saluran juga berbeda – beda. Pada saluran transmisi menggunakan jenis tegangan tinggi. Di Indonesia, konstruksi saluran transmisi terdiri dari:

2.2.3.1 Saluran Udara

Saluran udara digunakan untuk tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi atau akrab disebut SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi). SUTT atau SUTET merupakan jenis saluran transmisi tenaga listrik yang banyak digunakan di PLN daerah Jawa dan Bali karena harganya yang lebih murah dibanding jenis lainnya serta pemeliharaannya mudah.

2.2.3.2 Saluran Kabel

Saluran kabel hanya ada pada sistem tegangan tinggi yaitu 70 kv dan 150 kv. Pada daerah tertentu yang mempertimbangkan masalah estetika, lingkungan yang sulit mendapatkan ruang bebas, keandalan yang tinggi, serta jaringan antar pulau, dipasang saluran kabel.

2.2.4 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah sistem yang mengatur satu atau lebih peralatan proteksi, dan peralatan lain yang di maksudkan untuk melakukan satu atau lebih fungsi proteksi tertentu. (IEV 448-11-04 dalam PT. PLN (Persero) P3BJB, 2013)

2.2.4.1 Pengertian Relai Proteksi

Pengaturan dari satu atau lebih peralatan proteksi, dan peralatan lain yang dimaksudkan untuk melakukan satu atau lebih fungsi proteksi tertentu. Dengan catatan, suatu sistem proteksi yang terdiri dari satu atau lebih peralatan proteksi, transformator pengukuran, pengawatan rangkaian tripping catu daya dan sistem komunikasi bila tersedia ^[16].

2.2.4.2 Tujuan Sistem Proteksi

Tujuan sistem proteksi adalah sebagai berikut:

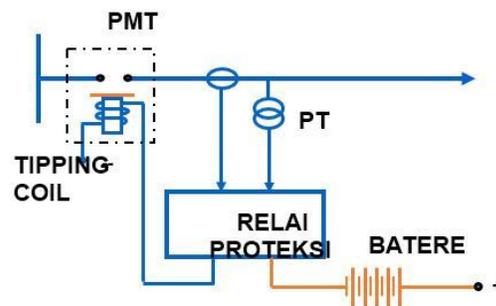
- a. Mencegah kerusakan peralatan yang terganggu, maupun peralatan yang dilewati arus gangguan.
- b. Mengisolir bagian sistem yang terganggu sekecil dan secepat mungkin.
- c. Mencegah meluasnya gangguan.

2.2.4.3 Fungsi dan Peranan Sistem Proteksi

Maksud dan tujuan pemasangan relay proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar ^[17], dengan cara :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya yang dapat membahayakan peralatan atau sistem.
- b. Melepaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu atau yang mengalami keadaan abnormal lainnya secepat mungkin sehingga kerusakan instalasi yang terganggu atau yang dilalui arus gangguan dapat dihindari atau dibatasi semimumimum mungkin dan bagian sistem lainnya tetap dapat beroperasi.
- c. Memberikan pengamanan cadangan bagi instalasi lainnya.
- d. Memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang tbaik kepada konsumen.
- e. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.2.4.4 Perangkat Sistem Proteksi



Gambar 2- 6 Perangkat Sistem Proteksi ^[18]

Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :

1. Relai

Sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan. Apabila besaran tegangan/arus tidak setimbang atau melebihi penyetelannya, maka kumparan relai akan

bekerja dengan menarik kontak dengan cepat atau dengan waktu tunda dan memberikan perintah *tripping coil* pada Pemutus Tenaga (PMT).

2. Trafo Arus atau Trafo Tegangan (CT/PT)

Trafo arus dan tegangan berfungsi memberikan informasi mengenai keadaan tenaga listrik (normal atau terganggu) dan juga berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan tinggi (jaringan yang diamankan) terhadap bagian tegangan rendah (relai pengaman).

3. PMT

Berfungsi untuk menghubungkan dan memisahkan satu bagian dari jaringan yang beroperasi normal maupun jaringan yang sedang terganggu.

4. Power Supply

Untuk menyuplai daya ke relai proteksi dan PMT agar relai tersebut dapat mengolah informasi yang diterima dan memberikan perintah ke PMT yang diperlukan. Dengan *power supply* tersebut PMT dapat melaksanakan perintah yang diterima dari relai pengaman. Peralatan pada sistem proteksi dapat bekerja diperlukan *supply* tegangan sebesar 110 Volt DC.

5. Tripping Coil

Merupakan rangkaian untuk mentripping suatu PMT. Seperti diketahui bahwa dalam PMT terdapat motor penggerak yang mendapatkan *trigger* atau rangsangan dari rangkaian trippingnya untuk membuka atau menutup PMT.

6. Pengawatan (*Wiring*)

Untuk menghubungkan komponen proteksi dan terdiri dari sirkit sekunder (arus dan atau tegangan), sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu sehingga menjadi satu sistem.

2.2.4.5 Perangkat Sistem Proteksi

Dalam perencanaan sistem proteksi, maka untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut :^[17]

a. Sensitif.

Suatu relay proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam jangkauan pengamanannya.

Relay proteksi mendeteksi adanya gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum dan bila perlu hanya mentripping pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu, sedangkan bagian sistem yang sehat dalam hal ini tidak boleh terbuka.

b. Selektif.

Selektivitas dari relay proteksi adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan. Bagian yang terbuka dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil.

Relay proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengamanannya.

c. Cepat.

Makin cepat relay proteksi bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.

d. Andal.

Dalam keadaan normal atau sistem yang tidak pernah terganggu relay proteksi tidak bekerja selama berbulan-bulan mungkin bertahun-tahun, tetapi relay proteksi bila diperlukan harus dan pasti dapat bekerja, sebab apabila relay gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan atau mengakibatkan bekerjanya relay lain sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas.

Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relay proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.

e. Ekonomis.

Dengan biaya yang sekecilnya-kecilnya diharapkan relay proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya.

2.2.4.6 Gangguan pada Sistem Penyaluran

Gangguan pada jaringan tenaga listrik dapat terjadi diantaranya pada pembangkit, jaringan transmisi atau di jaringan distribusi. Penyebab gangguan tersebut tersebut dapat diakibatkan oleh gangguan sistem dan non sistem.

1. Gangguan Sistem

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

Gangguan temporer adalah gangguan yang hilang dengan sendirinya bila PMT terbuka, misalnya sambaran petir yang menyebabkan flash over pada isolator SUTT. Pada keadaan ini PMT dapat segera dimasukkan kembali, secara manual atau otomatis dengan AutoRecloser.

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

2. Gangguan Non Sistem

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

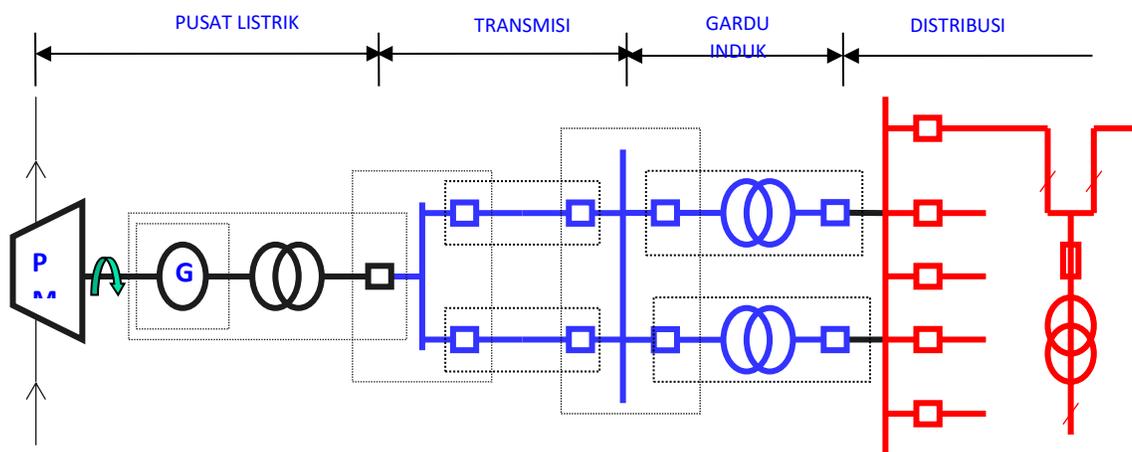
Jenis gangguan non-sistem antara lain :

- a. kerusakan komponen relai ;
- b. kabel kontrol terhubung singkat ;

c. interferensi / induksi pada kabel control

2.2.5 Proteksi Penghantar

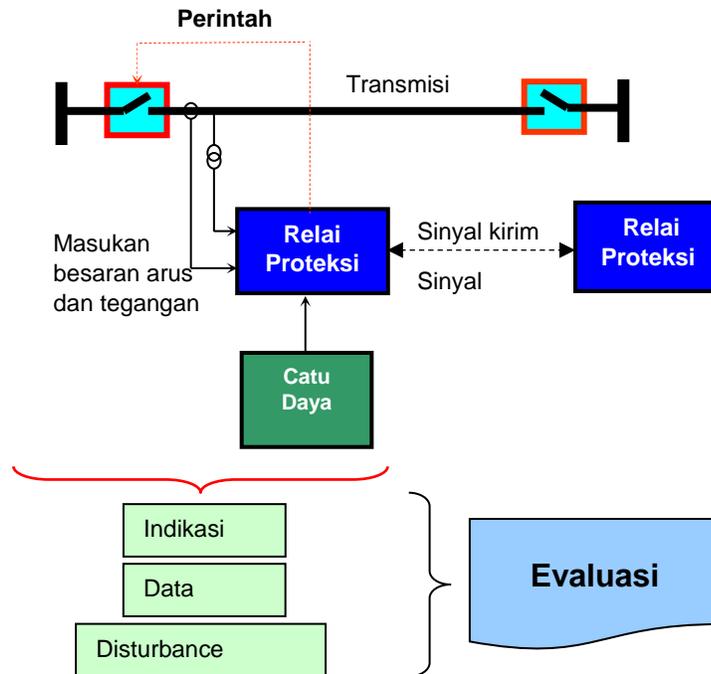
Jaringan tenaga listrik secara garis besar terdiri dari pusat pembangkit, jaringan transmisi (gardu induk dan saluran transmisi) dan jaringan distribusi [17], seperti diperlihatkan pada Gambar 2-7.



Gambar 2- 7 Jaringan Sistem Tenaga Listrik ^[17]

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan penyediaan energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan.

Blok diagram Sistem proteksi Penghantar diperlihatkan pada Gambar 2-8



Gambar 2- 8 Blok Diagram Sistem Proteksi Penghantar ^[17]

Sistem proteksi suatu peralatan karena berbagai macam faktor dapat mengalami kegagalan operasi. Berdasarkan hal tersebut maka proteksi dapat dibagi dalam dua kelompok ^[16], yaitu :

2.2.5.1 Proteksi Utama

Proteksi utama adalah proteksi yang menjadi prioritas pertama untuk membebaskan/ mengisolasi gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal di sistem tenaga listrik (IEV 448-11-13) (SPLN T5.002-1: 2010).

Relai untuk proteksi utama yang dikenal saat ini :

- a. Distance Relay
- b. Differential Relay

- c. Directional Comparison Relay

2.2.5.2 Proteksi Cadangan

Proteksi cadangan adalah proteksi yang akan bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh proteksi utama (SPLN T5.002-1: 2010). Proteksi cadangan terdiri dari proteksi cadangan lokal dan proteksi cadangan jauh.

Proteksi cadangan lokal adalah proteksi yang akan bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh proteksi utama di tempat yang sama.

Proteksi cadangan jauh adalah proteksi yang akan bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh proteksi utama di tempat yang lain.

Macam Proteksi Cadangan adalah sebagai berikut :

- a. Sistem proteksi cadangan lokal : OCR & GFR
- b. Sistem proteksi cadangan jauh : Zone 2 GI remote

Koordinasi waktu dibuat sedemikian hingga proteksi cadangan jauh bekerja lebih dahulu dari proteksi cadangan lokal. Walau dimungkinkan bahwa proteksi cadangan jauh akan bekerja lebih efektif dari proteksi cadangan lokal, tetapi hal ini tetap harus diusahakan agar tidak terjadi pemadaman lebih luas. Waktu tunda proteksi cadangan lokal cukup lama sehingga mungkin sekali mengorbankan kestabilan sistem demi keselamatan peralatan. Dengan demikian berarti pula bahwa proteksi cadangan lokal adalah cadangan terakhir pada seksi yang berdekatan demi keselamatan peralatan.

2.2.6 Sistem Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Sistem proteksi bay penghantar adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut ^[18].

Pada SUTT dikenal beberapa jenis penghantar berdasar panjang salurannya. Pada tiap jenis panjang saluran memiliki beberapa pola proteksi yang berbeda, antara lain :

a. Penghantar Pendek

Untuk penghantar pendek pola proteksi SUTT yang direkomendasikan adalah Line Current Differential, Phase Comparison, Directional comparison, Distance Relay dengan pola Blocking, Differential pilot, selective relay untuk sistem tahanan tinggi.

b. Penghantar Sedang

Untuk penghantar sedang pola proteksi SUTT yang direkomendasikan adalah Current Differential, Phase Comparison, Directional comparison, Distance Relay dengan pola PUTT atau POTT.

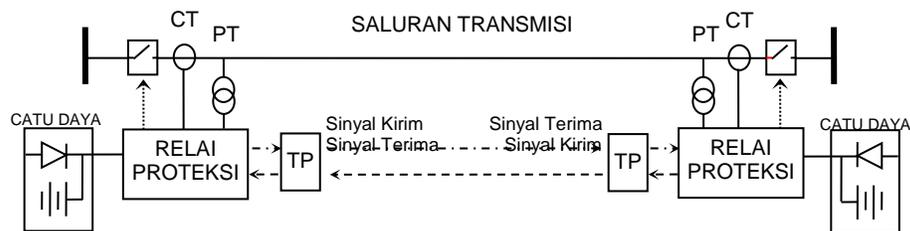
c. Penghantar Panjang

Untuk penghantar panjang pola proteksi SUTT yang direkomendasikan adalah Directional comparison, Distance Relay dengan tambahan DEF menggunakan pola PUTT atau POTT.

2.2.7 Over Current Relay

2.2.7.1 Prinsip Kerja Over Current Relay

OCR merupakan relai yang bekerja dengan input analog arus, apabila nilai arus yang terbaca oleh relai melebihi nilai *settingnya* khususnya untuk gangguan fasa-fasa, maka relai akan mengirim perintah trip (buka) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan sesuai dengan *setting* pada relai.



Gambar 2- 9 Typical Komponen Sistem Proteksi SUTT

Pada kondisi normal arus yang mengalir pada penghantar lebih kecil jika dibandingkan nilai arus setting pada OCR, sehingga relai OCR tidak bekerja. Namun pada saat terjadi gangguan arus lebih dan apabila proteksi utama pada penghantar gagal bekerja nilai arus yang mengalir pada penghantar akan melonjak sangat besar hingga melebihi nilai setting OCR yang telah ditetapkan. Sehingga CT di kedua ujung penghantar akan membaca kenaikan arus pada penghantar dan relai akan memerintahkan PMT pada kedua sisi Gardu Induk untuk trip setelah tunda waktu yang diterapkan guna memisahkan jaringan.

2.2.7.2 Fungsi dan Penggunaan Over Current Relay

Relai ini berfungsi sebagai proteksi terhadap gangguan arus hubung singkat fasa-fasa maupun fasa tanah dan dapat digunakan sebagai :

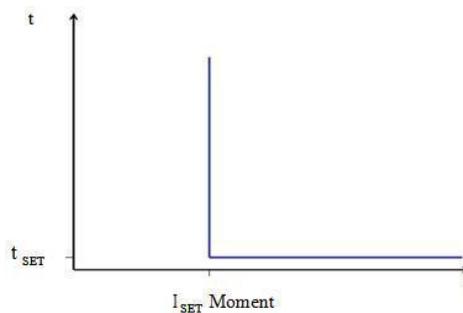
- a. Proteksi utama penyulang (jaringan tegangan menengah)
- b. Proteksi cadangan pada trafo, generator dan transmisi.
- c. Proteksi utama untuk sistem tenaga listrik yang kecil dan radial Proteksi utama motor listrik yang kecil.

2.2.7.3 Karakteristik *Over Current Relay*

a. *Instantaneous Over Current Relay*

Relai arus ini digunakan untuk proteksi arus hubung singkat yang besar (high set) sehingga tripping time pada arus gangguan yang besar relai akan bekerja seketika. Walaupun secara teoritis operating time-nya sama dengan nol tetapi pada daerah kerja mendekati settingnya masih ada kelambatan waktu beberapa milidetik (tipikal di bawah 150 % Iset, operating time lebih kecil dari 150 mili detik. Jangka waktu relai mulai pick-up sampai selesainya kerja relai sangat pendek (20 s/d 100 ms) [19].

Pada kondisi dimana arus gangguan di sisi hilir dan di sisi hulu tidak berbeda secara signifikan, koordinasi relai momen sulit dilakukan, khususnya pada feeder yang sangat pendek. Bila kondisi ini dijumpai maka pola non kaskade dapat dipertimbangkan.

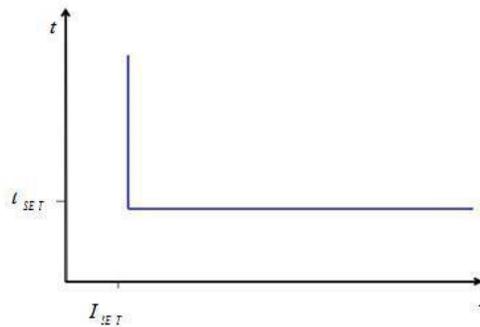


Gambar 2- 10 Kurva Karakteristik Relai Arus Lebih Seketika [20]

b. *Definite Time Over Current Relay*

Jika jangka waktu relai mulai pick-up sampai selesai, diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkannya.

Relai yang bekerja berdasarkan waktu tunda yang telah ditentukan sebelumnya dan tidak tergantung pada perbedaan besarnya arus.

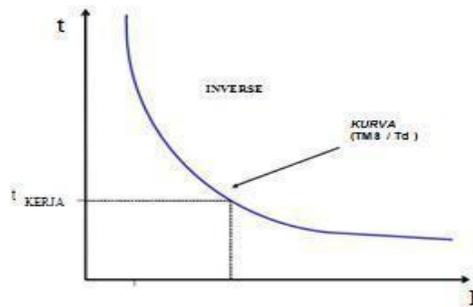


Gambar 2- 11 Kurva Karakteristik Relai Arus Lebih dengan Waktu Tunda ^[20]

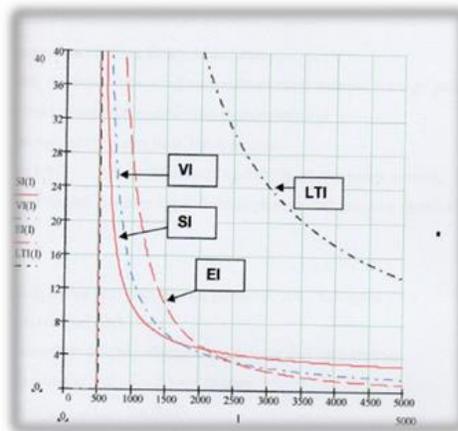
c. *Inverse Time Over Current Relay*

Relai yang bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besarnya arus yang terukur oleh relai. Semakin besar arus pick up, maka semakin cepat waktu trip dan sebaliknya. Beberapa jenis karakteristik relai ini adalah :

- a. *Long Time Inverse*
- b. *Standard Inverse*
- c. *Very Inverse*
- d. *Extremely Invers*



Gambar 2- 12 Kurva Karakteristik Relai Inverse [20]



Gambar 2- 13 Perbandingan Beberapa Karakteristik Relai Inverse [20]

Hubungan antara Arus terhadap waktu untuk beberapa karakteristik di atas ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I_{hs}}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times TMS$$

Dimana

t : waktu dalam detik

I_{hs} : Arus gangguan

I_s : Arus seting

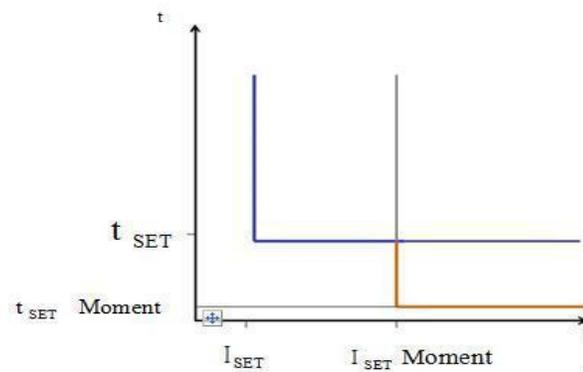
TMS : *time multiplier setting*

K dan α untuk setiap karakteristik besarnya seperti pada tabel di bawah ini :

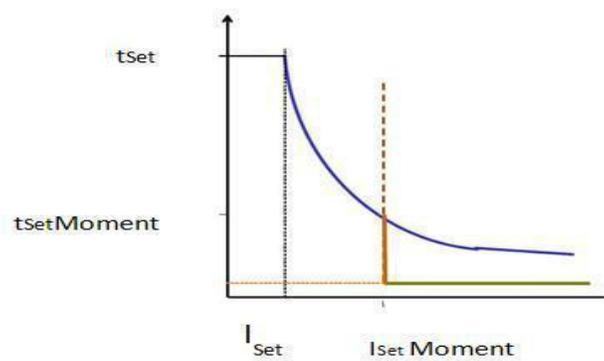
Tabel 2- 1 K dan α Karakteristik OCR

Karakteristik	K	A
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02
<i>Very Inverse</i>	13.50	1.00
<i>Extremely Inverse</i>	80.00	2.00
<i>Long Time Inverse</i>	120.00	1.00

d. **Relay Kombinasi**



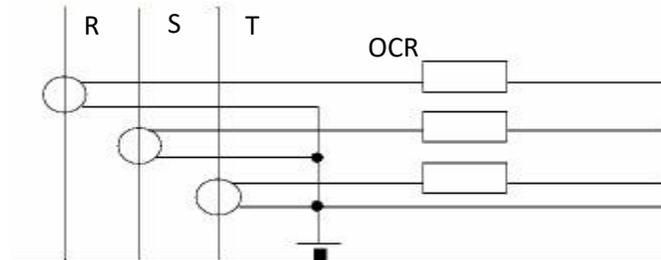
Gambar 2- 14 Kurva Karakteristik Relai Arus Lebih Invers Dikombinasi dengan



Moment. ^[20]

Gambar 2- 15 Kurva Karakteristik Relai Arus Lebih Waktu Tertentu Dikombinasi dengan Moment. ^[20]

2.2.7.4 Perhitungan *Over Current Relay*



Gambar 2- 16 Wiring OCR ^[20]

Berikut adalah rumusan perhitungan setting OCR menggunakan Standar Inverse.

1. Data Teknis ^[20] :
 - a. Data hubung singkat 3-fasa, berdasarkan hasil perhitungan
 - b. Dalam perhitungan koordinasi setting OCR dipakai acuan hubung singkat 3 fasa maksimum.
 - c. Untuk mendapatkan koordinasi relai yang baik dan agar tidak terjadi akumulasi waktu kerja relai yang terlalu lama maka setelan waktu OCR harus menggunakan karakteristik Inverse Time khususnya pada jaringan yang loop atau interkoneksi.
 - d. Pemilihan setelan arus kerja mengacu kepada kemampuan nominal (CCC) peralatan instalasi yang paling kecil seperti konduktor, CT, PMT, PMS, jumperan, wave trap).
 - e. Setting high set atau arus momen (instan) tidak diaktifkan.
2. Seting Arus OCR

$$I_s = (110\% - 120\%) \times I_n / CCC$$

Dimana,

I_s : Seting Arus OCR (Ampere)

I_n : Arus Nominal (Ampere)

CCC :Current Carrying Capacity atau Kemampuan hantar arus kawat penghantar (Ampere).

*Dipilih nilai terkecil antara CCC atau I_n .

3. Seting Waktu OCR

- a. Waktu kerja untuk gangguan maksimum pada penghantar di dekat/depan busbar adalah 1 detik, dengan pertimbangan memberi kesempatan kepada relai jarak bekerja lebih dulu pada waktu zone1 & Zone-2.
- b. Waktu kerja untuk gangguan maksimum pada ujung penghantar yang bersangkutan di GI depan adalah 1.5 detik, dengan pertimbangan memberi kesempatan OCR didepan bekerja lebih dulu.
- c. Bila kedua parameter setting waktu ini tidak terpenuhi maka sebagai acuan adalah poin a.

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \times TMS$$

Karena seting yang dimasukkan pada relai adalah seting TMS maka waktu kerja yang diinginkan pada saat terjadinya gangguan fasa-fasa di harus ditentukan (umumnya waktu kerja relai proteksi back-up penghantar adalah 1 detik pada saat terjadinya gangguan fasa-fasa).

$$TMS = \frac{\left(\frac{Ihs}{Is}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t (SI)$$

Dimana,

TMS : Time Multiple Seting.

Ihs : Arus Hubung singkat Fasa-Fasa

Is : Seting Arus OCR (A).

T(SI) : Waktu kerja yang diinginkan pada Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa .(s)

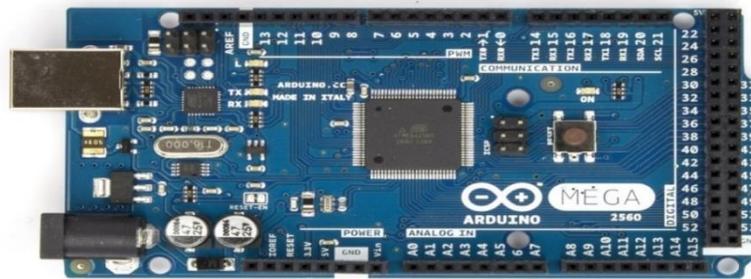
2.2.8 Peralatan Simulasi

2.2.8.1 Mikrokontroler Arduino Mega 2560

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

Mikrokontroler sendiri adalah *chip* atau *Integrated Circuit (IC)* yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan ditanamkannya program pada mikrokontroler adalah supaya rangkaian elektronik dapat membaca *input*, kemudian memproses *input* tersebut sehingga menghasilkan *output* yang sesuai dengan keinginan. Jadi mikrokontroler berfungsi sebagai otak yang mengatur *input*, proses, dan *output* sebuah rangkaian elektronik ^[21].

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis *Atmega 2560* yang memiliki 54 pin digital *input/output*, dimana 15 pin diantaranya digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, 4 pin sebagai UART (port *serial hardware*), sebuah osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack* power, header ISCP, dan tombol *reset*^[22].



Gambar 2- 17 Arduino Mega 2560^[22]

Tabel 2- 2 Spesifikasi dari Arduino Mega 2560

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

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

Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt. Pin tegangan yang tersedia pada papan *Arduino* adalah sebagai berikut:

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

yang tepat atau mengaktifkan penerjemah tegangan (*voltage translator*) pada *output* untuk bekerja pada tegangan 5 Volt atau 3,3 Volt.

Arduino ATmega2560 memiliki 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (yang 8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM)^[21]. *Arduino Mega 2560* memiliki 54 digital pin pada *Arduino Mega* dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Beberapa pin memiliki fungsi khusus, antara lain:

1. **Serial**, terdiri atas pin 0 (RX) dan 1 (TX), pin *Serial* 19 (RX) dan 18 (TX), pin *Serial*17 (RX) dan 16 (TX), pin *Serial*15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data *serial* TTL. Pins 0 dan 1 juga terhubung ke pin chip ATmega16U2 *Serial* USB-to-TTL.
2. **Eksternal Interupsi**, berupa pin 2 (*interrupt* 0), pin 3 (*interrupt* 1), pin 18 (*interrupt* 5), pin 19 (*interrupt* 4), pin 20 (*interrupt* 3), dan pin 21 (*interrupt* 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubah nilai.
3. **SPI**, terdiri dari pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), pin 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga terhubung dengan *header* ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan *Arduino Uno*, *Arduino Duemilanove* dan *Arduino Diecimila*.
4. **LED**, berupa pin 13. Tersedia secara built-in pada papan *Arduino ATmega2560*. LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin diset bernilai *HIGH*,

maka LED menyala (*ON*), dan ketika pin diset bernilai *LOW*, maka LED padam (*OFF*).

5. **TWI**, terdiri atas pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL). Yang mendukung komunikasi TWI menggunakan perpustakaan *Wire*. Perhatikan bahwa pin ini tidak di lokasi yang sama dengan pin TWI pada *Arduino Duemilanove* atau *Arduino Diecimila*.

Arduino Mega2560 memiliki 16 pin sebagai analog *input*, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default pin ini dapat diukur/diatur dari mulai *Ground* sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan pin *AREF* dan fungsi *analogReference()*.

Ada beberapa pin lainnya yang tersedia, antara lain:

1. **AREF**, merupakan referensi tegangan untuk *input* analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference()*.
2. **RESET**, merupakan jalur *LOW* ini digunakan untuk *me-reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Jalur ini biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama *Arduino*.

Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, *Arduino* lain, bahkan mikrokontroler lain. *ATmega 2560* menyediakan empat UART *hardware* untuk TTL (5V) komunikasi *serial*. Sebuah *chip ATmega16U2* yang terdapat pada papan digunakan sebagai media komunikasi *serial* melalui USB

dan muncul sebagai *COM Port Virtual* (pada *Device* komputer) untuk berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer.

Perangkat lunak *Arduino* termasuk di dalamnya serial monitor memungkinkan data tekstual sederhana dikirim ke dan dari papan *Arduino*. LED RX dan TX (pada pin 13) akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui chip *USB-to-serial* yang terhubung melalui USB komputer (tetapi tidak berlaku untuk komunikasi serial seperti pada pin 0 dan 1).

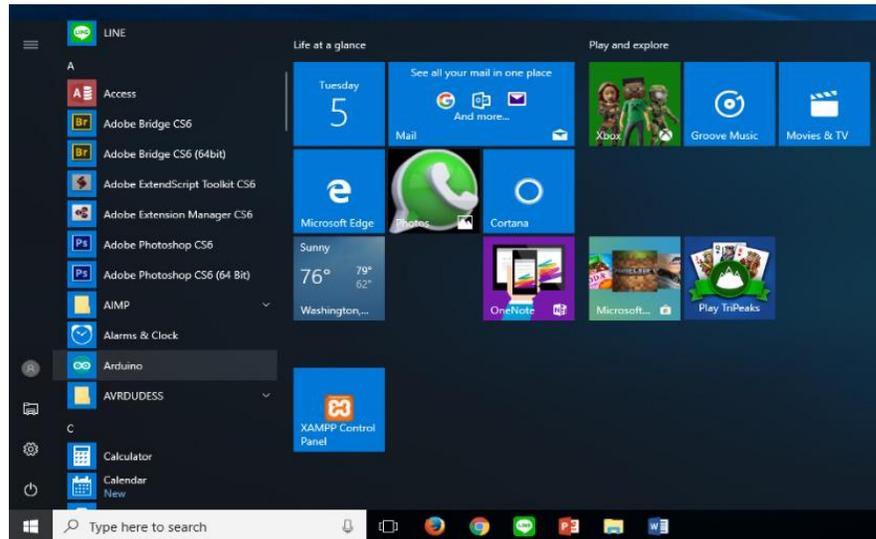
Arduino Mega dapat diprogram dengan *software Arduino IDE* yang dapat di download pada situs resmi *Arduino*. *Software* ini juga sebagai sarana memastikan komunikasi *Arduino* dengan komputer berjalan dengan benar.

2.2.8.2 Program ^[23]

Arduino Mega dapat diprogram dengan *software Arduino IDE* yang dapat di download pada situs resmi *Arduino*. *Software* ini juga sebagai sarana memastikan komunikasi *Arduino* dengan komputer berjalan dengan benar.

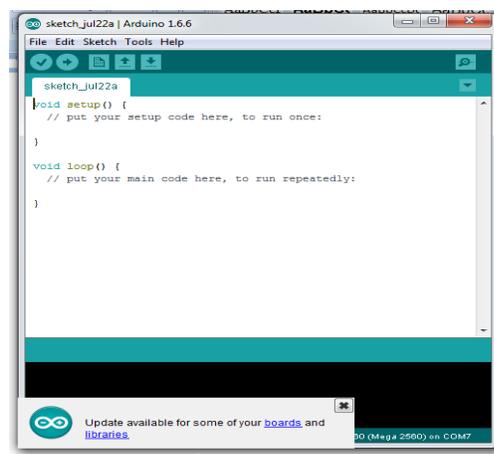
Berikut cara menggunakan *Software Arduino IDE*^[6]:

1. Jalankan *Arduino IDE* dengan menjalankan aplikasi *Arduino* yang sudah terinstal pada komputer atau laptop. Double klik program *Arduino*.



Gambar 2- 18 Aplikasi Arduino IDE

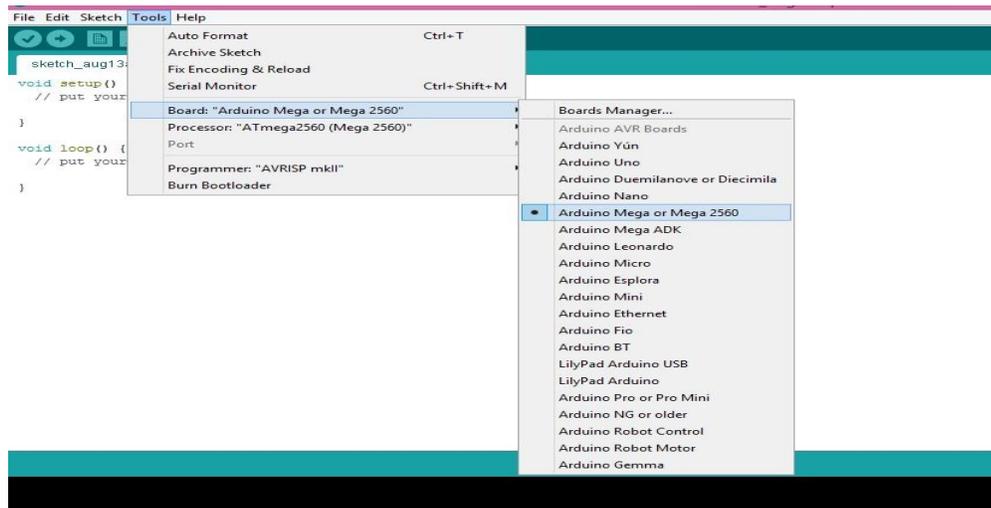
Walaupun tampak seperti program *Windows* pada umumnya, namun sebenarnya program ini adalah sebuah program *Java*. Jika ditemukan sebuah pesan kesalahan, kemungkinan besar pada komputer atau laptop belum terinstal *Java Runtime Environment (JRE)* atau *Java Development Kit (JDK)*.



Gambar 2- 19 Tampilan Utama Aplikasi Arduino IDE

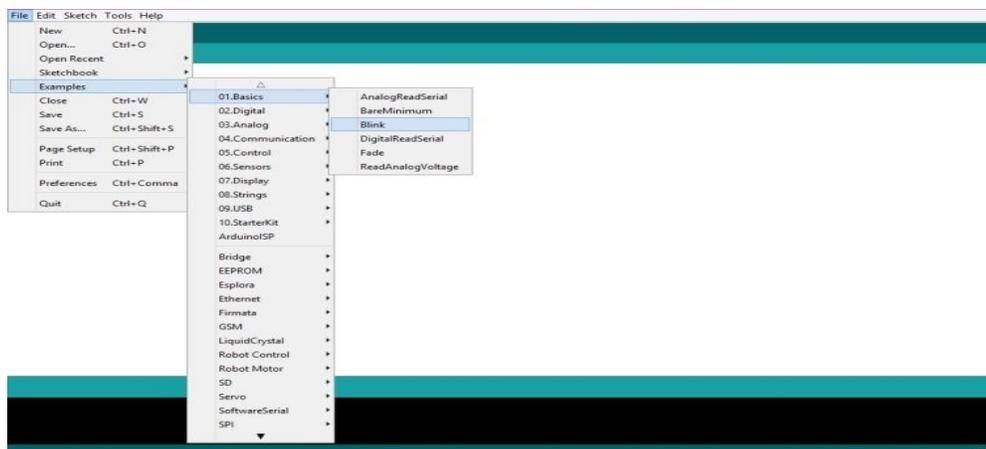
2. Pilih menu *Tools* → *Board*.

Karena *Arduino* yang digunakan dalam *project* tugas akhir adalah *Arduino Mega 2560*, maka pilih board yang bernama “*Arduino Mega or Mega 2560*”.

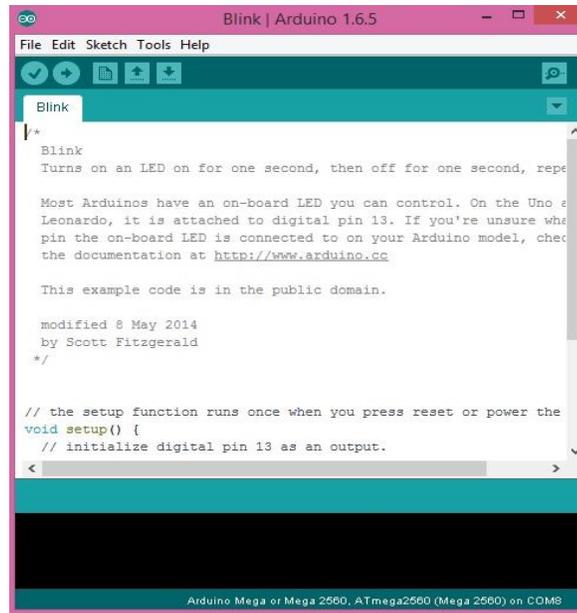


Gambar 2- 20 Memilih Board yang Digunakan

3. Tulis sketch yang dikehendaki atau dapat memilih menu **File** → **Examples** → **Basics**,



Gambar 2- 21 Contoh Program Led Berkedip



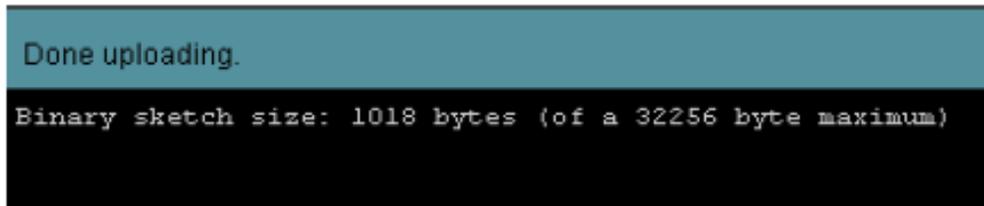
Gambar 2- 22 Sketch Led Berkedip

4. Klik tombol **Upload** pada *toolbar* untuk mengirim *sketch* atau program tersebut pada *Arduino* seperti pada Gambar 2-23.



Gambar 2- 23 Tombol Upload

Jika program benar dan berhasil di-*upload*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2-24.



Gambar 2- 24 Program Berhasil Dikirim

Sebaliknya, jika terjadi kesalahan pada program dan pengiriman data gagal, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2-25.

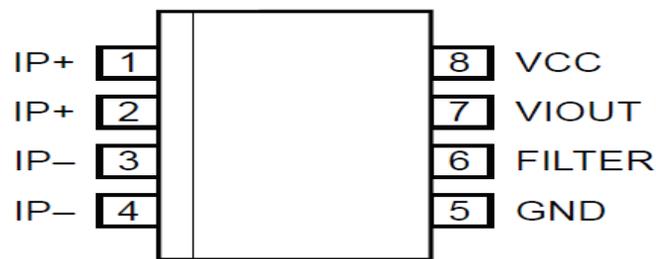


Gambar 2- 25 Program Gagal Dikirim

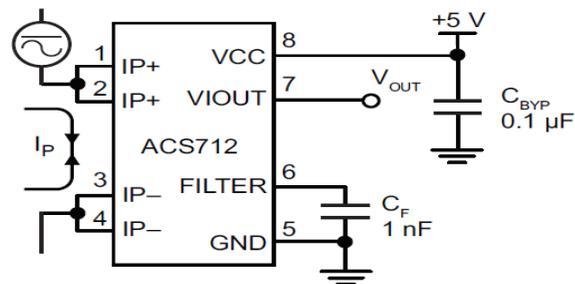
Apabila program gagal dikirim, yang harus dilakukan adalah meneliti kembali program yang ditulis karena kemungkinan ada kesalahan dalam penulisan ataupun prose inisialisasi.

2.2.8.3 Sensor Arus ACS712

ACS712 merupakan seri sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan (*Hall Effect*). Besar medan magnet yang muncul akan dideteksi lalu diproses menjadi tegangan. Tegangan yang dihasilkan sensor adalah tegangan *DC* dan langsung diinputkan ke Arduino Mega 2560. Berikut konfigurasi pin ACS712 ditunjukkan oleh Gambar 2-26, dan Gambar 2-27 merupakan *typical application* ACS712 berdasarkan *datasheet* [24].



Gambar 2- 26 Konfigurasi PIN ACS712 ^[25].



Gambar 2- 27 Typical Application ACS712 ^[25]

Spesifikasi sensor arus ACS712 :

1. Rendah *noise* jalur sinyal analog
2. *Bandwith* perangkatkan diatur melalui pin FILTER baru
3. 5 mikrodetik *output* dalam menanggapi langkah masukan
4. *Bandwith* 80 kHz
5. Total error saat output 1,5% pada $T_a=25^{\circ}\text{C}$
6. Resistansi internal konduktor 1,2 miliOhm
7. Tegangan isolasi minimum 2,1 kVRMS dari pin 1-4 ke pin 5-8
8. Tegangan input 5 V
9. Sensitivitas output 66 sampai 185 mV/A. Artinya setiap sensor merasakan kenaikan tegangan 185 mV/A, maka mengindikasikan arus 1 A.

10. Tegangan output sebanding dengan arus AC maupun DC yang masuk

Layaknya amperemeter pada umumnya, sensor ACS712 juga dipasang secara seri dengan beban. Sensor ini bisa digunakan untuk mengukur arus AC maupun DC. Terdapat keadaan di mana saat tidak ada arus yang melewati ACS712, maka keluaran sensor adalah $(0,5 \times V_{cc})$ sebesar 2,5 V. Saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan $>2,5$ V. Sedangkan ketika arus listrik mengalir terbalik dari IP- ke IP+, maka keluaran akan $<2,5$ V (*Datasheet ACS712*). Aliran arus listrik phase pada beban dilewatkan ke kaki 1, 2 dan kaki 3, 4 tersambung langsung pada beban, arus yang melewati beban akan menciptakan medan magnet (*hall effect*). Besaran medan magnet itulah yang kemudian menginduksi bagian *dynamic offset cancellation* dan setelah itu sinyal tegangan akan dikuatkan dan disaring oleh amplifier dan filter pada ACS712 sebelum dikeluarkan melalui *V out* pada kaki 7. Pada Tabel 2-3 di bawah ini menunjukkan fungsi pin sensor arus ACS712.

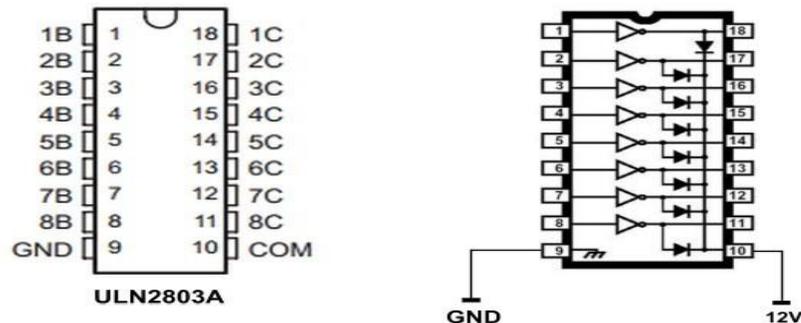
Tabel 2- 3 Fungsi Pin Sensor Arus ACS712.

Pin Sensor	Fungsi
IP +	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekering di dalamnya
IP -	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekering di dalamnya
GND	Terminal sinyal <i>ground</i>
FILTER	Terminal untuk kapasitor eksternal sebagai penentu <i>bandwidth</i>
<i>Vout</i>	<i>Output</i> sinyal analog
Vcc	Terminal sebagai sumber tegangan sensor

2.2.8.4 Driver Relay ULN2803

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

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

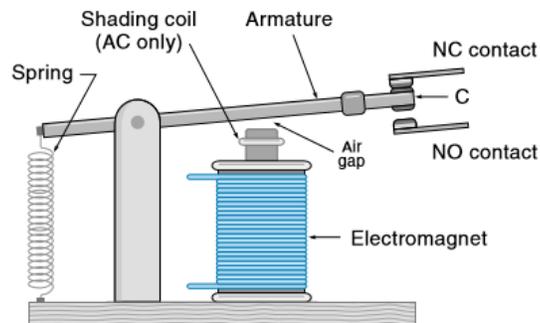


Gambar 2- 28 Pin-out Diagram *ULN2803* ^[26].

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*.

2.2.8.5 Relay 12 VDC

Relay adalah suatu perangkat yang bekerja dengan sistem elektromagnetik yang bekerja dengan menggerakkan beberapa kontaktor atau suatu saklar elektronik yang dapat dikendalikan lewat rangkaian elektronik lain dan dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai energi sumbernya. Kontaktor yang tersusun beberapa akan tertutup (ON) atau terbuka (OFF) dikarenakan efek induksi dari magnet yang dihasilkan oleh kumparan (induktor) saat dialiri arus listrik. Gambar 2-29 menunjukkan bagian-bagian dari sebuah relai.



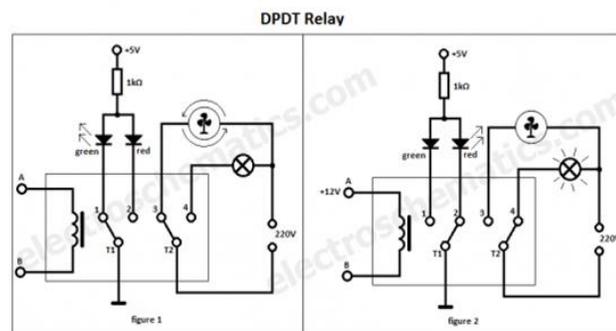
Gambar 2- 29 Bagian-Bagian Dari Relay ^[27]

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

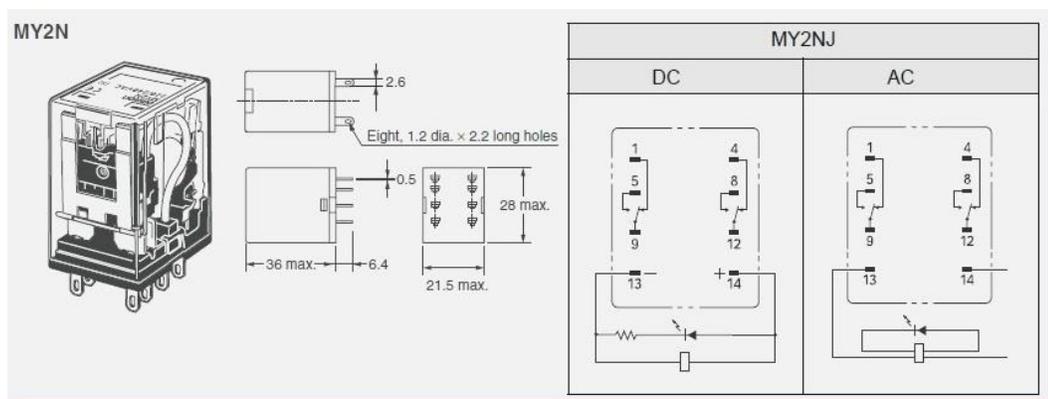
Relay elektromekanik terdiri atas *coil* (kumparan) dan kontak. Cara kerja *relay* yaitu jika *coil* diberikan arus listrik, maka kumparan tersebut akan menjadi elektromagnet yang menarik kontak. Kontak dapat berupa kontak *normally open* (NO)

maupun kontak *normally closed* (NC). Kontak NO berarti kondisi awal *relay* sebelum diaktifkan statusnya terbuka dan jika diberi *input* maka kontak akan menutup, sedangkan kontak NC berarti kondisi awal *relay* sebelum diaktifkan berstatus tertutup. [27]

Dalam rancangan alat Tugas Akhir yang dibuat, digunakan relay jenis *double pole double throw* (DPDT). Dalam hal ini, relai memiliki satu *coil* yang apabila ia diberi arus DC ia akan menginduksi kumparan dan akan menggerakkan 2 kontak secara bersamaan. Digunakannya relai tersebut bertujuan agar dapat menggerakkan dua beban sekaligus.



Gambar 2- 30 Bagian- Bagian Dari Relai DPDT [28]



Gambar 2- 31 Bagian-bagian dari relai Omron MY2N [28]

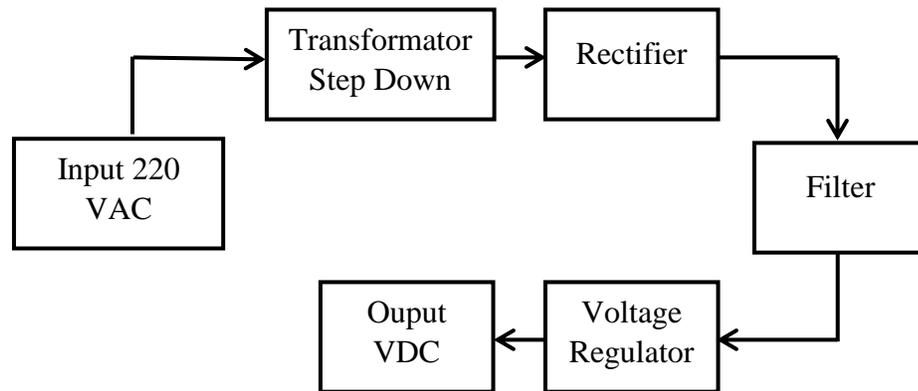
Pada tugas akhir ini penulis menggunakan relai merk Omron type MY2N sebagai simulasi *switch* untuk menggambarkan prinsip kerja PMT dan PMS .

Berikut adalah spesifikasi dari relay MY2N dari Omron:

- Double Pole Models
- 8 Pins; 2NO + 2NC
- I_{max} 10A; V_{max} : AC250V/DC125V
- Pilihan teg koil AC : 6/12/24/50/110/220 V
- Pilihan teg koil DC : 6/12/24/48/110 V
- Contact resistance 100 ms max.
- Operate time 20 ms max.
- Release time 20 ms max.
- Max. operating frequency Mechanical: 18,000 operations/hr
- Dimension : H28 W21,5 D36mm [28]

2.2.8.6 Catu Daya

Catu Daya disebut juga Power Supply merupakan perangkat yang digunakan sebagai penyedia tegangan atau sumber daya untuk perangkat lain. Dalam hal ini perangkat lain tersebut merupakan komponen-komponen elektronika yang membutuhkan arus DC dengan tegangan rendah untuk pengoperasiannya. Pada intinya semua rangkaian catu daya memiliki fungsi yang sama yaitu mengubah arus AC menjadi arus DC. Sehingga catu daya merupakan salah satu rangkaian terpenting dalam pembuatan suatu alat kerja elektronika. Dibawah ini menunjukkan diagram blok catu daya :

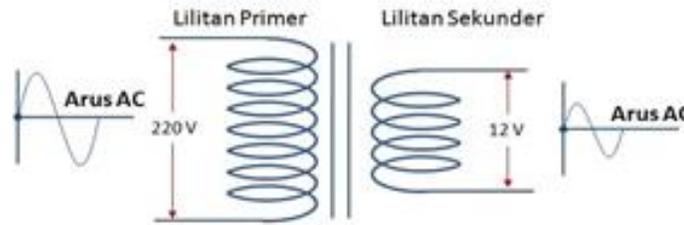


Gambar 2- 32 Gambar Diagram Blok Catu Daya

Berikut ini adalah penjelasan singkat tentang prinsip kerja catu daya pada masing-masing blok :

1. Transformator Step Down

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator yang digunakan untuk catu daya 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*). Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang terdiri dari 2 bagian utama yang berbentuk lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder. Lilitan primer merupakan *input* dari pada transformator sedangkan *output*-nya adalah pada lilitan sekunder. Meskipun tegangan telah diturunkan, *Output* dari transformator masih berbentuk arus bolak-balik (arus AC) yang harus diproses selanjutnya. Jadi dalam transformator, tegangan AC dari PLN yaitu 220 V AC diturunkan menjadi 12V AC.



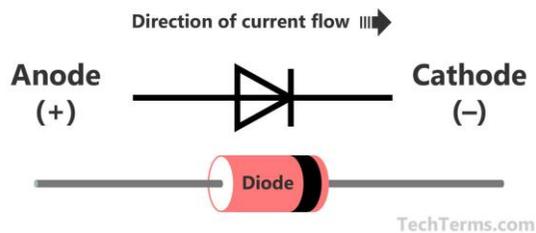
Gambar 2- 33 Rangkaian Transformer Step Down ^[29].



Gambar 2- 34 Transformator *Step Down* 5A

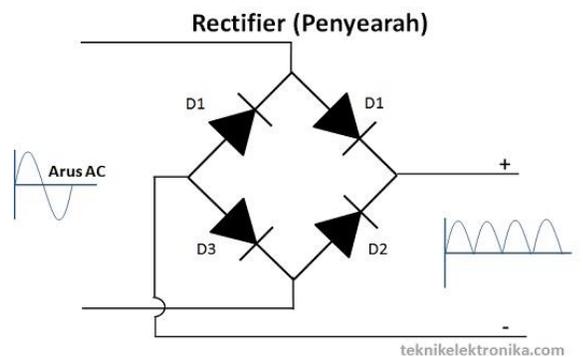
2. *Rectifier*

Rectifier atau penyearah merupakan suatu rangkaian dalam catu daya yang berfungsi menyearahkan tegangan AC dari transformator *step down* menjadi tegangan DC. Komponen pada rangkaian penyearah adalah dioda. Dioda merupakan komponen pertemuan (*junction*) antara semikonduktor tipe *p* dan tipe *n*. Gambar 2-34 merupakan struktur dari dioda.



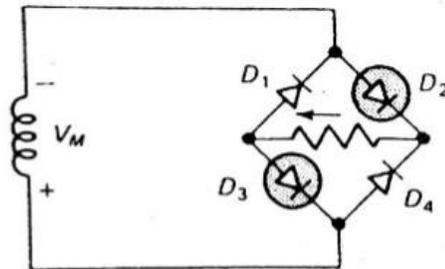
Gambar 2- 35 Struktur Dioda ^[29]

Dioda semikonduktor hanya dapat melewatkan arus pada satu arah saja, yaitu ketika dioda memperoleh catu arah maju (*forward bias*). Dalam kondisi ini dikatakan dioda dalam keadaan konduksi/menghantar dengan tahanan dalam yang relatif kecil. Sebaliknya jika dioda diberi *reverse bias*, maka arus akan sulit mengalir disebabkan tahanan dalam dioda yang besar. Penyearah yang digunakan terdiri dari dioda *bridge*, yaitu empat buah dioda yang dirangkai membentuk sebuah jembatan. Dioda *bridge* digunakan sebagai penyearah arus bolak-balik satu gelombang penuh, sehingga dihasilkan tegangan searah dengan lebih sedikit *noise* yang ditunjukkan Gambar 2-36.

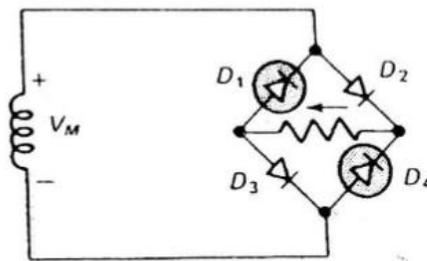


Gambar 2- 36 Penyearah Gelombang (Rectifier)

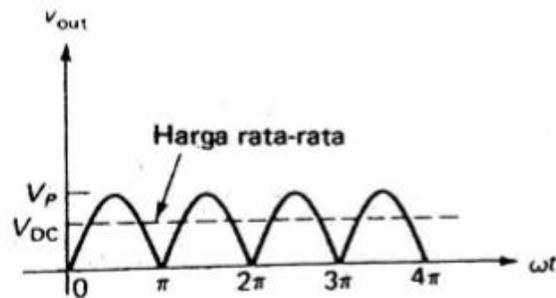
Prinsip kerja penyearah jembatan yakni selama setengah siklus positif tegangan sekunder trafo, dioda D2 dan D3 akan *dibias forward* sedangkan dioda D1 dan D4 *bias reverse*, oleh sebab itu arus beban ke arah kiri. Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2-37 berikut :



Gambar 2- 37 Penyearah Jembatan Setengah Siklus Positif^[5]
 Kemudian selama setengah siklus negatif, dioda D1 dan D4 akan dibias *forward*, sehingga arus beban akan ke arah kiri. Proses ini ditunjukkan dalam gambar 2-38.



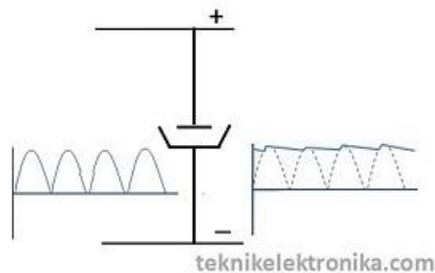
Gambar 2- 38 Penyearah Jembatan Setengah Siklus Negatif^[5]



Gambar 2- 39 Sinyal Gelombang Penuh^[5]
 Dapat terlihat bahwa kedua siklus ini mempunyai arah arus yang sama, sehingga tegangan beban adalah sinyal gelombang penuh seperti ditunjukkan pada gambar 2-39.

3. *Filter*

Filter atau penyaring pada rangkaian catu daya berupa komponen kapasitor, yang merupakan komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Kapasitor berfungsi untuk meratakan sinyal arus yang keluar dari *rectifier* atau penyearah. Seperti yang kita ketahui, tegangan *DC* yang dihasilkan oleh *rectifier* masih memiliki *ripple* yang sangat besar. Untuk mendapatkan tegangan *DC* yang rata (*low ripple*), maka diperlukan kapasitor sebagai *filter*, sehingga tegangan yang dihasilkan memiliki *ripple* yang sangat kecil mendekati *DC* murni.



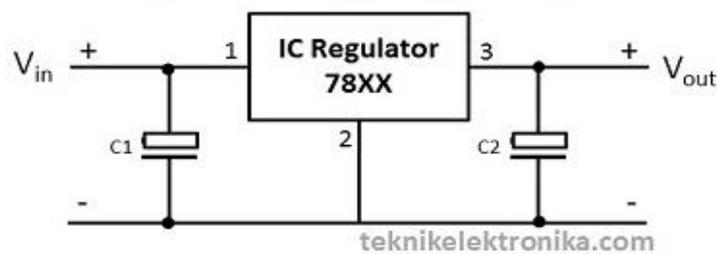
Gambar 2- 40 Penyaring (Filter) ^[29]

4. *Voltage Regulator*

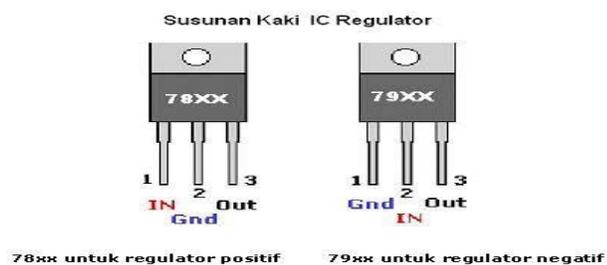
Regulator Tegangan diperlukan untuk menstabilkan tegangan yang sudah disearahkan. Ketidakstabilan suatu sumber daya bisa disebabkan oleh perubahan jaringan AC dari PLN atau dipengaruhi perubahan beban. Regulator tegangan ini mampu mengatasi kedua jenis perubahan tersebut. Biasanya rangkaian regulator tegangan sudah dikemas dalam bentuk rangkaian yang terintegrasi (*IC*). Tergantung pula dari kebutuhan akan sumber daya, maka regulator tegangan dapat dibuat tetap atau

dibuat bervariasi. Regulator tegangan dengan keluaran bervariasi berarti tegangan yang dihasilkan dapat diatur dengan *range* tertentu.

Regulator tegangan yang sekarang banyak digunakan adalah dalam bentuk *IC*. *IC regulator* tegangan tetap memiliki seri 78XX untuk tegangan positif dan seri 79XX untuk tegangan negatif. Besar tegangan *output* IC seri 78XX dan 79XX ini dinyatakan pada dua angka terakhir serinya. Contoh *IC* 7812 adalah regulator tegangan positif dengan tegangan *output* 12 V, sedangkan *IC* 7912 adalah regulator tegangan negatif dengan tegangan *output* -12 V.



Gambar 2- 41 Penstabil Tegangan ^[29]



Gambar 2- 42 Ic Regulator 2805 dan 7905 ^[29]

Tabel 2-40 berikut ini menunjukkan beberapa tipe regulator beserta batasan tegangannya.

Tabel 2- 4 Tegangan Input IC L7805 dan IC L7812

Tipe Regulator	Vin min	Vin maks	Vout
7805	8 V	20 V	5 V
7808	11,5 V	23 V	8 V
7812	15,5 V	27 V	12 V
7824	28 V	38 V	24 V

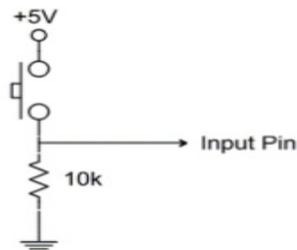
Batasan nilai tegangan masukan IC regulator yang terdapat dalam tabel adalah nilai DC, bukan tegangan sekunder dari trafo. Berdasarkan tabel 2-4 diatas, diambil kesimpulan bahwa nilai tegangan *output* akan tetap konstan meskipun tegangan *input* bervariasi, namun dalam *range* tertentu.

2.2.8.7 Rangkaian Pull Down

Rangkaian pull down digunakan untuk mengatasi *floating* pada kondisi *low*. Pada rangkaian diatas saat *switch button* ditekan pin input akan membaca *high* dan pin input akan membaca *low* saat *switch button* dilepas sehingga mikrokontroler dapat membaca kondisi *high* maupun kondisi *low*. Pada rangkaian *pull down* ini menggunakan resistor sebesar 10 Kohm. Dalam bidang pemrograman mikrokontroler, dikenal juga beberapa istilah seperti:

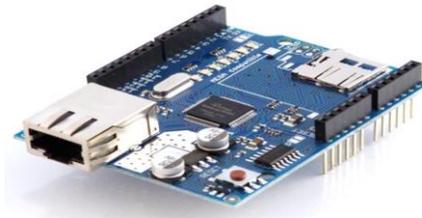
1. *Active high* : suatu kondisi dimana suatu pin akan aktif jika diberi tegangan 5V atau logika 1 (*high*).
2. *Active low* : suatu kondisi dimana suatu pin akan aktif jika diberi 0V (*GND*) atau logika 0 (*low*).

3. *Falling edge* : merupakan transisi dari nilai logika 1(*high*) menjadi nilai logika 0 (*low*).
4. *Rising edge* : sebaliknya rising edge merupakan perubahan dari logika 0 (*low*) ke logika 1 (*high*).



Gambar 2- 43 Rangkaian *Pull Down* ^[30]

2.2.8.8 *Ethernet Shield*



Gambar 2- 44 *Ethernet Shield* ^[31]
(Sumber: *Datasheet Ethernet Shield*)

Ethernet shield berbasiskan *chip* ethernet *Wiznet W5100*. *Ethernet library* digunakan dalam menulis program, agar arduino board dapat terhubung ke jaringan dengan menggunakan *ethernet shield*. Pada *ethernet shield* terdapat sebuah slot *micro-SD*, yang dapat digunakan untuk menyimpan file yang dapat diakses melalui jaringan. Onboard *micro-SD* card reader diakses dengan menggunakan *SDlibrary*. Arduino

board berkomunikasi dengan *W5100* dan *SD card* menggunakan bus *SPI (Serial Peripheral Interface)*. Komunikasi ini diatur oleh library *SPI.h* dan *Ethernet.h*.

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

Jika kita menggunakan kedua perangkat dalam program, hal ini akan diatasi oleh *library* yang sesuai. Jika kita tidak menggunakan salah satu perangkat dalam program, kiranya kita perlu secara eksplisit mendeselect-nya. Untuk melakukan hal ini pada *SD card*, set pin 4 sebagai output dan menuliskan logika tinggi padanya, sedangkan untuk *W5100* yang digunakan adalah pin 10.

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

2.2.8.9 VT Scada

VTScada merupakan *software* SCADA yang diproduksi oleh Trihedral Engineering yang memiliki awalnya bernama WEB. WEB sistem operasi yang berbasis HMI memiliki bahasa *scripting* untuk *tags*, *page*, dan yang berhubungan dengan SCADA dibuat melalui penulisan kode. Kemudian pada tahun 1995, WEB berganti nama menjadi VTS (Visual Tag System) karena program tersebut mengalami perkembangan dalam hal GUI (*Graphic User Interface*) yang membuat lebih mudah dalam penggunaan aplikasi SCADA. Pada tahun 2001, nama VTScada ditambahkan untuk aplikasi SCADA dalam hal pengolahan air dan limbah. VTScada didesain secara detail dalam komunikasi sistem telemetri, dan juga mengalami penambahan fitur yang lebih bermanfaat. Pada awal tahun 2014, Trihedral Engineering mengeluarkan versi 11, dan produk VTS dan VTScada digabung menjadi satu produk yang sekarang dikenal dengan nama VTScada.

Untuk menginstal *software* VTScada diperlukan hardware PC (*Personal Computer*) yang memiliki spesifikasi berikut [32]:

VTScada 11.2 digunakan sebagai *server* dari *workstation* :

- 32 atau 64-bit sistem operasi *Windows*
- 2 Ghz prosesor *dual-core*
- Membutuhkan penyimpanan *file* 20 GB
- Memiliki RAM 8 GB atau lebih

Sedangkan untuk laptop, tablet PC, dan panel PC bukan sebagai server dari *workstation* [32]:

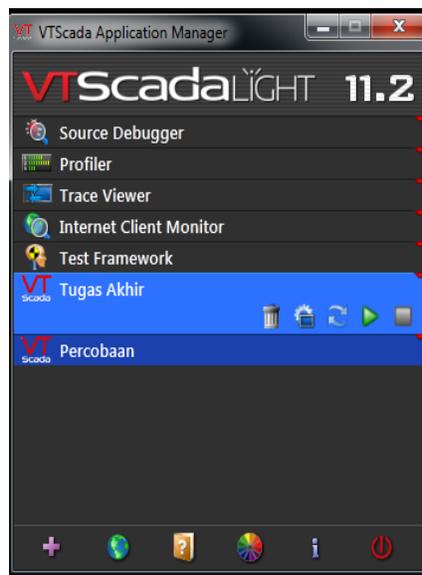
- 32 atau 64-bit sistem operasi *Windows*
- 2 Ghz prosesor *dual-core*
- Membutuhkan penyimpanan *file* 20 GB
- Memiliki RAM 4 GB atau lebih

Dalam menggunakan *software* VTScada terdapat komponen komponen yang biasa digunakan yaitu :

- VTScada Application Manager

Pada gambar 2-46, terdapat tampilan VAM atau VTScada Application Manager merupakan halaman pertama yang akan tampil pada saat membuka *software* VTScada.

Pada VAM ini terdapat VTScada Tools dan Application Tools.



Gambar 2- 45 Tampilan VTScada Application Manager

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

Software ini memiliki bermacam-macam widget yang bisa membuat tampilan HMI menjadi lebih menarik dan terkesan tidak monoton. Sehingga, *VTScada* bisa dengan mudah untuk digunakan dalam pengembangan aplikasi dan bahasa pemrograman yang bagus. Dengan ini kita bisa mengoperasikan peralatan dengan mudah seperti konfigurasi alarm, mendapatkan data laporan, dan data statistik. Dalam pembuatan program *VTScada* ini, penulis dapat membuat tag untuk peralatan, karena teresedia banyak alamat I/O, *alarm*, *data logger*.

2.2.8.10 Data Logger VTScada

Logging data (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.

Data logger (perekam data) adalah sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen didalamnya maupun eksternal sensor dan instrumen. Atau secara singkat data logger adalah alat untuk melakukan data *logging*.

Beberapa *data logger* diantarmukakan dengan komputer dan menggunakan *software* untuk mengaktifkan *data logger* dan melihat dan menganalisa data yang terkumpul, sementara yang lain memiliki peralatan antarmuka sendiri (*keypad* dan *LCD*) dan dapat digunakan sebagai perangkat yang berdiri sendiri (*Stand-alone device*). Dan *data logger* dalam alat ini digunakan untuk mengukur data besarnya arus menggunakan *software Historical Data Viewer* yang terdapat pada program VTScada.

Salah satu keuntungan menggunakan *data logger* pada VTScada adalah kemampuannya secara otomatis mengumpulkan data secara *real time* dan dapat mengakses data pada waktu yang lalu. Selain itu dapat ditampilkan pula data grafik dari hasil pembacaan. Setelah diaktifkan, *data logger* digunakan dan ditinggalkan untuk mengukur dan merekam informasi selama periode pemantauan terjadi. ^[33]