

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penyusun melakukan telaah terhadap beberapa referensi yang ada, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang penyusun lakukan.

Tugas Akhir Prototype Indikator Penurunan Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Pada *Ground Fault Relay* Menggunakan *Human Machine Interface* Berbasis Arduino Mega 2560 ^[1] membahas tentang perhitungan arus hubung singkat satu fasa pada jaringan 20 KV dimana gangguan disimulasikan pada simulator menggunakan arus ac dengan Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali. Alat ini dapat menampilkan letak gangguan berada pada tiang nomor berapa dari sumber. Namun alat ini belum dilengkapi dengan koordinasi proteksi jaringan tegangan menengah 20 KV sehingga tidak dapat dilakukan eksekusi pada gangguan tersebut.

Tugas Akhir Implementasi Scada Untuk *Monitoring* Koordinasi PMT Dengan *Recloser* Sebagai Proteksi Pada Jaringan 3 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560 ^[2] membahas tentang *monitoring* perubahan arus yang terjadi pada PMT *outgoing* dan *recloser* menggunakan VT SCADA sehingga VT SCADA akan menampilkan besaran arus yang ada pada PMT *outgoing* maupun *recloser* dan mengontrol *Relay* proteksi untuk penormalan jaringan pada saat gangguan telah hilang, namun pada tugas akhir ini belum disertai dengan data perubahan nilai

arus dalam waktu tertentu data logger yang berfungsi untuk mempermudah analisa gangguan.

Tugas Akhir Koordinasi PMT PLR 09 dan *Recloser* PLR 19-81 Pada Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Menengah 20 KV di Wilayah Kerja PT.PLN (Persero) Rayon Palur ^[3] membahas tentang bagaimana penyetingan yang baik antar *recloser* dan PMT di jaringan PLR 09 akan terjadi koordinasi yang baik. Penyetingan berdasarkan dari perhitungan arus hubung singkat yang didapat dari perhitungan pada pembahasan tugas akhir tersebut. Namun dikarenakan tugas akhir berbentuk analisis sehingga belum ada simulasi secara alat yang dibuat untuk mempermudah penjelasan materi dari tugas akhir tersebut.

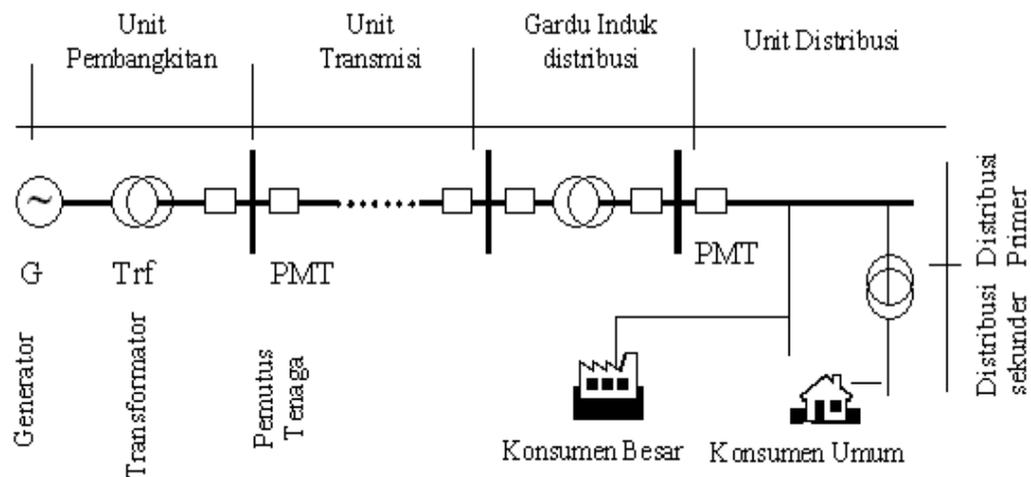
Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penyusun dengan referensi-referensi diatas adalah penyusun akan menghitung jarak gangguan dari sumber (PMT *outgoing*) serta dari peralatan proteksi terdekat (*reclose* atau SSO). Sehingga akan diketahui gangguan tersebut masuk kedalam zona kerja peralatan proteksi yang mana. Koordinasi proteksi yang akan dicoba untuk disimulasikan akan lebih bervariasi dan kompleks. Arus gangguan dan jarak gangguan akan ditampilkan pada HMI dengan menggunakan aplikasi VT SCADA.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan

transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR). Untuk mempermudah penjelasan dari aliran tenaga listrik dapat melihat gambar 2.1 tentang Proses Distribusi Tenaga Listrik.



Gambar 2. 1 Proses Distribusi Tenaga Listrik^[15]

2.2.2 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Saluran udara tegangan menengah maupun tegangan rendah dengan kawat terbuka (SUTM dan SUTR telanjang) merupakan saluran yang paling rawan terhadap gangguan eksternal, yaitu gangguan yang diakibatkan dari luar sistem itu sendiri.

Gangguan pada sistem distribusi dibedakan menjadi dua berdasarkan sifatnya, yaitu gangguan temporer dan permanen.

1.2.2.1 Gangguan Temporer

Gangguan temporer merupakan gangguan sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (*autorecloser*) maupun secara manual oleh operator. Gangguan ini terjadi pada kawat penghantar yang tidak berisolasi, gangguannya bersifat sementara jadi setelah gangguan itu hilang peralatan bisa bekerja kembali. Biasanya disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:

- Bersentuhannya antar kabel penghantar, angin kencang juga bisa menyebabkan kabel penghantar bersentuhan biasanya akibat andongan yang tarikannya kurang kuat atau sudah kendor
- Bisa juga terjadi pada daerah yang banyak pepohonan, biasanya jika terjadi angin kencang ranting pohon yang bergerak dapat bersentuhan dengan kabel penghantar yang menyebabkan hubung singkat antara fasa dengan tanah. ^[4]

2.2.2.2 Gangguan Permanen

Gangguan permanen merupakan gangguan yang tidak dapat hilang dengan sendirinya dan butuh penanganan dari petugas untuk menangani penyebab gangguan tersebut. Contoh- contoh gangguan yang dikategorikan sebagai gangguan permanen adalah seperti kawat putus, gangguan kerana isolator bocor, kegagalan Lightning Arrester dan lain-lain . Pada gangguan permanen peralatan baru bisa dioperasikan kembali apabila bagian yang rusak atau peralatan yang terganggu sudah diperbaiki maupun sudah diganti

2.2.3 Arus Gangguan Hubung Singkat Sistem Distribusi

Hampir pada setiap gangguan hubung singkat baik 3 fasa, 2 fasa ataupun 1 fasa ketanah tetap melalui suatu nilai tahanan gangguan yang terbentuk oleh arching (R arc) ataupun oleh tahanan kontak (dahan pohon). Tetapi dalam analisa hubung singkat perhitungan arus gangguan hubung singkat selalu dianggap bahwa tahanan gangguan = 0 (nol).

Arus gangguan hubung singkat dihitung dengan menggunakan rumus Hukum Ohm yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada Impedansi Z (A)

V = Tegangan sumber (Volt)

Z = Impedansi jaringan yaitu nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan mulai dari sumber tegangan sampai ke titik gangguan (Ohm)

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan nilai impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasinya didalam sistem maka besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus diatas.

Lebih lanjut lagi, arus gangguan yang mengalir pada tiap komponen jaringan juga dapat dihitung dengan bantuan rumus tersebut diatas. Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan hubung singkat itu sendiri, seperti ditunjukkan berikut ini :

Z untuk gangguan 3 phasa $Z = Z_1 \dots \dots \dots (2.2)$

Z untuk gangguan 2 phasa $Z = Z_1 + Z_2 \dots \dots \dots (2.3)$

Z untuk gangguan 1 phasa ke tanah $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots \dots (2.4)$

Dimana :

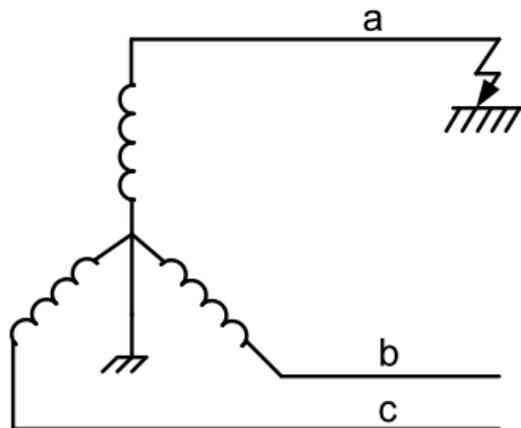
Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

Z_0 = Impedansi urutan nol

2.2.3.1 Arus Hubung Singkat Satu Fasa

Perhatikan gambar 2.2 tentang Penghantar A terhubung singkat ini :



Gambar 2. 2 Penghantar phasa A terhubung singkat^[16]

Arus di phasa A semuanya searah sehingga masing-masing urutan dapat dihitung dengan rumus :

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (2.5)$$

Sedangkan I 1 phasa = $I_0 + I_1 + I_2$, sehingga :

$$I_{hs\ 1\ phasa} = \frac{3 \times E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\ phasa} = \frac{3 \times E_a}{impedansi} \dots \dots \dots (2.6)$$

1.2.3.2 Perhitungan Arus Gangguan

Perhitungan arus gangguan dilakukan untuk mengetahui besar arus gangguan pada sistem tenaga listrik tersebut yang dimana arus gangguan tersebut akan digunakan untuk merancang sistem proteksi kelak agar dapat melindungi sistem tenaga listrik yang ada. Serta dapat digunakan untuk bahan menganalisa kejadian apabila terjadi gangguan pada sistem kelak.

Untuk mencari Arus Gangguan hubung singkat perlu diketahui nilai impedansi yang dapat diketahui dari data-data yang ada. Pada tugas akhir yang penyusun buat akan mengacu pada Trafo I pada Gardu Induk Sronдол dengan penyulang SRL 01 sebagai acuan penyulang. Gambar 2.3 adalah data dari Penyulang SRL 01 yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan jarak dari alat simulasi yang akan penyusun buat kali ini.

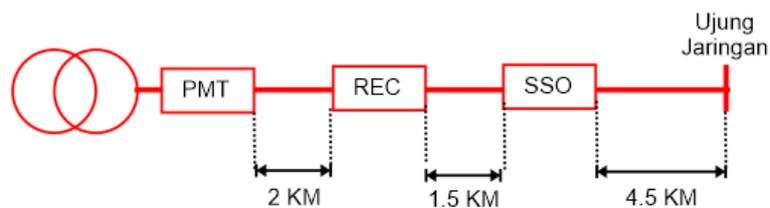
GARDU INDUK :	SRONDOL
TRAFO	1 - 60 MVA
PENYULANG	SRL 01
MVA Short Circuit di Bus 150 kV	5677.38 MVA
Reaktansi Sumber =	(0 + j 0.07046) Ohm
TRAFO TENAGA	

Kapasitas Trafo	60 MVA
Impedansi Trafo	12.00 % = 0.8 Ohm
Volt Primer	150 kV
Volt Sekunder	20 kV
Belitan Delta	Ynyn Xo = 0.8 Ohm
Kapasitas Delta	0 MVA
I Nominal 20 kV	1732 Amper
Ratio C.T (20 kV)	1000 1
Pentanahan 20 kV	0.2 Ohm
R fault OCR	0 Ohm
R Fault GFR	52 Ohm

Gambar 2. 3 Data Trafo I GI Spondol

(sumber : PT. PLN (Persero) APD Jateng dan DIY)

Pada SRL 01 memiliki panjang penyulang 8 km dengan jarak *recloser* dengan pmt *outgoing* 2 km dan jarak SSO dari *recloser* 1.5 km. Gambar 2.4 tentang Jarak antar peralatan proteksi akan memperjelas dari gambaran letak peralatan proteksi pada penyulang SRL 01



Gambar 2. 4 Jarak antar peralatan proteksi

2.2.3.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots \dots \dots (2.7)$$

Pada impedansi sumber ini masih menggunakan nilai ohm pada sisi 150 KV, karena arus gangguan terjadi pada sisi 20 KV maka impedansi sumber ini harus dikonversikan terlebih dahulu kedalam sisi 20 KV. Untuk mengkonversikan impedansi ke sisi 20 KV adalah dengan

$$X_s(20kV) = \frac{kV^2}{MVA} \times X_s(150kV) \dots \dots \dots (2.8)$$

2.2.3.2.2 Perhitungan Reaktansi Trafo

Nilai reaktansi trafo tenaga :

$$X_t(100\%) = \frac{kV^2}{MVA(\text{Trafo})} \dots \dots \dots (2.9)$$

- a. Reaktansi urutan Positif, Negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

Reaktansi urutan positif tercantum pada papan nama (*nameplate*) pada Trafo, besarnya tergantung dari kapasitas trafo tenaga sendiri :

$$X_{t1} = X_{t1} \% \times X_{t1}(\text{ohm}) \dots \dots \dots (2.10)$$

- b. Reaktansi urutan Nol (X_{t0})

Reaktansi urutan nol di dapat berdasarkan belitan trafo yang digunakan. Hal ini juga tertulis di papan nama (*nameplate*) trafo yang digunakan.

1. Trafo tenaga dengan hubungan belitan Dyn, dimana kapasitas belitan Delta (D) sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.
2. Trafo tenaga dengan hubungan belitan Ydyn. Dimana kapasitas belitan Delta (D) sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada didalam trafo tenaga,

tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan).

Maka nilai $X_{i0} = 3 \times X_{t1}$.

3. Trafo tenaga dengan hubungan belitan **Yyn** dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka besarnya $X_{i0} = (9 \text{ s/d } 14) \times X_{t1}$.^[4]

2.2.3.2.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Pada jaringan distribusi impedansi dihitung per jarak dengan satuan kilometer (ohm/km) yang besarnya berdasarkan luas penampang kabel yang dipakai pada jaringan tersebut.

$$Z = R + jX \quad \Omega/\text{km} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang dapat disimulasikan berdasarkan panjangnya jarak. Untuk mengetahui nilai dari impedansi dari penghantar, Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 akan menjelaskan besar tahanan resistif dan reaktansi pada penghantar AAC dan AAAC

Tabel 2. 1 Tahanan (R) dan Reaktansi (XL) Penghantar AAC
Tegangan 20 KV^[6]

Luas Penampang mm ²	Jari ² Mm	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
16	2,2563	7	1,6380	1,8382 + j 0,4035	1,9862 + j 1,6910
25	2,8203	7	2,0475	1,1755 + j 0,3895	1,3245 + j 1,6770

Lanjutan tabel 2.1

Luas Penampang mm ²	Jari ² Mm	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
35	3,3371	7	2,4227	0,8403 + j 0,3791	0,9883 + j 1,6666
50	3,9886	7	2,8957	0,5882 + j 0,3677	0,7362 + j 1,6552
70	4,7193	7	3,4262	0,4202 + j 0,3572	0,5682 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3464	0,4576 + j 1,6339
120	6,1791	19	4,6837	0,2451 + j 0,3375	0,3931 + j 1,6250
150	6,9084	19	5,2365	0,1961 + j 0,3305	0,3441 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1590 + j 0,3239	0,3070 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1225 + j 0,3157	0,2705 + j 1,6032

Tabel 2. 2 Tahanan (R) Dan Reaktansi (XL) Penghantar AAAC
Tegangan 20 KV^[6]

Luas Penampang (mm ²)	Jari ² mm	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911

Lanjutan Tabel 2.2

Luas Penampang (mm ²)	Jari ² mm	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

2.2.3.2.4 Perhitungan Impedansi Ekivalen Jaringan

Perhitungan Impedansi ekivalen adalah perhitungan impedansi positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}), dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber. Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} langsung dapat menjumlahkan impedansi-impedansi

yang ada, sedangkan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke Transformator tenaga yang netralnya ditanahkan.

Impedansi Equivalen Positif dan Negatif di *Outgoing* 20 KV

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sumber} + Z_{trafo} + Z_{distribusi} \dots \dots \dots (2.12)$$

Impedansi Equivalen Netral di *Outgoing* 20 KV

$$Z_{0eq} = Z_{OT} + 3R_N + 3R_{fault} + Z_{0penyulang} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.2.3.2.5 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi ekuivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekuivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bisa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, atau 1 fasa.

Untuk gangguan hubung singkat satu fasa menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 I_{hs\ 1\ phasa} &= \frac{3E_{phasa - netral}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_{fault}} \\
 &= \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{\sqrt{[(2 \times jrk \times R_{z1}) + (3 \times R_{fault}) + (3 \times R_N) + (jrk \times R_{z0})]^2 + \\
 &\quad \sqrt{[(2 \times X_s) + (2 \times X_{t1}) + X_{t0} + (2 \times jrk \times X_{z1}) + (jrk \times X_{z0})]^2}} \dots \dots \dots (2.14)
 \end{aligned}$$

Dari rumus perhitungan arus gangguan hubungan singkat didapat tabel 2.3 tentang arus gangguan hubung singkat

Tabel 2. 3 Arus Gangguan Hubung Singkat

Persentase	Jarak	Arus Hubung Singkat
	8	1 phasa
	KM	
0%	0	13268.358
5%	0.4	9772.184
10%	0.8	7733.800
15%	1.2	6398.880
20%	1.6	5456.904
25%	2	4756.648
30%	2.4	4215.659
35%	2.8	3785.152
40%	3.2	3434.421
45%	3.5	3211.254
50%	4	2897.458
55%	4.4	2687.373
60%	4.8	2505.693
65%	5.2	2347.022
70%	5.6	2207.249
75%	6	2083.188
80%	6.4	1972.331
85%	6.8	1872.676
90%	7.2	1782.606
95%	7.6	1700.804
100%	8	1626.179

Penyulang SRL01 menggunakan jenis kabel penghantar AAC dengan luas penampang 150 mm² dan kabel AAAC dengan luas penampang 240 mm² dengan data tahanan dari tabel 2.2 dan tabel 2.3 serta data penyulang SRL01 pada gambar 2.3 penyusun akan mencari jarak dari rumus gangguan hubung singkat pada persamaan 2.8 dengan menggunakan sifat distributif sehingga dengan data arus hubung singkat yang telah diketahui maka akan didapat persamaan 2.15 dimana

digunakan untuk menghitung jarak berdasarkan besar arus gangguan hubung singkat.

$$jarak = \frac{\frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{I_{hs \text{ satu fasa}}} - 2.50549}{2.400625} \dots \dots \dots (2.15)$$

Berdasarkan arus gangguan yang diketahui dalam table 2.3 maka didapat setting untuk peralatan proteksi pada penyulang SRL01. Gambar 2.5 adalah setting pada PMT Outgoing pada SRL01

OUTGOING EXISTING								
Relay O.C/ G.F di Out Going 20 KY								
Arus Beban (A)	C.T Ratio	Karakteristik Relay						
		Inverse						
		I >	t set	tms	I >>	t >>		
600 1		0.80	0.5	0.25	5.3	0.3	12.4	Inst
		480			3198		7448	
		0.33	0.6	0.35	4.3	0.3	7.9	Inst
		198			2580		4750	

Gambar 2. 5 Setting PMT *Outgoing* pada SRL01

(sumber : PT. PLN (Persero) APD Jateng dan DIY)

Sedangkan gambar 2.6 adalah setting recloser pada SRL 01

Relay O.C/ G.F di Recloser I Pengulang 20 KY								
Arus Beban (A)	C.T Ratio	Karakteristik Relay					Curva	
		Inverse						
		I >	t set	Tz	I >>	t >>		
315	1000 1	0.38	0.22	0.10	3.00	Inst	OCR	IEC SI
		378			3000			
		0.15	0.3	0.15	1.6	Inst	GFR	IEC SI
		149			1618			

Gambar 2. 6 Setting *Recloser* pada SRL01

(sumber : PT. PLN (Persero) APD Jateng dan DIY)

2.2.4 Proteksi Distribusi

Proteksi distribusi merupakan perlindungan yang terpasang di sistem distribusi tenaga listrik, bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan dan peralatannya serta untuk keselamatan umum. ^[4]

Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi. ^[7]

Proteksi Sistem Tenaga Listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri.

Sistem proteksi sangat penting peranannya dalam upaya untuk meningkatkan pelayanan listrik ke konsumen. Dengan sistem proteksi yang baik, maka kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan juga lebih baik. Sistem distribusi tenaga listrik memiliki keamanan dalam mengatasi gangguan, sehingga saat terjadi gangguan tidak membahayakan lingkungan di sekitar jaringan tersebut. Selain itu juga kontinuitas pelayanan energi listrik terus terjaga di wilayah yang jauh dari gangguan tersebut

2.2.4.1 Tujuan Peralatan Proteksi

Peralatan proteksi dipasang untuk menjalankan fungsi dan tujuan untuk keamanan pelayanan distribusi tenaga listrik kepada pelanggan. Ada beberapa penjelasan mengenai tujuan dari pemasangan peralatan proteksi distribusi, yaitu:

- a. Untuk meminimalisir kerusakan peralatan akibat adanya gangguan, terutama peralatan yang penting dalam penyaluran tenaga listrik. Hal itu disebabkan peralatan seperti trafo, dan PMT sangat vital dalam distribusi tenaga listrik, sehingga proteksi peralatan tersebut juga saling berkoordinasi.
- b. Untuk meminimalisir daerah gangguan padam, sehingga peralatan lain yang jauh dari daerah gangguan dibebaskan dari gangguan tersebut.
- c. Untuk memberikan pelayanan listrik yang handal, aman, dan memiliki mutu yang baik kepada konsumen.
- d. Untuk memberikan keamanan bagi manusia, makhluk hidup, atau benda lain yang berada di sekitar peralatan listrik. ^[3]

2.2.4.2 Syarat Sistem Proteksi

Sistem proteksi harus memiliki syarat dalam menjalankan fungsinya sebagai pengaman peralatan distribusi tenaga listrik. Syarat tersebut harus dipenuhi oleh setiap peralatan proteksi, sehingga sistem proteksi akan berjalan baik sesuai dengan fungsinya.

Setiap peralatan proteksi tentunya memiliki persyaratan yang harus dipenuhi agar dapat mengamankan peralatan yang dilindunginya. Adapun persyaratannya adalah sebagai berikut :

- a. Kepekaan (*Sensitivity*)

Prinsipnya peralatan proteksi harus dapat mendeteksi gangguan dengan rangsangan minimum dari sumber gangguan. Misalnya adalah gangguan hubung singkat fasa dengan tanah, dimana kawat penghantar putus dan mengenai pohon

atau rumah. Pohon dan rumah memiliki tahanan yang cukup besar, sehingga arus gangguan satu fasa-tanah yang dirasakan oleh *relay* kecil.

b. Keandalan (*Reability*)

Sistem proteksi harus dapat diandalkan selama mungkin, sehingga ketika terjadi gangguan atau kondisi yang tidak normal maka sistem proteksi tersebut dapat bekerja sewaktu-waktu untuk melindungi peralatan distribusi. Keandalan sistem proteksi dari awal *setting* harus terjaga untuk jangka waktu selama mungkin.

c. Selektifitas (*Selectivity*)

Peralatan proteksi harus selektif bekerja pada sistem yang terkena gangguan, sehingga sistem yang tidak terkena gangguan tidak terpengaruhi oleh sistem proteksi tersebut. Selain itu proteksi juga dapat membedakan apakah gangguan terdapat di daerah pengaman utama atau pengaman cadangan, dan proteksi harus bekerja secara *instant* atau dengan *delay* waktu.

d. Kecepatan (*Speed*)

Untuk memeperkecil/meminimalisir kerugian akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin, sehingga peralatan proteksi juga harus bekerja secara cepat untuk membebaskan bagian yang terganggu. Keterlambatan kerja peralatan proteksi dapat mengganggu sistem atau merusak peralatan secara *thermal stress*.^[3]

2.2.4.3 Peralatan Proteksi Penyulang 20 KV

Sistem proteksi penyulang 20 KV merupakan kumpulan dari peralatan-peralatan proteksi jaringan distribusi yang bekerja dalam satu kesatuan utuh yang untuk melindungi peralatan penyulang 20 KV. Peralatan proteksi penyulang 20 KV

yang terletak di Gardu Induk antara lain adalah CT (*Current Transformer*), PT (*Potensial Transformer*), PMT (Pemutus Tenaga), Catu Daya, dan Pengawatan.

Semua peralatan proteksi harus memiliki unjuk kerja yang bagus, baik secara individu maupun koordinasi antar peralatan tersebut. Tidak hanya *relay*nya saja, tetapi semua peralatan yang mendukung sistem proteksi berjalan dengan baik.

2.2.4.3.1 Current Transformer



Gambar 2.7 Current Transformator pada Gardu Induk

Gambar 2.7 merupakan gambar dari Current Transformator pada Gardu Induk. Trafo arus yaitu 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.

Trafo arus berfungsi untuk menurunkan arus besar/tinggi pada tegangan tinggi/menengah menjadi arus kecil pada tegangan rendah yang biasanya disebut arus sekunder.

Arus dari tegangan menengah diturunkan untuk masukkan peralatan proteksi dan meter, karena peralatan proteksi dan meter tidak dapat mendeteksi arus

yang besar. Selain itu CT juga berfungsi sebagai isolasi atau pemisah peralatan HV (*High Voltage*) dan peralatan LV (*Low Voltage*).

2.2.4.3.2 Potensial Transformer

PT (*Potensial Transformer*) adalah trafo yang digunakan untuk mentransformasikan tegangan menengah ke tegangan rendah, dimana tegangan sisi sekundernya tersebut sebagai *input* peralatan proteksi dan pengukuran. Berbeda dengan trafo tenaga, PT dibutuhkan tingkat ketelitian dan tegangan yang sesuai dengan peralatan di sisi sekundernya, sedangkan trafo tenaga dibutuhkan tegangan dan kemampuan daya trafo tersebut. Tegangan sekunder dari PT digunakan sebagai pengukuran di kWh meter kubikel, dan sistem proteksi untuk relai UFR (*Under Frekuensi Relay*).

Adapun perbedaan kerja dari transformator potensial dan transformator arus adalah :

- Pada transformator potensial, arus primer sangat tergantung beban sekunder, sedangkan pada transformator arus, arus primer tidak tergantung kondisi rangkaian sekunder
- Pada transformator potensial, tegangan jaringan dipengaruhi terminal-terminalnya sedangkan transformator arus dihubung seri dengan satu jaringan dan tegangan kecil berada pada terminal-terminalnya. Namun transformator arus mengalirkan semua arus jaringan.
- Pada kondisi kerja normal tegangan jaringan hampir konstan dan karena itu kerapatan fluks serta arus penguat dari transformator potensial hanya berubah

di atas batas larangan sedangkan arus primer dan arus penguatan dari transformator arus berubah di atas batas kerja normal.

Gambar 2.8 merupakan gambar PT dan Rangkaian Ekuivalen PT pada jaringan distribusi.



Gambar 2. 8 PT dan Rangkaian Ekuivalen PT

2.2.4.3.3 Pemutus Tenaga (PMT)

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. Untuk PMT outgoing pada jaringan 20KV dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2. 9 PMT 20 KV

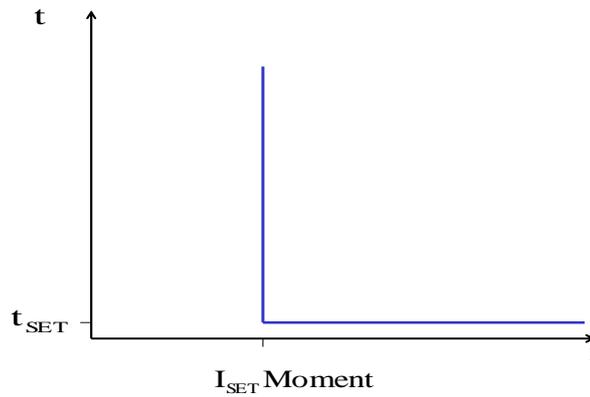
2.2.4.3.4 Relai Hubung Tanah (GFR)

Relai Hubung Tanah atau GFR (*Ground Fault Relay*) memiliki kegunaan untuk mendeteksi hubung arus singkat fase ke tanah. Prinsip kerja dari GFR adalah dengan membaca arus gangguan yang terjadi dan membandingkan dengan arus yang telah diinput pada Arus Settingnya (Iset) apabila arus melebihi arus settingnya maka GFR akan bekerja. Relai akan memberikan perintah kepada CB (*Circuit Breaker*) untuk *trip*.

Berdasarkan karakteristik waktu kerja, GFR dapat dibagi menjadi :

a. Seketika (*Instantaneous*)

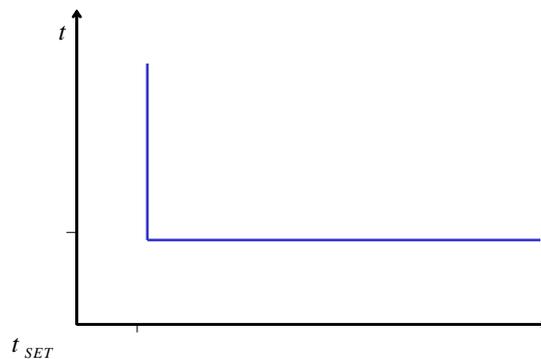
Jangka waktu relai mulai *pick up*, sampai selesainya kerja relai sangat pendek (20 s/d 80 mili detik). Grafik Karakteristik *Instantaneous* dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2. 10 Karakteristik Instantaneous^[8]

b. Waktu Tertentu (*Definite Time* GFR)

Relai dengan waktu tertentu bekerja tidak berdasarkan arus gangguan yang terjadi, namun setting relai tersebut akan trip pada saat nilai setting arus dan setting waktu. Untuk mempermudah melihat cara kerja dari *Definite Time* maka dapat melihat grafik *Definite Time* dari GFR pada gambar 2.11



Gambar 2. 11 Karakteristik *Definite Time*^[8]

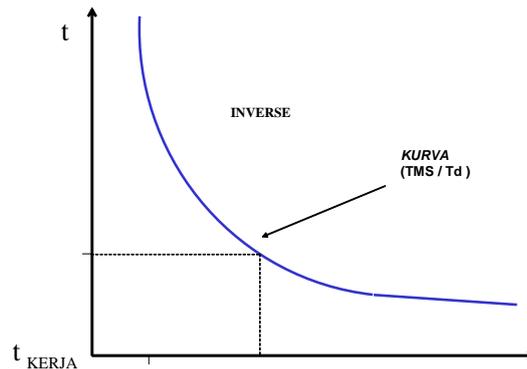
c. Waktu Berbanding Terbalik (*Inverse time* GFR)

Relai hubung singkat inverse dapat dibagi menjadi :

- Normal / standar inverse

- Very inverse
- Extremely inverse
- Long time inverse

Gambar 2.12 adalah contoh grafik dari karakteristik Inverse Time pada GFR

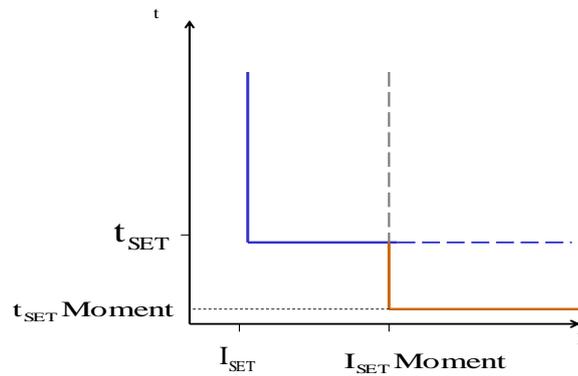


Gambar 2. 12 Karakteristik Inverse^[8]

d. Relai Kombinasi

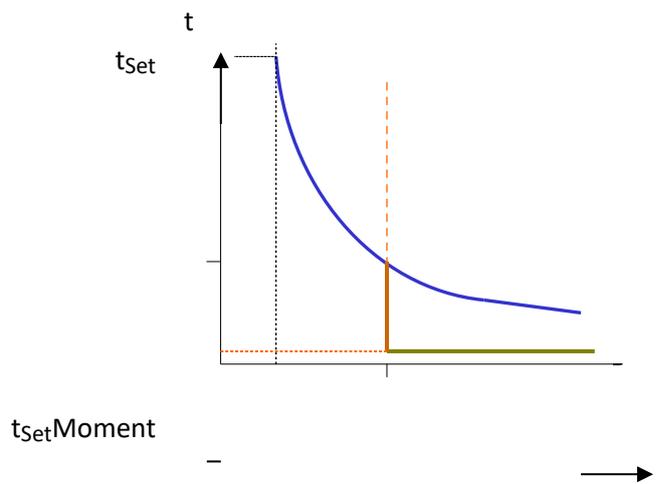
Karakteristik relai seperti digunakan dalam pelaksanaan sistem proteksi dengan menggunakan zona kerja untuk *main protection* dan *back up protection*.

Gambar 2.13 adalah grafik dari kombinasi antara *Definite Time* dengan *Instant Moment*



Gambar 2. 13 Kombinasi Definite Time dengan Moment ^[8]

Gambar 2.14 adalah grafik dari kombinasi antara invers dengan Instant moment



Gambar 2. 14 Kombinasi Inverse dengan Moment ^[8]

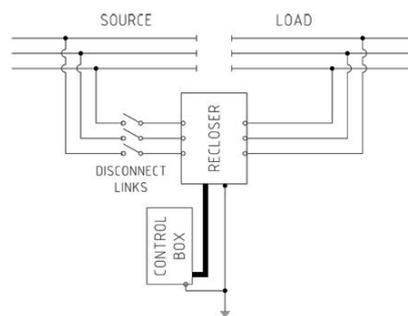
2.2.4.3.5 Catu Daya

Berupa baterai yang berfungsi untuk memberi suplai kepada relai dan rangkaian kontrol / proteksi. Baterai harus mempunyai tegangan yang cukup untuk menghidupkan relai dan peralatan lainnya seperti tripping coil, relai bantu dan lain lain. Baterai juga harus mempunyai kapasitas ampere-hour (Ah) yang cukup

sehingga dalam hal tidak ada suplai dari rectifier, batere masih mampu bekerja beberapa saat. ^[1]

2.2.4.3.6 Pengawatan (Wiring)

Wiring merupakan komponen penunjang berupa rangkaian pengawatan yang menghubungkan semua peralatan proteksi, baik rangkaian catu daya, arus dan tegangan, rangkaian proteksi, serta rangkaian kontrol. Skema rangkaian biasa digambarkan dalam suatu *wiring diagram* dengan menggunakan simbol-simbol standar yang umum digunakan. ^[8]



Gambar 2. 15 Wiring diagram *Recloser* ^[8]

2.2.5 *Recloser*



Gambar 2. 16 *Recloser*

Gambar 2.16 merupakan gambar recloser yang terpasang pada jaringan distribusi tegangan menengah. *Recloser* artinya menutup kembali, di digunakan untuk mengamankan peralatan listrik/jaringan tegangan menengah bila terjadi gangguan hubung singkat temporer atau permanen. Gangguan temporer yang menyebabkan *recloser* bekerja seperti:

1. Terhubungnya antar konduktor karena tarikan kurang kencang dan tertiuip angin.
2. Karena tersambar petir.
3. Tersentuh cabang pepohonan.
4. Binatang yang melinasi konduktor yang menyebabkan hubung singkat (burung, tikus dll).

Pengaman jenis ini dapat disetting cepat untuk gangguan yang temporer dan lambat untuk gangguan yang permanen, dengan kata lain disetting *delay* atau instan. Setelan lambat perlu dikoordinasikan dengan pengaman lain seperti *OCR*, *GFR* pada *outgoing*.

Dimisalkan jaringan udara tersentuh pohon yang sesaat karena tertiuip angin dan pohon tersebut hanya beberapa detik menyentuh pohon maka settingan *delay* yang bekerja dan *recloser* buka/tutup sesuai *settingan* dan lamnaya waktu untuk *delay*.

Recloser juga bisa menjadi instan ketika arus gangguan hubung singkatnya melebihi arus settingan instan pada *recloser*. Settingan ini sesuai keinginan petugas yang mensetting *recloser* tersebut tentunya ada juga faktor yang mempengaruhi besarnya settingan tersebut. ^[8]

2.2.6 Saklar Seksi Otomatis

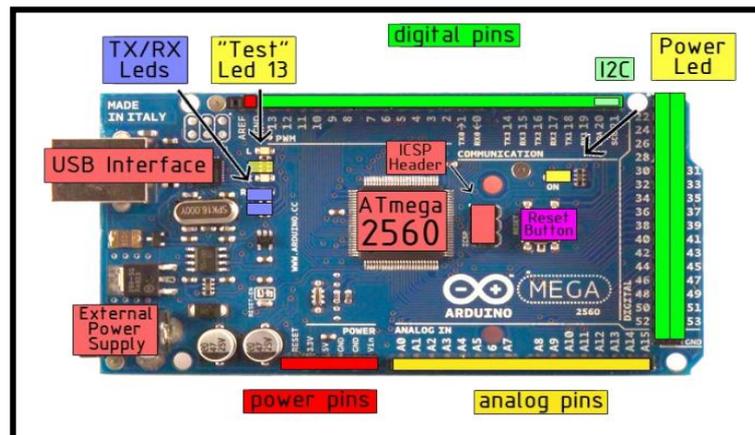
Model saklar ini dipergunakan sebagai alat pemustus rangkaian untuk memisah-misahkan saluran utama dalam beberapa seksi agar pada keadaan gangguan permanen luas daerah (jaringan) yang terganggu diusahakan sekecil mungkin, SSO untuk pola sistem ini akan membuka pada saat rangkaian tidak ada arus dan tidak menutup kembali

Saklar ini bekerja berdasarkan penginderaan dan hitungan trip *recloser* dan arus hubung singkat sehingga saklar ini dipasang apabila dibagian hulu terpasang PMT atau *recloser*.^[8]

2.2.7 Arduino Mega 2560

Arduino adalah platform elektronik *open-source* yang berbasis pada *software* dan *hardware* yang mudah digunakan. Komponen utama dari sebuah Arduino adalah sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel.^[10]

Mikrokontroler itu sendiri adalah *chip* atau *Integrated Circuit* (IC) yang bisa deprogram melalui computer. Tujuan ditanamkan mikrokontroler adalah agar *Board* Arduino dapat membaca *input* seperti cahaya pada sensor, sensor sidik jari, atau sebuah pesan dan mengubah itu semua menjadi sebuah *output* seperti menghidupkan motor, menyalakan LED. Jadi mikrokontroler berfungsi sebagai otak yang mengatur *input*, proses, dan *output* dari sebuah rangkaian elektronik. Gambar 2.17 merupakan pemetaan pin Arduino Mega 2560



Gambar 2. 17 Arduino Mega 2560^[10]

Tabel 2. 4 Keterangan Spesifikasi Arduino Mega 2560 ^[10]

Chip mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan <i>input</i> (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan <i>input</i> (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM <i>output</i>
Analog <i>Input</i> pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader

SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37

2.2.7.1 Power

Arduino Mega 2560 dapat disupply langsung ke USB atau *power supply* tambahan yang pilihan *power* secara otomatis berfungsi tanpa saklar. Kabel *external (non-USB)* seperti menggunakan adaptor AC ke DC atau baterai dengan konektor *plug* ukuran 2,1 mm polaritas positif di tengah ke *jack power* di board. Jika menggunakan baterai dapat disematkan pada pin *GND* dan *Vin* di bagian *Power* konektor. ^[10]

2.2.7.2 Power Supply Arduino Port

Board Arduino Mega 2560 dapat ditenagai dengan power yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau via *power supply* eksternal. Pilihan power yang digunakan akan dilakukan secara otomatis. *External power supply* dapat diperoleh dari adaptor AC-DC atau bahkan baterai, melalui jack DC yang tersedia, atau menghubungkan langsung GND dan pin *Vin* yang ada di board. Board dapat beroperasi dengan power dari *external power supply* yang memiliki tegangan antara 6V hingga 20V. Namun ada beberapa hal yang harus anda perhatikan dalam rentang tegangan ini. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, pin 5V tidak akan memberikan

nilai murni 5V, yang mungkin akan membuat rangkaian bekerja dengan tidak sempurna. Jika diberi tegangan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa over heat yang pada akhirnya bisa merusak pcb. Dengan demikian, tegangan yang di rekomendasikan adalah 7V hingga 12V

Beberapa pin power pada Arduino Mega 2560 :

GND. Ini adalah ground atau negatif.

Vin. Ini adalah pin yang digunakan jika anda ingin memberikan power langsung ke board Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7V - 12V

Pin 5V. Ini adalah pin *output* dimana pada pin tersebut mengalir tegangan 5V yang telah melalui regulator

3V3. Ini adalah pin *output* dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3.3V yang telah melalui regulator

IOREF. Ini adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrokontroller.

Biasanya digunakan pada board *shield* untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3.3V

2.2.7.3 Memory

Chip ATmega2560 pada Arduino Mega 2560 Revisi 3 memiliki memori 256 KB, dengan 8 KB dari memori tersebut telah digunakan untuk bootloader. Jumlah SRAM 8 KB, dan EEPROM 4 KB, yang dapat di baca-tulis dengan menggunakan EEPROM library saat melakukan pemrograman.

2.2.7.4 Input and Output

Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin terbanyak dari semua papan pengembangan Arduino. Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan pull-up sekitar 20-50k ohm (secara *default* dalam posisi *disconnect*). Nilai maximum adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan chip mikrokontroler

Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- Serial, memiliki 4 serial yang masing-masing terdiri dari 2 pin. Serial 0 : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Serial 1 : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). Serial 2 : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). Serial 3 : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk transmit data serial TTL. Pin 0 dan pin 1 adalah pin yang digunakan oleh chip USB-to-TTL ATmega16U2
- External Interrupts, yaitu pin 2 (untuk interrupt 0), pin 3 (interrupt 1), pin 18 (interrupt 5), pin 19 (interrupt 4), pin 20 (interrupt 3), dan pin 21 (interrupt 2). Dengan demikian Arduino Mega 2560 memiliki jumlah interrupt yang cukup melimpah : 6 buah. Gunakan fungsi `attachInterrupt()` untuk mengatur interrupt tersebut.
- PWM: Pin 2 hingga 13 dan 44 hingga 46, yang menyediakan *output* PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`

- SPI : Pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), dan 53 (SS) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI Library
- LED : Pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin no 13. Set HIGH untuk menyalakan led, LOW untuk memadamkan nya.
- TWI : Pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan Wire Library

Arduino Mega 2560 memiliki 16 buah *input* analog. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari ground ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. Beberapa in lainnya pada board ini adalah :

- AREF. Sebagai referensi tegangan untuk *input* analog.
- Reset. Hubungkan ke LOW untuk melakukan reset terhadap mikrokontroler. Sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia.

2.2.7.5 Communication

Arduino Mega memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, berkomunikasi dengan Arduino lainnya, atau dengan mikrokontroler lainnya. Chip Atmega2560 menyediakan komunikasi serial UART TTL (5V) yang tersedia di pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Chip ATmega16U2 yang terdapat pada board berfungsi menterjemahkan bentuk komunikasi ini melalui USB dan akan tampil sebagai Virtual Port di komputer. Firmware 16U2 menggunakan *driver* USB standar sehingga tidak membutuhkan *driver* tambahan.

Pada Arduino Software (IDE) terdapat monitor serial yang memudahkan data textual untuk dikirim menuju Arduino atau keluar dari Arduino. Led TX dan RX akan menyala berkedip-kedip ketika ada data yang ditransmisikan melalui chip USB to Serial via kabel USB ke komputer. Untuk menggunakan komunikasi serial dari digital pin, gunakan Software Serial Library

Chip ATmega2560 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Di dalam Arduino Software (IDE) sudah termasuk Wire Library untuk memudahkan anda menggunakan bus I2C. Untuk menggunakan komunikasi SPI, gunakan SPI Library.

2.2.7.6 Programming

Pemrograman board Arduino Mega 2560 dilakukan dengan menggunakan Arduino Software (IDE). Chip ATmega2560 yang terdapat pada Arduino Mega 2560 telah diisi program awal yang sering disebut bootloader. Bootloader tersebut yang bertugas untuk memudahkan anda melakukan pemrograman lebih sederhana menggunakan Arduino Software, tanpa harus menggunakan tambahan hardware lain. Cukup hubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC atau Mac/Linux anda, jalankan software Arduino Software (IDE), dan anda sudah bisa mulai memrogram chip ATmega2560. Lebih mudah lagi, di dalam Arduino Software sudah diberikan banyak contoh program yang memanjakan anda dalam belajar mikrokontroler

Untuk pengguna mikrokontroler yang sudah lebih mahir, anda dapat tidak menggunakan bootloader dan melakukan pemrograman langsung via header ICSP (In Circuit Serial Programming) dengan menggunakan Arduino ISP.

Arduino Mega 2560 Rev 3 telah dilengkapi dengan chip ATmega16U2 yang telah diprogram sebagai konverter USB to Serial. Firmware ATmega16U2 di load oleh DFU bootloader, dan untuk merubahnya anda dapat menggunakan software Atmel Flip untuk Windows atau DPU Programmer untuk Linux atau Mac, atau menggunakan header ISP dengan menggunakan hardware external programmer. Gambar 2.18 merupakan contoh tampilan pemrograman sederhana pada Arduino



Gambar 2. 18 Pemrograman pada Arduino Mega ^[10]

2.2.7.7 Automatic (Software) Reset

Biasanya, ketika anda melakukan pemrograman mikrokontroler, anda harus menekan tombol reset sesaat sebelum melakukan upload program. Pada Arduino Uno, hal ini tidak lagi merepotkan anda. Arduino Uno telah dilengkapi dengan auto reset yang dikendalikan oleh software pada komputer yang terkoneksi. Salah satu jalur flow control (DTR) dari ATmega16U pada Arduino Uno R3 terhubung dengan jalur reset pada ATmega2560 melalui sebuah kapasitor 100nF. Ketika jalur tersebut diberi nilai LOW, mikrokontroler akan di reset. Dengan

demikian proses upload akan jauh lebih mudah dan anda tidak harus menekan tombol reset pada saat yang tepat seperti biasanya.

2.2.7.8 Komunikasi

Arduino Mega2560 memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, berkomunikasi dengan Arduino lainnya, atau dengan mikrokontroler lainnya. Chip Atmega2560 menyediakan komunikasi serial UART TTL (5V) yang tersedia di pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Chip ATmega16U2 yang terdapat pada board berfungsi menterjemahkan bentuk komunikasi ini melalui USB dan akan tampil sebagai Virtual Port di komputer. Firmware 16U2 menggunakan *driver* USB standar sehingga tidak membutuhkan *driver* tambahan.

Pada Arduino Software (IDE) terdapat monitor serial yang memudahkan data textual untuk dikirim menuju Arduino atau keluar dari Arduino. Led TX dan RX akan menyala berkedip-kedip ketika ada data yang ditransmisikan melalui chip USB to Serial via kabel USB ke komputer. Untuk menggunakan komunikasi serial dari digital pin, gunakan Software Serial Library

Chip ATmega2560 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Di dalam Arduino Software (IDE) sudah termasuk Wire Library untuk memudahkan anda menggunakan bus I2C. Untuk menggunakan komunikasi SPI, gunakan SPI Library

2.2.7.9 USB Over Current Protection

Arduino Mega 2560 memiliki fungsi *resettable polyfuse* untuk memproteksi dari port USB computer akibat hubung singkat atau kelebihan arus. Jika arus yang

melebihi 500mA dari port USB maka *fuse* secara otomatis putus koneksi hingga *short* atau *over load* dilepaskan dari board ini. ^[10]

2.2.8 *Arduino Ethernet Shield*

Ethernet Shield adalah modul yang berfungsi menghubungkan Arduino Board dengan jaringan internet, karena itu berdasarkan datasheet Wiznet W5100 untuk menghubungkan dan menggunakan modul atau mikrokontroler hingga dapat terkoneksi internet caranya dengan memasang modul tersebut diatas Arduino Board, sambungkan dengan kabel *network* RJ45. Di dalam *Arduino Ethernet* sendiri terdapat slot mikro SD yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan file sedangkan untuk mengakses mikro SD card menggunakan *Library* SD.

Spesifikasi *Ethernet* Controller:

1. Chip Wiznet W5100 dengan internal buffer 16 Kb
2. Kecepatan koneksi 10/100 Mb (*Fast-Ethernet*)
3. Papan ini terhubung dengan Arduino melalui *port* SPI
4. Dapat mendukung hingga 4 koneksi simultan

2.2.9 **Human Machine Interface (HMI)**

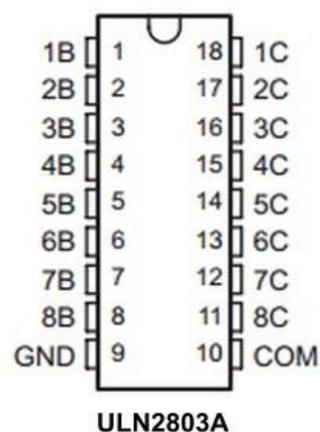
HMI adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik secara manual ataupun melalui real time computer. HMI biasanya bersifat online dengan membaca data yang dikirimkan melalui *I/O port* yang digunakan dalam mikrokontroler. Tugas HMI adalah untuk membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dapat mempermudah pekerjaan fisik. ^[9]

2.2.10 Relay

Relay adalah saklar yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen Electromechanical yang terdiri dari 2 bagian utama yaitu Elektromagnet (Coil) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. ^[11]

2.2.11 Driver Relay

Driver relay merupakan rangkaian yang digunakan untuk menggerakkan *relay*. Rangkaian ini digunakan sebagai *interface* antara *relay* 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 *relay* ^[9]. Gambar 2.19 merupakan gambaran *pin-out* dari IC ULN2803 sehingga terlihat kegunaan dari kaki kaki IC ULN2803.

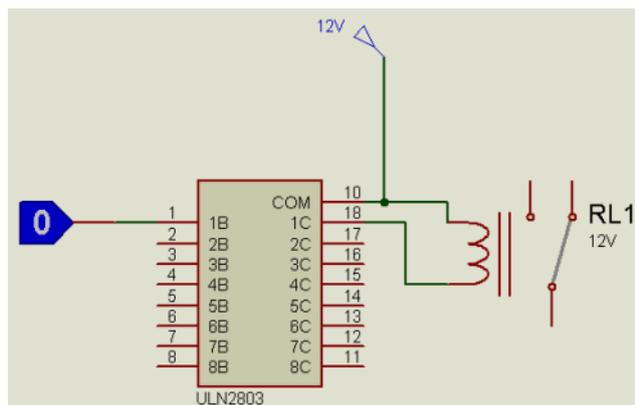


Gambar 2. 19 *Pin-out Diagram ULN 2803* ^[9]

ULN2803 merupakan salah satu *chip* IC yang mampu difungsikan sebagai *driver relay*. IC ini mempunyai 8 buah pasangan transistor *Darlington npn*, dengan tegangan *output* maksimal 50 V dan arus setiap pin mencapai 500mA. *ULN2803*

mempunyai 18 pin dengan rincian pin 1-8 digunakan untuk menerima sinyal tingkat rendah, pin 9 sebagai *ground*, pin 10 sebagai *Vcc*, dan pin 11-18 merupakan *output*.

Pasangan transistor *Darlington* adalah penggabungan dua buah transistor sejenis dan umumnya mempunyai beta yang sama. Keuntungan transistor *Darlington* yakni mempunyai impedansi *input* tinggi dan impedansi *output* rendah serta memiliki penguatan (*gain*) yang tinggi karena hasil penguatan transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor yang kedua berperan sebagai saklar. Gambar 2.20 menunjukkan rangkaian driver relay yang dihubungkan dengan relay.

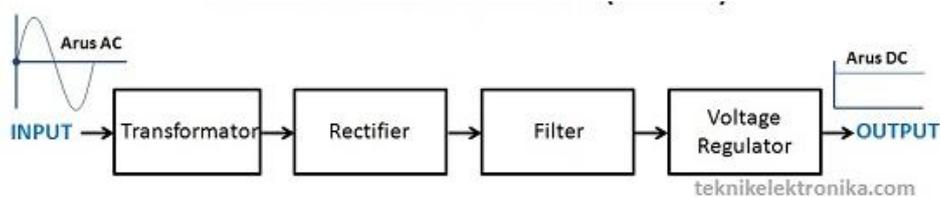


Gambar 2. 20 Pin IC *ULN2803* ^[9]

2.2.12 Catu Daya

Arus listrik yang digunakan dalam lingkungan sehari-hari kita seperti di rumah, kantor di laboratorium menggunakan arus bolak balik atau arus AC Hal ini dikarenakan pembangkitan dan pendistribusian arus AC lebih ekonomis untuk dilakukan dibandingkan dengan arus DC. Namun peralatan mikrokontroler yang dipakai pada alat ini memerlukan supply arus DC dan tegangan yang lebih rendah untuk dapat beroperasi. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan rangkaian yang

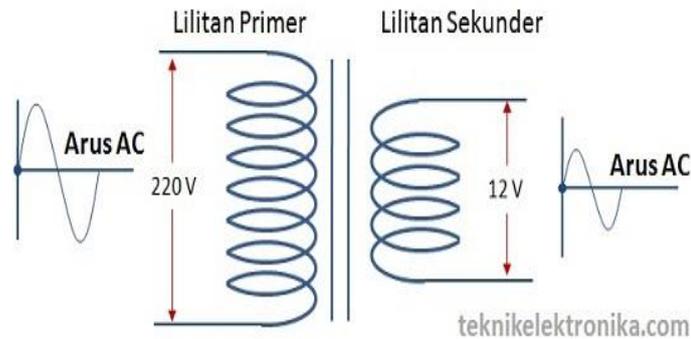
dapat mengkonversi arus listrik AC menjadi arus listrik DC yaitu sebuah Catu Daya DC atau juga disebut adaptor. Catu Daya DC memiliki komponen utama yaitu Transformer, Rectifier, Filter, dan Voltage Regulator ^[12]. Gambar 2.21 merupakan diagram blok dari rangkaian catu daya.



Gambar 2. 21 Blok Diagram *Power Supplay* Adaptor ^[12]

2.2.12.1 Transformator

Transformator (*Transformer*) atau disingkat dengan Trafo yang digunakan untuk *DC Power supply* adalah Transformer jenis *Step-down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan komponen Elektronika yang terdapat pada rangkaian adaptor (*DC Power Supply*). Transformator bekerja berdasarkan prinsip Induksi elektromagnetik yang terdiri dari 2 bagian utama yang berbentuk lilitan yaitu lilitan Primer dan lilitan Sekunder. Lilitan Primer merupakan *Input* dari pada Transformator sedangkan *Output*-nya adalah pada lilitan sekunder. Meskipun tegangan telah diturunkan, *Output* dari Transformator masih berbentuk arus bolak-balik (arus AC) yang harus diproses selanjutnya. Pada gambar 2.22 dijelaskan rangkaian Trafo *Step Down*.

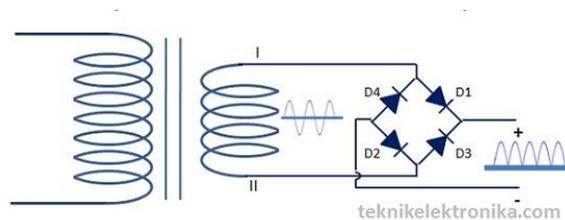


Gambar 2. 22 Rangkaian Trafo *Step Down* ^[12]

2.2.12.2 Rectifier (Penyearah Gelombang)

Rectifier atau penyearah gelombang adalah rangkaian Elektronika dalam *Power Supply* (catu daya) yang berfungsi untuk mengubah gelombang AC menjadi gelombang DC setelah tegangannya diturunkan oleh Transformator *Step down*. Rangkaian *Rectifier* biasanya terdiri dari komponen Dioda.

Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 Dioda adalah jenis *Rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian *Power Supply* karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis Penyearah lainnya. Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda juga sering disebut dengan *Bridge Rectifier* atau Penyearah Jembatan. Dapat dilihat pada gambar 2.23 rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda pada Trafo Linier.

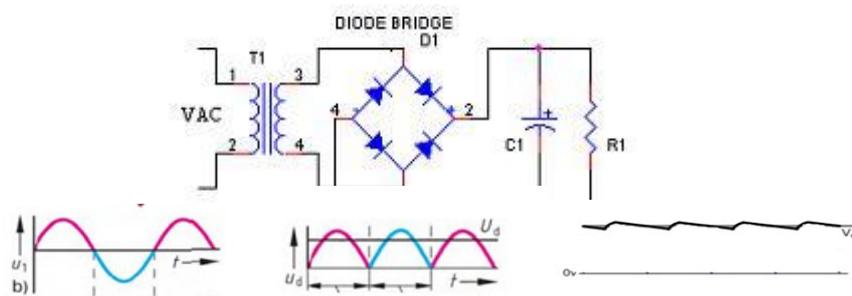


Gambar 2. 23 Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda ^[12]

Berdasarkan gambar diatas, jika Trafo mengeluarkan *output* sisi sinyal Positif (+) maka *Output*, maka D1 dan D2 akan berada dalam kondisi *Forward Bias* sehingga melewati sinyal Positif tersebut sedangkan D3 dan D4 akan menghambat sinyal sisi Negatifnya. Kemudian pada saat *output* Trafo berubah menjadi sisi Negatif (-) maka D3 dan D4 akan berada dalam kondisi *Forward Bias* sehingga melewati sinyal sisi Positif (+) tersebut sedangkan D1 dan D2 akan menghambat sinyal Negatifnya.

2.2.12.3 Filter (Penyaring)

Dalam rangkaian *Power supply* (Adaptor), *Filter* berfungsi untuk mengurangi faktor *ripple* yang terjadi pada suatu rangkaian Adaptor (Zuhal:2004). Filter ini biasanya terdiri dari komponen Kapasitor (Kondensator) yang berjenis Elektrolit atau ELCO (*Electrolyte Capacitor*). Dapat dilihat pada gambar 2.24 rangkaian *filter* untuk adaptor.



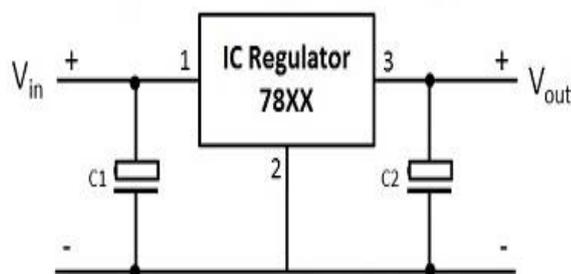
Gambar 2. 24 Rangkaian *Filter* Kapasitor ^[12]

2.2.12.4 Voltage Regulator (Pengatur Tegangan)

Untuk menghasilkan Tegangan dan Arus *DC* (arus searah) yang tetap dan stabil, diperlukan *Voltage Regulator* yang berfungsi untuk mengatur tegangan

sehingga tegangan *Output* tidak dipengaruhi oleh suhu, arus beban dan juga tegangan *input* yang berasal *Output Filter. Voltage Regulator* pada umumnya terdiri dari Dioda Zener, Transistor atau IC (*Integrated Circuit*).

Pada DC Power Supply yang canggih, biasanya Voltage Regulator juga dilengkapi dengan *Short Circuit Protection* (perlindungan atas hubung singkat), *Current Limiting* (Pembatas Arus) ataupun *Over Voltage Protection* (perlindungan atas kelebihan tegangan). Pada gambar 2.25 dapat dilihat cara menggunakan IC *Regulator* pada rangkaian adaptor. ^[5]



Gambar 2. 25 Rangkaian IC Regulator ^[5]

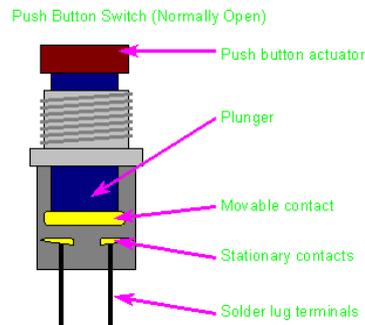
Pada rangkaian *IC Regulator* apabila dianalogikan bisa diasumsikan seperti menggunakan Diode Zener yang terpasang secara paralel dengan tegangan *input*, yang mana tegangan *outputnya* akan bernilai sama dengan tegangan acuan dan spesifikasi pada Diode Zener tersebut.

2.2.13` Push Button

Push button adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan *unlock* (tidak mengunci). Sistem kerja *unlock* disini berarti saklar akan bekerja sebagai device penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan

saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali pada kondisi normal.

Gambar 2.26 merupakan gambar dari push button.

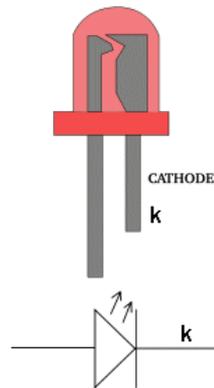


Gambar 2. 26 *Push Button*^[11]

Sebagai *device* penghubung atau pemutus, *push button switch* hanya memiliki 2 kondisi, yaitu *On* dan *Off* (1 dan 0). Karena sistem kerjanya yang *unlock* dan langsung berhubungan dengan operator, *push button switch* menjadi *device* paling utama yang biasa digunakan untuk memulai dan mengakhiri kerja mesin di industri. Secanggih apapun sebuah mesin bisa dipastikan sistem kerjanya tidak terlepas dari keberadaan sebuah saklar seperti *push button switch* atau perangkat lain yang sejenis yang bekerja mengatur pengkondisian *On* dan *Off*.

2.2.14 Light Emitting Diode (LED)

LED adalah singkatan dari Light Emitting Diode, merupakan komponen yang dapat mengeluarkan emisi cahaya. LED merupakan produk temuan lain setelah dioda. Strukturnya juga sama dengan dioda tetapi belakangan ditemukan bahwa elektron yang menerjang sambungan N-P juga melepaskan energi berupa energi panas dan energi cahaya. LED mempunyai dua kaki yaitu anoda (positif) dan katoda (negatif). Gambar 2.27 merupakan gambar dari LED.



Gambar 2. 27 *Light Emitting Diode (LED)*^[11]

2.2.15 VT SCADA

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

Software VTSCADA mampu untuk melakukan sistem kendali berbasis komputer yang dipakai untuk pengontrolan suatu proses tenaga listrik. Dapat juga menampilkan hasil besaran yang di ukur oleh sensor. Selain itu *software* juga dilengkapi oleh button ataupun switch yang mampu untuk menggerakkan kontak *relay* pada rangkaian elektronika. Bedanya *software* ini dari *software SCADA* yang

lain, *software* ini memiliki bermacam-macam widget yang bisa membuat tampilan HMI menjadi lebih menarik dan terkesan tidak monoton.^[14]

2.2.16 Data Logger

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.^[5]