

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

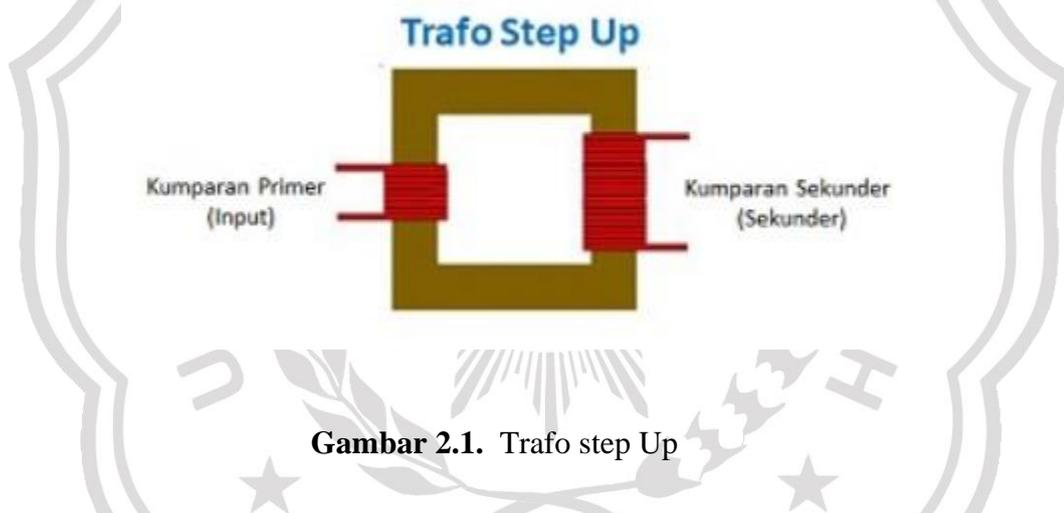
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, sistem distribusi ini berguna untuk membagi dan menyalurkan tenaga listrik dari sumber tenaga listrik sampai ke beban listrik.[1] Adapun beberapa peralatan yang dipakai dalam jaringan distribusi ini adalah

##### **2.1.1 Transformator**

Transformator atau trafo adalah alat yang memindahkan tenaga listrik antar dua rangkaian listrik atau lebih melalui induksi elektroagnetik. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan gaya gerak listrik (ggl) dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.[1]

Transformator mempunyai 2 jenis yaitu transformator step-up dan transformator step-down, Transformator step-up ialah Trafo yang berfungsi untuk menaikkan level tegangan AC atau taraf dari rendah ke taraf yang lebih tinggi. Komponen tegangan sekunder dijadikan tegangan Output yang lebih

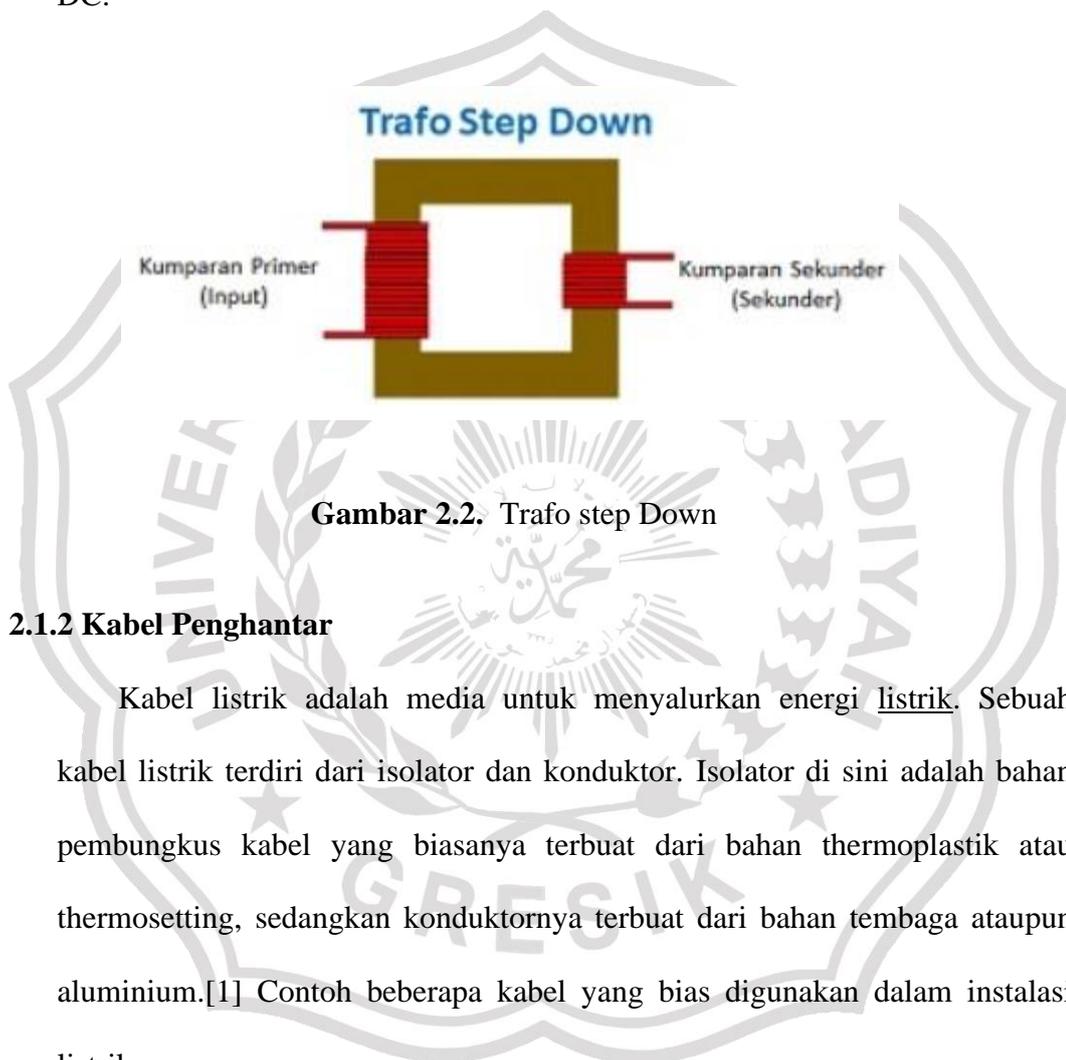
tinggi yakni dapat ditingkatkan dengan cara memperbanyak lilitan di kumparan sekundernya sehingga jumlah lilitan kumparan primer lebih sedikit. Trafo step up ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke grid di dalam tegangan listrik. Transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.



**Gambar 2.1.** Trafo step Up

Berbeda dengan transformator step-up, Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Trafo Step Down ialah Trafo yang berfungsi menurunkan taraf level tegangan AC dari taraf yang tinggi ke rendah. Pada Trafo jenis ini, Rasio untuk jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan pada kumparan yang sekunder Trafo step down digunakan untuk mengubah tegangan grid yang tinggi menjadi yang

lebih rendah dimana dapat digunakan untuk peralatan rumah tangga. Contohnya, untuk menurunkan taraf tegangan listrik dari PLN (220V) menjadi taraf tegangan yang dapat disesuaikan dengan peralatan elektronik dirumah Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.



**Gambar 2.2.** Trafo step Down

### 2.1.2 Kabel Penghantar

Kabel listrik adalah media untuk menyalurkan energi listrik. Sebuah kabel listrik terdiri dari isolator dan konduktor. Isolator di sini adalah bahan pembungkus kabel yang biasanya terbuat dari bahan thermoplastik atau thermosetting, sedangkan konduktornya terbuat dari bahan tembaga ataupun aluminium.[1] Contoh beberapa kabel yang bias digunakan dalam instalasi listrik.

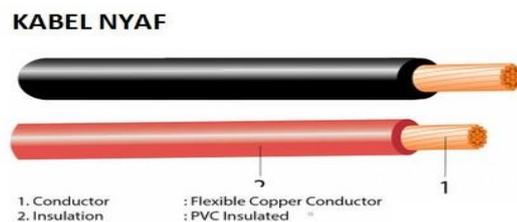
1. Kabel NYA berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, untuk instalasi luar atau kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam sesuai dengan peraturan PUIL.. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan

mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/*conduit* jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.



**Gambar 2.3.** Kabel NYA

2. Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.



**Gambar 2.4.** Kabel NYAF

Kemampuan hantar sebuah kabel listrik ditentukan oleh KHA (kemampuan hantar arus) yang dimilikinya, sebab parameter hantaran listrik ditentukan dalam satuan Ampere. Kemampuan hantar arus ditentukan oleh luas penampang konduktor yang berada dalam kabel listrik, adapun ketentuan mengenai KHA kabel listrik diatur dalam spesifikasi SPLN.

**Tabel 2.1.** KHA Kabel Listrik

Luas penampang nominal kabel	Kemampuan hantar arus maksimum	Kemampuan hantar arus nominal maksimum pengaman
mm <sup>2</sup>	A	A
1,5	19	20
2,5	25	25
4	34	35
6	44	50
10	61	63
16	82	80
25	108	100
35	134	125
50	167	160
70	207	224
95	249	250
120	291	300
150	334	355
185	380	355
240	450	425
300	520	500

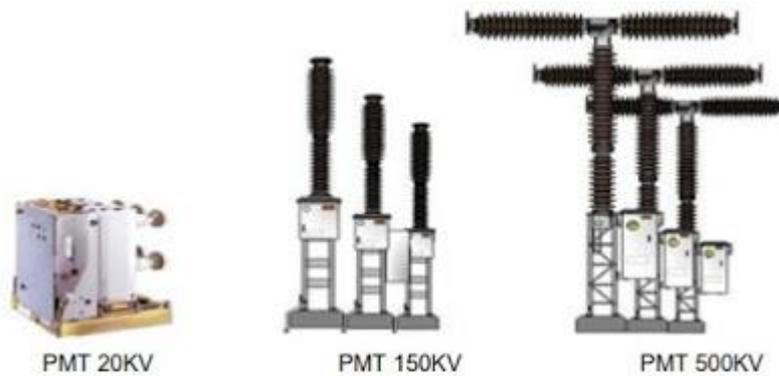
### 2.1.3 Circuit Breaker

Circuit Breaker atau Pemutus Tenaga (PMT) berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 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 kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (short circuit). Sedangkan definisi circuit breaker berdasarkan IEEE C37.100:1992 (Standard definitions

for power switchgear) adalah merupakan peralatan saklar/ switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya. 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 peralatan lain.[1]

Jenis circuit breaker berdasarkan tegangannya dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Circuit breaker tegangan rendah (Low Voltage) dengan range tegangan 0,1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3)
2. Circuit breaker tegangan menengah (Medium Voltage) dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4)
3. Circuit breaker tegangan tinggi (High Voltage) dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5)
4. Circuit breaker tegangan extra tinggi (Extra High Voltage) dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 – 3.6)



**Gambar 2.5.** Macam-macam PMT

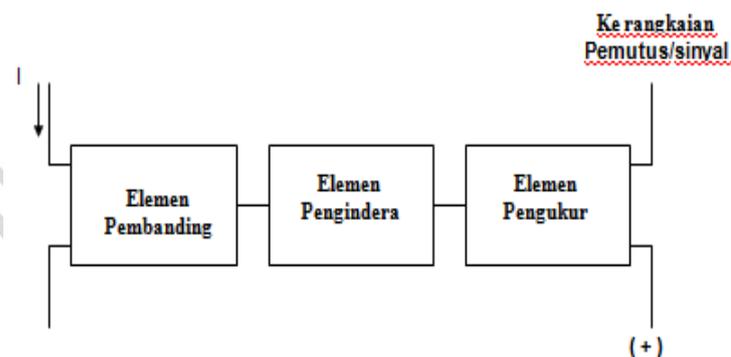
#### 2.1.4 Rele Proteksi Arus Lebih

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. Proteksi overload dikembangkan jika dalam semua hal rangkaian listrik diputuskan sebelum terjadi overheating. Jadi disini overload action relatif lebih lama dan mempunyai fungsi inverse terhadap kwadrat dari arus. Proteksi gangguan hubung singkat dikembangkan jika action dari sekering atau circuit breaker cukup cepat untuk membuka rangkaian sebelum arus dapat mencapai harga yang dapat merusak akibat overheating, arcing atau ketegangan mekanik.

Proteksi tenaga listrik diterapkan pada distribusi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik dalam kondisi bertegangan.

Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengamanan-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan

Salah satu peralatan penting dalam sistem proteksi distribusi ini adalah rele proteksi, Rele proteksi adalah suatu alat yang bekerja secara otomatis untuk mengatur memasukan suatu rangkaian listrik (rangkai trip atau alarm) akibat adanya perubahan lain. Rele, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT). Pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut.[3] Proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal. Secara garis besar bagian dari rele proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti digambar 2.6

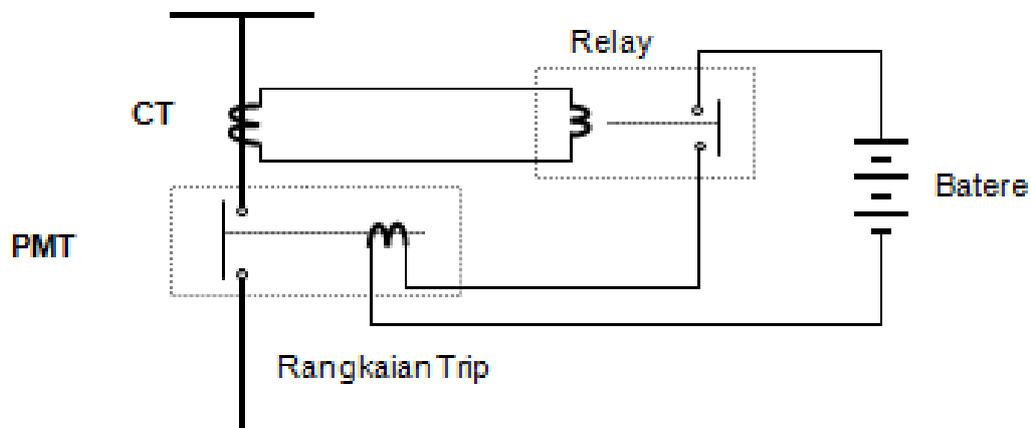


**Gambar2.6.** Blok diagram rele proteksi

Masing-masing elemen/bagian mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Elemen pengindera. Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung rele yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.
2. Elemen pembanding. Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen oleh elemen pengindera untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja rele.
3. Elemen pengukur/penentu. Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.

Pada sistem proteksi menggunakan rele proteksi sekunder seperti digambar 2.7



**Gambar 2.7.** Rangkaian Rele Proteksi Sekunder

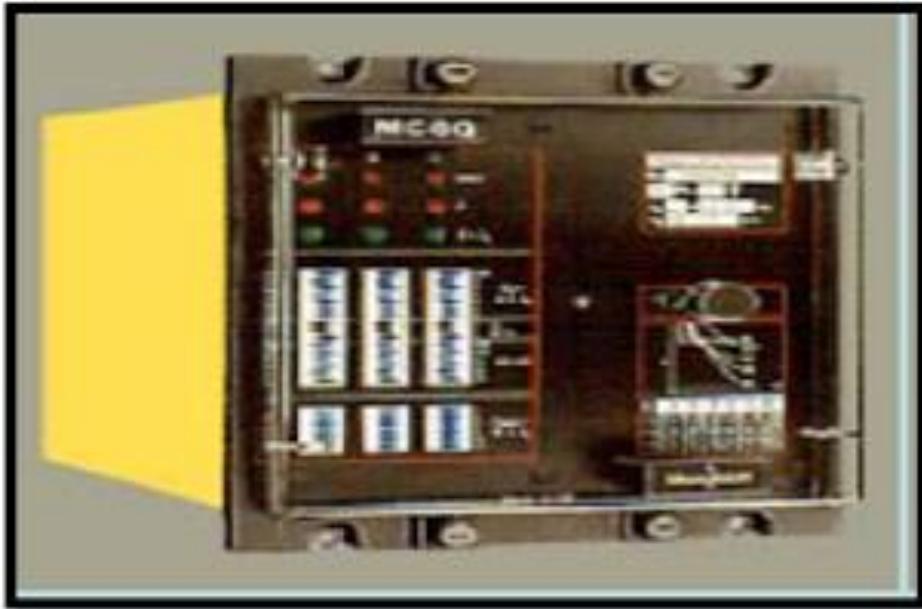
Transformator arus ( CT ) berfungsi sebagai alat pengindera yang merasakan apakah keadaan yang diproteksi dalam keadaan normal atau mendapat gangguan. Sebagai alat pembanding sekaligus alat pengukur adalah rele, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari alat pengindera dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dari kerja rele. Apabila besaran tersebut tidak setimbang atau melebihi besar arus penyetelannya, maka kumparan rele akan bekerja menarik kontak dengan cepat atau dengan waktu tunda dan memberikan perintah pada kumparan penjatuh (trip-coil) untuk bekerja melepas PMT. Sebagai sumber energi/penggerak adalah sumber arus searah atau batere.

Rele arus lebih merupakan salah satu jenis rele proteksi, Rele arus lebih merupakan rele pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada

pengaman transformator tenaga. Rele ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan phasa-phas. Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut.[3]

$I_f > I_p$	rele bekerja	( <i>trip</i> )
$I_f < I_p$	tidak bekerja	(blok)

Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan  $I_f$  merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan. Pada sistem kelistrikan diPabrik Ammonia Urea PT. Petrokima Gresik, peralatan arus lebih yang digunakan adalah rele analog yang merupakan produk dari Siemens dengan sistem setting yang smart dan mudah digunakan.[2]



**Gambar 2.8.** Bentuk Fisik dari Relay Arus Lebih

### 2.1.5 Beban Listrik

Beban Listrik adalah segala sesuatu yang ditanggung oleh pembangkit listrik atau bisa disebut segala sesuatu yang membutuhkan tenaga/daya listrik. Dalam kehidupan sehari-hari contoh beban listrik adalah setrika listrik, lampu listrik, Motor listrik, dll. Beban listrik dikatakan juga sebagai hambatan/resistan(Resistance) dalam ilmu listrik dimana dapat dirumuskan pada hukum ohm , Hukum Ohm adalah suatu pernyataan bahwa besar arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar selalu berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya. Sebuah benda penghantar dikatakan mematuhi hukum Ohm apabila nilai resistansinya tidak bergantung terhadap.

$$V = I.R \quad (2.1)$$

Dimana :

$V$  = adalah tegangan listrik dalam satuan volt

$I$  = adalah arus listrik dalam satuan ampere

$R$  = adalah hambatan/resistansi penghantar dalam satuan ohm

Ada 2 jenis beban listrik berdasarkan sumbernya :

1. Beban Listrik Tegangan Searah, Pada tegangan searah, semua beban adalah resistif (tidak ada pergeseran fase atau sudut) maka rumus yang digunakan adalah rumus pada hukum Ohm.
2. Beban Listrik Tegangan bolak-balik, Pada tegangan bolak-balik, beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :
  - a. Resistif Beban yang memiliki sifat *resistif* akan memiliki sifat yang sama dengan *resistor* ( $R$ ). Apabila beban tersebut dialiri arus listrik maka arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut adalah *arus nominal* pada beban dan memiliki nilai yang tetap sehingga tidak diaktifkan. Contoh beban listrik yang bersifat resistif adalah lampu pijar (penerangan), setrika, teko listrik, dan alat-alat rumah tangga yang bersifat pemanas lainnya.
  - b. Induktif beban yang bersifat *induktif* memiliki sifat yang sama dengan *induktor* ( $L$ ). Arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut akan disimpan dalam bentuk medan magnet karena arus listrik yang mengalir akan terinduksi dan dirubah menjadi medan magnet sehingga dapat tersimpan. Misalnya motor listrik ketika digerakkan dengan cara dialiri arus listrik maka nilai arus start nya akan 3 kali lebih besar dari arus nominal, dan ketika motor listrik telah runing maka nilai arus listrik akan sama dengan nilai arus nominal. Contoh beban listrik yang bersifat

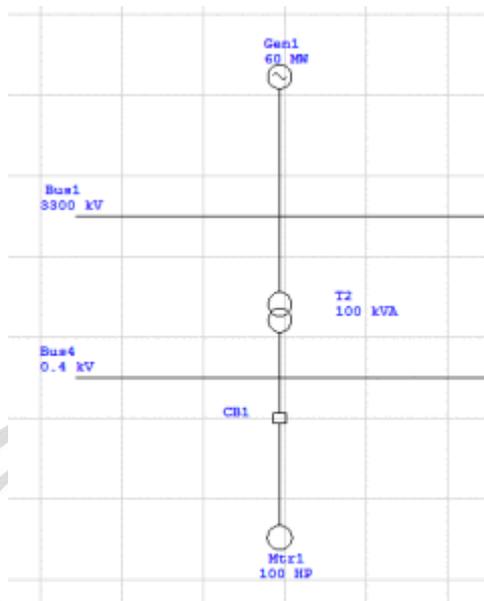
*induktif* adalah pompa air, blender, kipas angin dan alat-alat yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi gerak sebagai penggerak baban utama.

- c. Kapasitif beban yang bersifat *kapasitif* memiliki sifat yang sama dengan *kapasitor* (C). Hampir sama dengan *induktor* yang menyimpan energi listrik hanya saja, beban yang bersifat *kapasitif* menyimpan energi listrik murni. Pada industri-industri besar yang menggunakan penggerak berupa motor listrik memerlukan *kapasitor* untuk menghemat daya.

#### **2.1.6 Single Line Diagram**

Single line diagram itu gambar listrik satu garis, yang menjelaskan sistem kelistrikan pada gardu induk secara sederhana sehingga memudahkan mengetahui kondisi dan fungsi dari setiap bagian peralatan instalasi yang terpasang, untuk operasi maupun pemeliharaan.

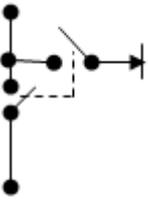
Single line diagram mempunyai tujuan untuk menyederhanakan hubungan elektrikal yang lebih sederhana, dengan melihat dimana sumbernya dan dimana beban-beban sistem tersebut, meskipun sebenarnya dalam kenyataannya hubungan itu bisa dengan tiga fasa, atau tiga kabel.



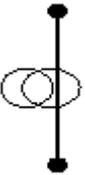
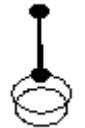
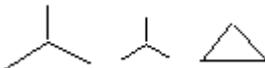
**Gambar 2.9.** Single Line Diagram

Bagan kutub tunggal digambarkan dengan simbol-simbol yang mewakili bentuk dan fungsi setiap peralatan yang tersedia seperti pada Tabel 2.2

**Tabel 2.2.** Simbol Dalam Single Line Diagram

NO	SIMBOL	KETERANGAN
1		Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi sebagai alat untuk memutuskan dan menyambung arus beban baik pada kondisi normal maupun gangguan.
2		Pemisah (PMS) berfungsi sebagai alat untuk memisahkan peralatan dari tegangan. Terdiri dari pemisah tegangan (PMS REL & PMS Line) dan pemisah pentanahan.

Lanjutan Tabel 2.2 Simbol Dalam Single Line Diagram

NO	SIMBOL	KETERANGAN
3		<p>Transformator Tenaga adalah Transformator yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.</p>
4		<p>Transformator Arus (CT) adalah trafo instrument yang berfungsi untuk merubah arus besar menjadi arus kecil sehingga dapat diukur dengan Amper meter.</p>
5		<p>Transformator Tegangan/Potensial (PT) adalah trafo instrument yang berfungsi untuk merubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah sehingga dapat diukur dengan Volt meter.</p>
6		<p>Netral Grounding Resistor (NGR) adalah alat bantu untuk pengaman peralatan Trafo tenaga, bila terjadi hubung singkat pada sistem sekunder.</p>
7		<p>Vektor group adalah hubungan kumparan tiga fasa sisi primer, sekunder dan tertier yang dijelaskan dengan angka pada jam.</p>

## 2.2 Koordinasi Setting Rele Arus Lebih

Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

### 2.2.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers

Pada *setting* rele arus lebih waktu *inverse*, variabel yang dapat disetting adalah arus *pickup* dan juga *time dial* nya. Untuk *setting* arus *pickup*, besar *setting* arus harus lebih besar daripada arus beban maksimum peralatan yang diamankan. Hal ini dikarena rele arus lebih waktu *inverse* tidak boleh beroperasi pada saat arus beban maksimum. Sehingga *setting* arusnya harus lebih besar daripada beban maksimum. Menurut *Standard British BS 142*, batas *setting* rele arus lebih waktu *inverse* (faktor pengali untuk *setting*) adalah:

$$1.05 \text{ IFL} < I_{set} < 1,3 \text{ IFL} \quad (2.2)$$

Dimana  $I_{set}$  merupakan besar arus *pickup* (Ampere) dan IFL adalah arus *full load* atau arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan ketika beroperasi (Ampere). Besar dari arus *pick up* ditentukan berdasarkan pemilihan *tap*. Dan nilai *tap* sendiri, dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = \frac{I_{pick\ up}}{\text{Arus primer CT}} \quad (2.3)$$

Setelah mensetting arus *pick up*, langkah selanjutnya adalah mensetting *time dial*. *Setting time dial* ini diperlukan untuk menentukan kapan rele arus lebih yang dipergunakan akan bekerja apabila terjadi gangguan *overload*.

Berikut ini adalah rumus yang dipergunakan untuk menentukan *time dial* dari rele arus lebih waktu *invers* yang dipergunakan pada tugas akhir ini :

### 1. Siemens 7SJ62 menggunakan *standart IEC* [8]

Inverse (Type A)

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02}-1} \times tp \quad (2.4)$$

Very Inverse (Type B)

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{1-1}} \times tp \quad (2.5)$$

Extremely Inverse (Type C)

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{2-1}} \times tp \quad (2.6)$$

Long Inverse (Type B)

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{1-1}} \times tp \quad (2.7)$$

Keterangan :

t = Trip time (second)

tp = Time dial

I = Arus hubung singkat maksimum

I<sub>p</sub> = Arus pickup

### 2. Schneider Electric Sepam Series 10 menggunakan *standart IEC* [9]

Pada *setting time dial* Sepam Series 10, terdapat 4 kurva *inverse* dengan *standart IEC*. Berikut ini adalah perhitungan *setting* kurvanya :

$$td(I) = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{p-1}} \times TMS \quad (2.8)$$

Dan berikut ini adalah konstanta setting time dial rele Sepam Series 10, dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini :

**Tabel 2.3 Konstanta *Setting Time Dial* Rele Sepam Series 10**

Tipe Kurva <i>Inverse</i>	Konstanta	
	A	P
<i>IEC Standard Inverse Time SIT/A</i>	0.14	0.02
<i>IEC Very Inverse Time VIT/B</i>	13.5	1
<i>IEC Long Time Inverse LTI/B</i>	120	1
<i>IEC Extremely Inverse Time EIT/C</i>	80	2

Keterangan :

$T_d(I)$  = *Trip time (second)*

TMS = *Time Multiplying Setting (Time Dial)*

I = Arus hubung singkat maksimum

$I_s$  = Arus *setting (pickup)*

### 3. GE Multilin 489 menggunakan standart IEC [10]

Berdasarkan IEC 255-4 and British standard BS142, terdapat 4 kurva *inverse* dengan standart IEC. Berikut ini adalah perhitungan *setting* kurvana :

$$T = M \times \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{E-1}} \quad (2.9)$$

Berikut ini adalah konstanta *setting time dial* rele GE Multilin 489, dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini :

**Tabel 2.4 Konstanta *setting time dial* rele GE Multilin 489**

Tipe Kurva <i>Inverse</i>	Konstanta	
	K	E
<i>IEC Curve A (BS142)</i>	0,140	0,020
<i>IEC Curve B (BS142)</i>	13,500	1,000
<i>IEC Curve C (BS142)</i>	80,000	2,000
<i>Short Inverse</i>	0,050	0.040

Keterangan :

T = *Trip time (second)*

M = *Multiplier Setpoint*

I = Arus hubung singkat maksimum *Ipickup*

Is = Arus setting (*pickup*)

### 2.2.2 Setting Rele Arus Lebih Instan

Rele ini bekerja tanpa adanya waktu tunda. Untuk *setting* dari rele arus lebih ini berdasarkan arus hubung singkat minimum, yaitu adalah arus hubung singkat dua fasa 30 *cycle*. Berikut ini adalah persamaan untuk *setting* rele arus lebih *instantaneous time* :

$$1.6 \text{ IFL} < \text{Iset} < 0.8 \times \text{ISC min} \quad (2.10)$$

### 2.2.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Peralatan pengaman tenaga listrik harus saling terkoordinasi dengan baik agar sistem kelistrikan yang akan diproteksi menjadi aman. Maksud dari koordinasi rele adalah adanya ketepatan CB dalam bekerja, antara CB utama

dengan CB sebagai *backupnya*. Sehingga ketika terjadi gangguan di suatu bus atau suatu beban, tidak akan menyebabkan CB bekerja secara bersamaan dan kemungkinan terburuk berakibat seluruh sistem kelistrikan menjadi *blackout*. Untuk mencegah hal tersebut terjadi, maka diperlukan adanya waktu tunda atau *time delay* dalam pengaturan setiap CB yang dipergunakan. Waktu kerja antara rele utama dengan rele *backup* nya harus berjarak 0,2 – 0,4 detik [8]. Dengan spesifikasi sebagai berikut : Waktu CB terbuka : 0,04 – 0,1 *second* (2 – 5 *cycle*)

### 2.3 Algoritma Firefly

Algoritma Firefly adalah algoritma yang terinspirasi dari kunang-kunang, mereka akan berkedip ketika berkomunikasi dengan kunang-kunang lain dan ketika menarik calon mangsa.[5] Algoritma ini dikembangkan oleh Xin-She Yang pada 2007, dan menggunakan 3 peraturan sebagai berikut.

1. Semua kunang-kunang berjenis kelamin satu sehingga seekor kunang-kunang akan tertarik pada kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin.
2. Daya tarik sebanding dengan tingkat kecerahan cahaya kedip kunang-kunang. Oleh karena itu kunang-kunang dalam tingkat kecerahan lebih rendah akan tertarik dan bergerak ke arah kunang-kunang yang lebih tinggi tingkat kecerahannya. Kecerahan dapat berkurang seiring dengan bertambahnya jarak dan adanya penyerapan cahaya akibat faktor udara. Jika tidak ada yang paling terang dari populasi tersebut, semua kunang-kunang bergerak acak.

3. Kecerahan atau intensitas cahaya dari seekor kunang-kunang dipengaruhi atau ditentukan oleh nilai fungsi tujuan dari masalah yang diberikan. Untuk masalah maksimalisasi, intensitas cahaya sebanding dengan nilai tujuan.

Ada dua hal yang sangat penting dalam algoritma firefly yaitu intensitas cahaya dan fungsi keatraktifan, daya tarik seekor kunang-kunang ditentukan oleh seberapa terang cahaya yang dimilikinya dan cahaya itu dipengaruhi oleh fungsi obyektif. Kunang-kunang lain bergerak mendekati kepada kunang-kunang yang memiliki cahaya paling terang (kunang-kunang yang mempunyai nilai paling maksimal) dan mempunyai persamaan intensitas cahaya sebagai berikut.

$$I_i = f(x) \quad (2.11)$$

Keterangan :  $I_i$  = Intensitas Cahaya Firefly  $i(i = 1, 2, \dots, n)$   
 $f(x)$  = Fungsi Obyektif

#### 2.4 Etap 12.6

Etap (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time.[6] Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Etap ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasiitas

nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. Etap dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, trancient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis . Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

1. Virtual Reality Operasi

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan utnuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

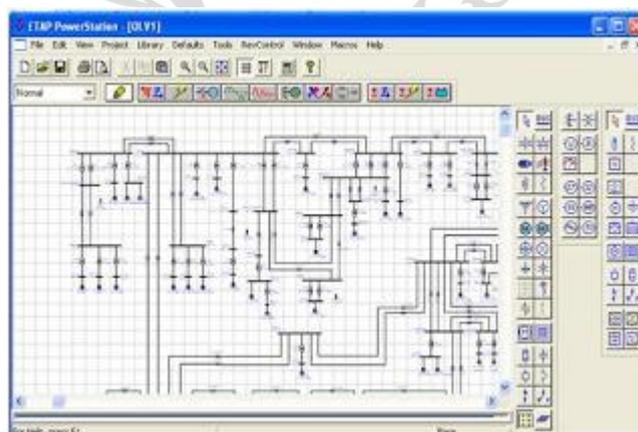
2. Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrik, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan

dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen subuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisik nya, tapi juga memberikan informasi melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (load flow analysis) dan analisa hubung singkat (short-circuit analysis) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan ampacity derating suatu kabel yang memerlukan data fisik routing.

### 3. Simplicity in Data Entry

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.



**Gambar 2.10.** Contoh Tampilan Etap

Etap PowerStation dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), motor starting, harmonisa, transient stability, protective device coordination, dan cable derating.

Etap PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan Etap PowerStation adalah :

1. One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
3. Study Case, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

## 2.5 Matlab

Matlab adalah sebuah bahasa dengan (high-performance) kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk dipakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam

notasi matematika yang familiar. Matlab dapat digunakan antara lain untuk pemodelan, simulasi, pembuatan prototipe, analisa data dan lain-lain.[7]

Matlab merupakan suatu sistem interaktif yang memiliki elemen data dalam suatu array sehingga tidak lagi kita dipusingkan dengan masalah dimensi. Hal ini memungkinkan kita untuk memecahkan banyak masalah teknis yang terkait dengan komputasi, khususnya yang berhubungan dengan matrix dan formulasi vektor, yang mana masalah tersebut merupakan momok apabila kita harus menyelesaikannya dengan menggunakan bahasa level rendah seperti Pascall, C dan Basic.

Dalam lingkungan perguruan tinggi teknik, Matlab merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan penyajian materi matematika, rekayasa dan kelimuan. Di industri, Matlab merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi, pengembangan dan analisisnya.

Fitur-fitur Matlab sudah banyak dikembangkan, dan lebih kita kenal dengan nama *toolbox*. Sangat penting bagi seorang pengguna Matlab, toolbox mana yang mendukung untuk *learn* dan *apply* teknologi yang sedang dipelajarinya. Toolbox toolbox ini merupakan kumpulan dari fungsi-fungsi Matlab (M-files) yang telah dikembangkan ke suatu lingkungan kerja MATLAB untuk memecahkan masalah dalam kelas particular. Area-area yang sudah bisa dipecahkan dengan toolbox saat ini meliputi pengolahan sinyal, system kontrol, neural networks, fuzzy logic, wavelets, dan lain-lain.

Sebagai sebuah system, Matlab tersusun dari 5 bagian utama:

1. Development Environment.

Merupakan sekumpulan perangkat dan fasilitas yang membantu anda untuk menggunakan fungsi-fungsi dan file-file Matlab. Beberapa perangkat ini merupakan sebuah graphical user interfaces (GUI). Termasuk didalamnya adalah Matlab desktop dan Command Window, command history, sebuah editor dan debugger, dan browsers untuk melihat help, workspace, files, dan search path.

2. Matlab Mathematical Function Library.

Merupakan sekumpulan algoritma komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti: sum, sin, cos, dan complex arithmetic, sampai dengan fungsi-fungsi yang lebih kompleks seperti matrix inverse, matrix eigenvalues, Bessel functions, dan fast Fourier transforms.

3. Matlab Language.

Merupakan suatu high-level matrix/array language dengan control flow statements, functions, data structures, input/output, dan fitur-fitur object-oriented programming. Ini memungkinkan bagi kita untuk melakukan kedua hal baik "pemrograman dalam lingkup sederhana " untuk mendapatkan hasil yang cepat, dan "pemrograman dalam lingkup yang lebih besar" untuk memperoleh hasil-hasil dan aplikasi yang kompleks.

4. Graphics.

Matlab memiliki fasilitas untuk menampilkan vector dan matrices sebagai suatu grafik. Didalamnya melibatkan high-level functions (fungsi-fungsi level tinggi) untuk visualisasi data dua dikensi dan data tiga dimensi, image processing, animation, dan presentation graphics. Ini juga melibatkan fungsi level rendah yang memungkinkan bagi anda untuk membiasakan diri untuk memunculkan grafik mulai dari bentuk yang sederhana sampai dengan tingkatan graphical user interfaces pada aplikasi Matlab anda.

5. Matlab Application Program Interface (API).

Merupakan suatu library yang memungkinkan program yang telah anda tulis dalam bahasa C dan Fortran mampu berinteraksi dengan Matlab. Ini melibatkan fasilitas untuk pemanggilan routines dari Matlab (dynamic linking), pemanggilan Matlab sebagai sebuah computational engine, dan untuk membaca dan menuliskan MAT-files.