

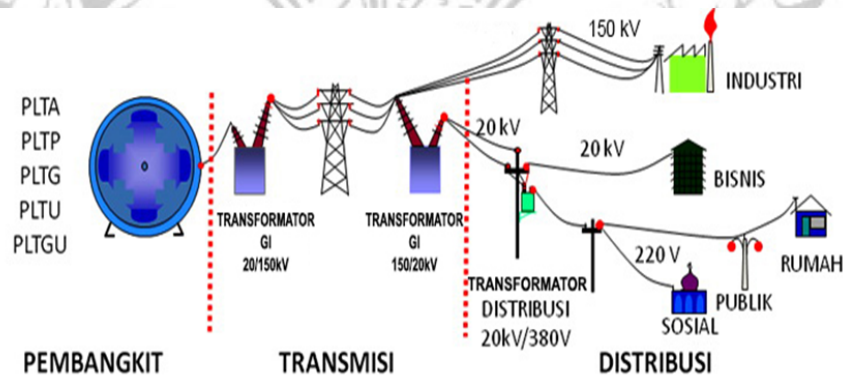
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Energi listrik yang dihasilkan pada pembangkit listrik mempunyai tegangan 11 hingga 24 kV dan dinaikkan menjadi 70, 154, 220, atau 500 kV melalui trafo step-up sebelum dialirkan ke gardu induk (GI). Kehilangan daya pada saluran transmisi harus diminimalkan. Jika Anda menaikkan voltase sambil menjaga daya tetap sama, arus mengalir lebih lambat sehingga lebih sedikit daya yang hilang.

Trafo *step down* pada gardu induk kembali menurunkan tegangan menjadi 20 kV sebelum disalurkan ke trafo distribusi melalui jaringan tegangan menengah (JTM). Selain itu, trafo distribusi mengubah daya 20 kV menjadi 220/380 volt sebelum disalurkan ke rumah pelanggan melalui jaringan tegangan rendah (JTR). Seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. 1 Instalasi Sistem Tenaga Listrik

Sistem jaringan distribusi adalah sistem yang mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke konsumen pada tingkat tegangan yang dibutuhkan. Permasalahan dalam pengoperasian suatu sistem tenaga distribusi adalah untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi, karena sistem distribusi merupakan bagian tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan dibandingkan dengan bagian lain dari sistem kelistrikan.

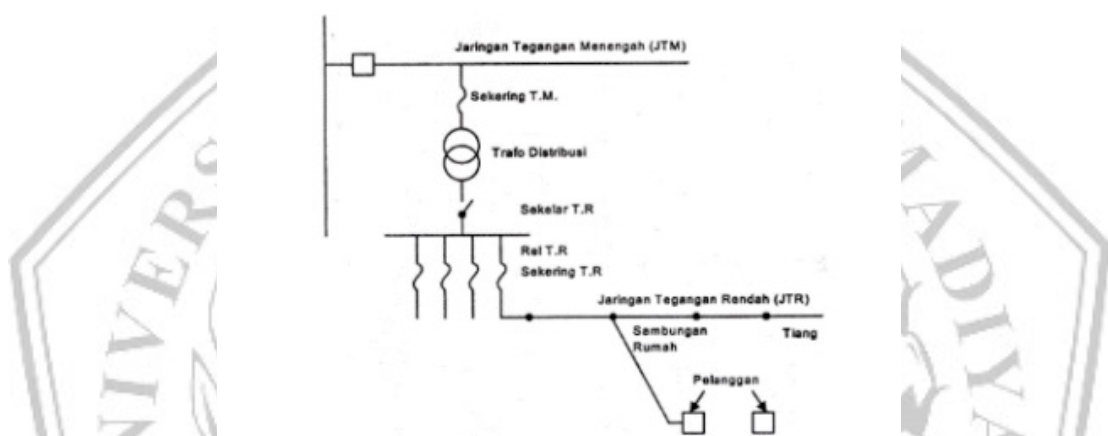
Saluran pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik dibagi menjadi dua bagian yaitu :

## 1. Saluran distribusi Primer

Saluran distribusi Primer merupakan jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah 20 kV. Merupakan jaringan penyulang dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi.

## 2. Saluran Distribusi Sekunder

Saluran distribusi Sekunder merupakan jaringan distribusi yang dikategorikan jaringan tegangan rendah ( 380/220Volt). Saluran distribusi sekunder berawalan dari sisi sekunder trafo distribusi hingga ke alat ukur ( Kwh meter ) pelanggan, distribusi sekunder disalurkan ke konsumen melalui kawat berisolasi.



Gambar 2. 2 Saluran Disribusi Sekunder

## 2.2 Komponen Jaringan Distribusi

### 2.2.1 Gardu Induk

Gardu Induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari berbagai peralatan listrik yang kemudian disusun sebagai bentuk pola tertentu dengan mengandalkan pertimbangan teknis, ekonomis dan keindahan, berikut beberapa fungsi dari Gardu Induk yaitu :

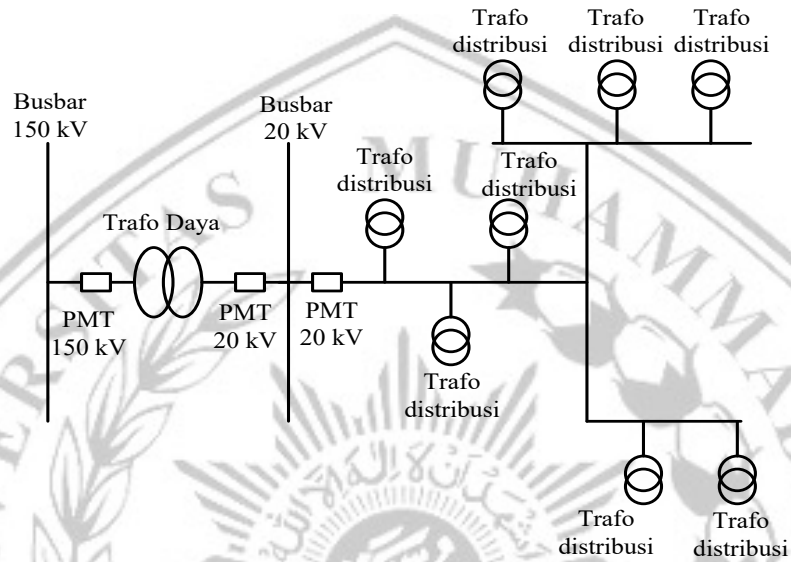
- Mengatur tegangan daya ke gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.
- Mengukur pengawasan pada operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi ke satu tegangan lainnya atau tegangan menengah.

Konfigurasi Sistem Distribusi

Pada dasarnya jaringan distribusi listrik mempunyai beberapa buah konfigurasi jaringan. Konsep dari konfigurasi tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut :

### 1. Pola Radial

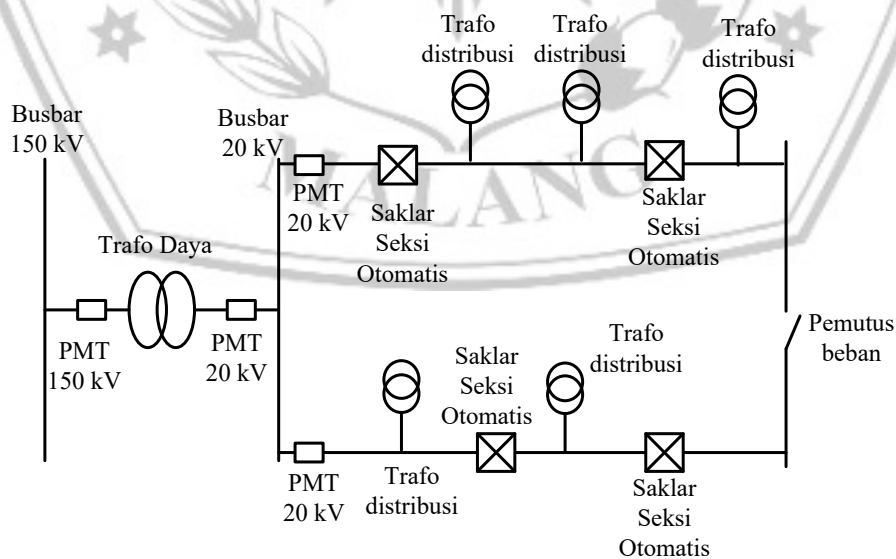
Pola radial merupakan Jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya



Gambar 2. 3 Pola Jaringan Radial

### 2. Pola Loop

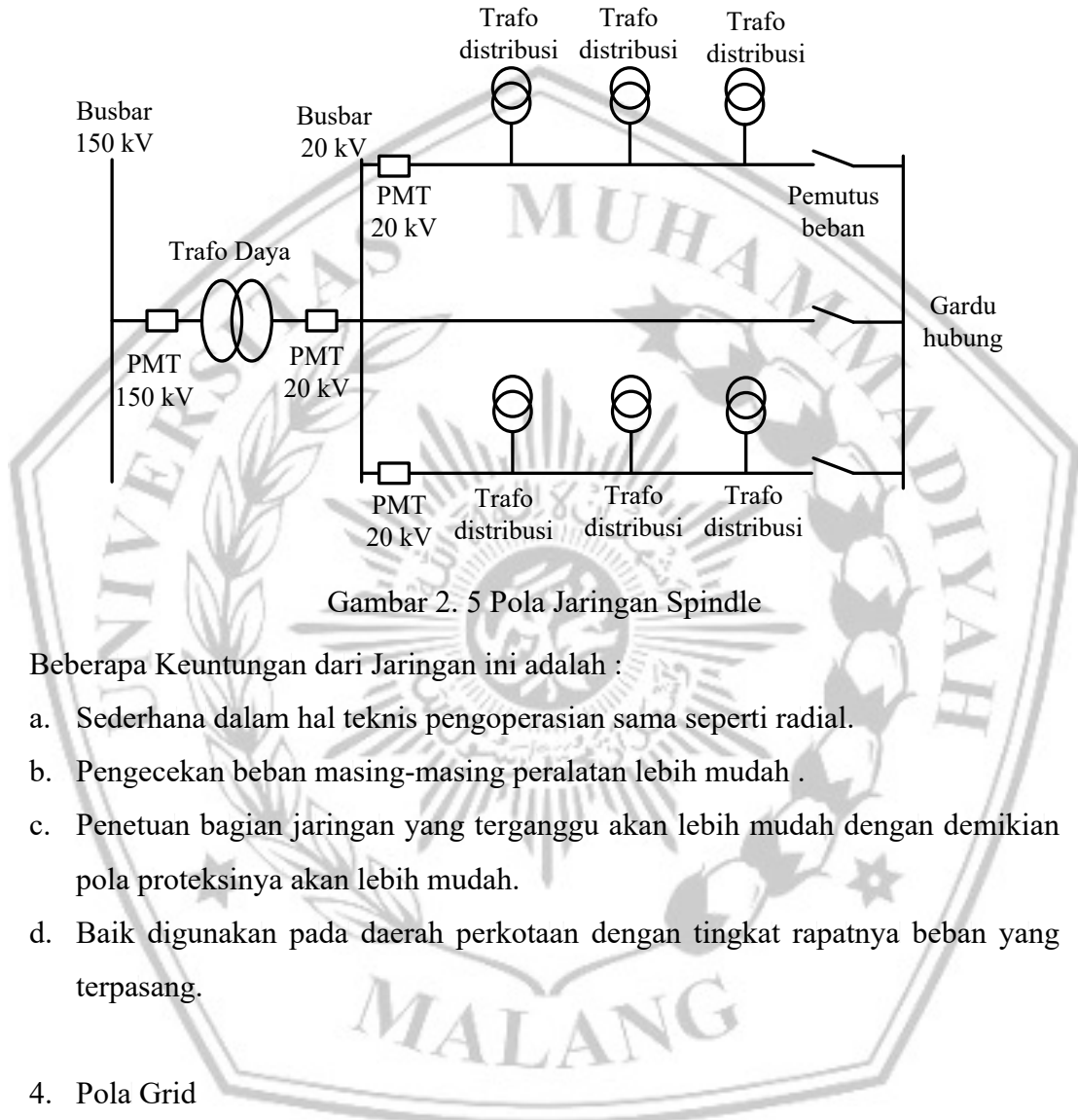
Jaringan pola adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula.



Gambar 2. 4 Pola Jaringan Loop

### 3. Pola Spindle

Jaringan pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju Gardu Hubung ( GH ), Kemudian antara GI dan GH dihubungkan dengan satu saluran yang disebut *express feeder*.



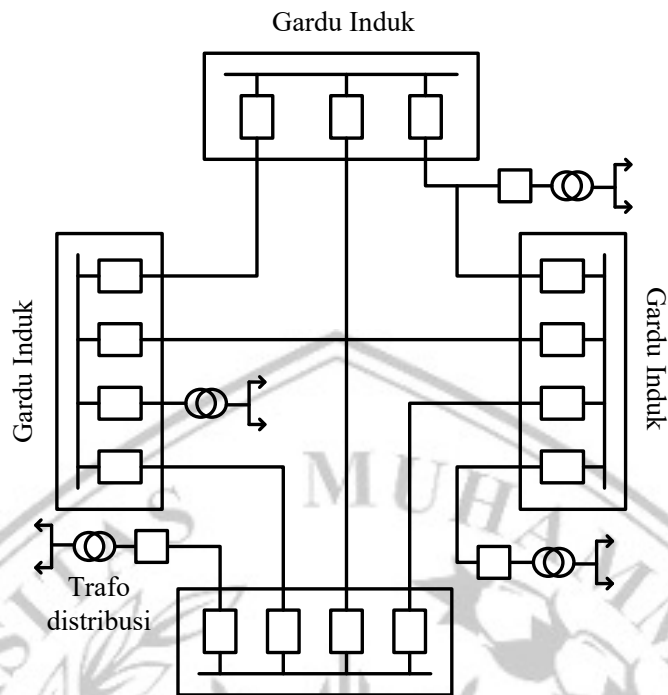
Gambar 2. 5 Pola Jaringan Spindle

Beberapa Keuntungan dari Jaringan ini adalah :

- Sederhana dalam hal teknis pengoperasian sama seperti radial.
- Pengecekan beban masing-masing peralatan lebih mudah .
- Penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.
- Baik digunakan pada daerah perkotaan dengan tingkat rapatnya beban yang terpasang.

### 4. Pola Grid

Pola jaringan Grid mempunyai beberapa rel daya dan antar rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap jaringan distribusi akan menerima atau mengirim daya dari atau rel lain.



Gambar 2. 6 Pola Jaringan Grid

Keuntungan dari jenis jaringan pola grid ialah :

- a. Fleksibel dalam menghadapi berbagai perkembangan beban
- b. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari beberapa pola sebelumnya.
- c. Dapat digunakan sesuai dengan daerah yang memiliki kerapatan beban yang tinggi.

Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Keandalan Tenaga Listrik didefinisikan sebagai peluang dari suatu peralatan listrik untuk beroperasi sesuai dengan fungsinya dalam waktu tertentu dan berada pada suatu kondisi tertentu. Keandalan sistem tenaga listrik ukuran dalam tingkatatan pelayanan sistem untuk memenuhi kebutuhan konsumen, Keandalan sistem pembangkit dibagi menjadi dua aspek dasar, yaitu :

#### 1. Adequacy Sistem

Sistem kecukupan yang berkaitan tentang fasilitas sistem untuk memenuhi kebutuhan pembangkit tenaga, distribusi maupun transmisi yang diperlukan untuk menyalurkan energi listrik ke beban. Kecukupan sistem berhubungan kondisi statis dari sebuah sistem dan gangguan sistem tidak termasuk di dalamnya.

#### 2. Security Sistem

Sistem Keamanan merupakan kemampuan dari sistem untuk mengetahui

letak terjadinya gangguan yang timbul pada sistem, dan sistem keamanan dikaitkan dengan respon sistem untuk menanggapi apapun gangguan yang terjadi.

### 2.3 Komponen Gardu Distribusi

Beberapa komponen listrik yang digunakan pada gardi distribusi adalah sebagai berikut ( Buku 4 PLN,2010 ) :

#### 1. *Fuse Cut Out* ( FCO )

Fuse merupakan peralatan proteksi arus lebih yang bekerja dengan menggunakan prinsip melebur, dan merupakan salah satu peralatan dari arus lebih yang hemat biaya dan telah banyak digunakan oleh industri.

#### 2. *Lightning Arrester* ( LA )

Merupakan alat pelindung yang digunakan untuk peralatan sistem tenaga listrik terhadap petir dengan melakukan pembatasan tegangan lebih yang datang kemudian dialirkan ke dalam tanah.

#### 3. Tranformstor Distribusi

Tranformator distribusi adalah tranformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah ( 20kV) menjadi tegangan rendah ( (380/220V). Tranformator distribusi tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya.

#### 4. Tiang Listrik

Tiang berfungsi sebagai penyangga kawat agar berada diatas tiang dengan jarak aman sesuai dengan standar ketentuan. Dan terbuat dari bahan yang kuat menahan beban tarik maupun tekan yang berasal dari kawat penghantar.

#### 5. NT Fuse

NT Fuse digunakan sebagai pengaman pada trafo terhadap arus lebih yang terpasang di sisi tegangan rendah ( 220 Volt ), untuk melindungi transformator terhadap gangguan aru lebih yang disebabkan karena hubung singkat di jaringan tegangan rendah maupun karena beban lebih.

#### 6. Isolator

Isolator berfungsi sebagai pemisah kabel dengan kabel dan pemisah kabel dengan tiang listrik. Fungsi lainnya dari isolator sebagai penahan beban kabel dan mengatur jarak antara sudut kabel.

## 7. AVR ( *Auto Voltage Regulator* )

AVR ( *Auto Voltage Regulator* ) merupakan regulator dari trafo yang berfungsi sebagai menstabilkan naik dan turunnya tegangan sesuai dengan kebutuhan.

## 8. Kabel Penghantar

Kabel Penghantar merupakan salah satu komponen terpenting dalam sebuah sistem distribusi fungsi utamanya ialah sebagai media atau penyuplai daya listrik dari trafo ke konsumen.

### 2.4 Keandalan Kontinuitas Penyaluran

Keandalan pada jaringan distribusi listrik dapat dilihat dari kontinuitasnya dalam penyaluran energi listrik dapat dilihat ketika akan melakukan pemulihan penyaluran kembali tenaga listrik dan lamanya pemadaman yang terjadi ketika sistem masih bekerja. Ada beberapa hal untuk meningkatkan kontinuitas pada penyaluran antara lain :

- Tingkat 1 : Pemadaman yang hanya dilakukan dalam rentan waktu beberapa jam. Dan biasanya terjadi pada konfigurasi radial.
- Tingkat 2 : Pemadaman yang dilakukan dengan waktu kurang dari satu jam dan penyebab dari gangguan dapat diselesaikan kurang dari 1 jam. Biasanya terjadi ketika adanya pasokan penyulang cadangan atau sistem loop.
- Tingkat 3 : Pemadaman yang hanya terjadi hanya beberapa menit, karena sistem sudah terintegrasi dengan sistem SCADA.
- Tingkat 4 : Pemadaman dalam kurun waktu detik. Di karenakan terdapat jaringan dengan sistem *automatic switch* pada sistem work.
- Tingkat 5 : Sistem dengan tanpa adanya pemadaman. Biasanya terjadi pada sistem spotload, transformator yang bekerjasecara parallel dan untuk pasokan energi tidak boleh padam.

Untuk menentukan bentuk terbaik konfigurasi pada sistem jaringan distribusi harus memperhatikan aspek berupa pelayanan teknik serta jenis pelanggan. Dan biaya juga menjadi aspek utama dalam menentukan faktor untuk

merancang desain sistem jaringan berdasarkan tingkat keandalannya. Untuk meningkatkan kontinuitas pada jaringan dapat digunakan peralatan pendukung seperti PBO, SSO untuk mengurangi daerah gangguan, dan dengan menambahkan SCADA yang berfungsi untuk mempersingkat waktu pemulihan yang terjadi akibat gangguan.

## 2.5 Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Definisi keandalan merupakan kemampuan sebuah sistem yang dapat berfungsi dengan baik untuk jangka waktu tertentu. Tingkat keberhasilan keandalan dari sebuah sistem yang mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman yang terjadi dan seberapa cepat waktu yangdigukana untuk memulihkan dari pemadaman. Sistem yang memiliki keadilan yang tinggi akan mampu memeberikan tenaga listrik sating saat dibutuhkan , sebaliknya sistem yang memiliki eadilan rendah akan menyebabkan sering terjadinya pemadaman. berikut adalah beberapa indeks yang digunakan untuk menghitung tingkat keandalan :

1.  $\lambda_i = \text{laju kegagalan rata-rata (fault/year)}$   
$$i = \sum \lambda * N \quad (2.1)$$

Keterangan :

$\lambda$  = laju kegagalan peralatan

N= banyaknya peralatan

2.  $U_i = \text{lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (hours/year)}$ .

$$U_i = \sum \lambda * r \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\lambda$ = laju kegagalan peralatan

r = waktu perbaikan

### 2.5.1 Standar SAIFI dan SAIDI di Indonesia

PLN memiliki target atau standar kinerja yang harus dipenuhi terkait dengan SAIFI dan SAIDI. Namun, standar ini dapat berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan kebijakan pemerintah dan kondisi lapangan. Sebagai gambaran umum, beberapa target SAIFI dan SAIDI yang pernah ditetapkan oleh PLN antara lain:



SAIFI: Biasanya berkisar antara 5 hingga 10 kali pemadaman per pelanggan per tahun.  
SAIDI: Biasanya berkisar antara 500 hingga 1.500 menit per pelanggan per tahun.

Untuk tahun 2024, target SAIFI dan SAIDI dari PLN Indonesia adalah sebagai berikut:

SAIDI: 6 jam/pelanggan/tahun

SAIFI: 4 kali/pelanggan/tahun

## **2.6 Section Technique**

Metode ini merupakan pembagi topologi jaringan Distribusi menjadi beberapa section dan guna mempermudah dalam menganalisis sistem dan tiap sectionnya memiliki perhitungan masing-masing. Hasil dari tiap sectionnya akan dijumlahkan menjadi hasil akhir dari indeks. Dengan menggunakan metode *Section Tehnique* maka dapat diketahui jaringan distribusi area mana yang perlu diperbaiki keandalannya.

## **2.7 Recloser**

*Recloser* adalah suatu rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga dan kontrol elektronik yang berfungsi untuk mendeteksi arus lebih karena gangguan hubung singkat. Jika gangguannya adalah temporer maka recloser akan membuka dan menutup kembali sesuai setting yang telah ditentukan, recloser tidak akan membuka tetap (*lock out*). Sedangkan jika gangguannya permanen maka setelah recloser membuka dan menutup sebanyak setting yang telah ditentukan kemudian recloser akan membuka tetap (*lock out*). *Recloser* ini akan bekerja kembali jika gangguan telah dihilangkan oleh petugas. Bentuk *recloser* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Recloser

*Recloser* berguna untuk mengisolasi gangguan agar tidak bertambah ke sistem yang lebih besar lagi sehingga peralatan listrik tidak mudah rusak. Prinsip kerja recloser pada dasarnya hampir sama dengan pemutus.

**a. Prinsip Kerja *Recloser***

Prinsip kerja recloser hampir sama dengan circuit breaker. Bedanya kalau recloser dapat diatur untuk membuka dan menutup secara otomatis. Jika circuit breaker digunakan untuk feeder yang mengalami gangguan maka hubungan feeder akan terputus, sedangkan jika recloser yang digunakan, feeder yang ada diharapkan tidak terputus. Recloser akan membuka dan menutup secara otomatis sebanyak setting yang telah ditentukan sebelumnya kemudian recloser akan *lock out*.

**b. Cara Kerja *Recloser***

Pada saat ada gangguan arus akan mengalir melalui trafo arus, relay yang berada di kontrol recloser akan merasakan gangguan tersebut dan memerintahkan kepada pemutus tenaga untuk membuka. Arus lebih akibat gangguan akan masuk *vacuum interrupter* dan busur api yang terjadi diredam sehingga tidak ada peralatan listrik yang rusak akibat percikan api.

Secara sistematis cara kerja recloser adalah sebagai berikut :

1. Pada saat normal arus dan daya listrik mengalir dengan normal.
2. Saat ada gangguan baik gangguan temporer atau permanen maka arus yang lewat akan membuka recloser.
3. Untuk gangguan temporer, recloser akan menutup kembali sesuai

setting waktu yang telah ditentukan kemudian arus dan daya listrik akan berjalan normal kembali.

4. Untuk gangguan permanen, recloser akan menutup membuka kembali sebanyak berapa kali setting recloser tersebut kemudian *lock out*.
5. Jika gangguan permanen sudah dihilangkan petugas maka recloser dapat bekerja lagi.

### c. Sifat Kerja *Recloser*

Ada dua sifat kerja pada *recloser* yaitu :

1. Dual timing, recloser dapat melaksanakan operasi cepat dan operasi lambat. *Recloser* dengan operasi cepat untuk mengantisipasi akibat dari gangguan temporer. *Recloser* dengan operasi lambat digunakan sebagai koordinasi dengan pengaman yang berada disisi hilir.
2. Reset otomatis, apabila gangguan telah hilang pada operasi cepat maka recloser akan reset ke status awal. Bila muncul gangguan setelah waktu reset, maka recloser mulai mengitung waktu dari awal.

## 2.8 *Ant Colony Optimization*

Koloni semut atau yang biasa disebut serangga sosial merupakan *system* yang terdistribusi yang terlepas dari kesederhanaan dari individu, yang menciptakan struktur organisasi yang terstruktur ,dengan hasil yang didapatkan dari perkumpulan semut untuk menyelesaikan permasalahan kompleks bahwa dalam sebuah individu jauh melebihi kemampuan seekor semut. Secara alami koloni semut dapat menemukan rute terpendek dari sarang menuju sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui, hal ini menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit,

Pada *ant colony optimization* semua semut ditempatkan di semua titik yang kemudian akan bergerak mengunjungi seluruh titik , setiap semut akan membuat jalur nya masing-masing sampai kembali ketempat semula dimana tempatkannya semut pertama kali, jika telah mencapai keadaan ini , maka semut telah menyelesaikan sebuah siklus, solusi akhir dari sebuah semut meneteukan jalur terpendek dari sebuah jalur yang dihasilkan dari pencarian semut [3].

## 2.9 Software MATLAB

MATLAB merupakan salah satu Bahasa komputasi yang sering dipakai pada kegiatan kalkulasi maupun perancangan. Kegiatan yang sering mengenakan MATLAB yakni perhitungan numerik, simbolik, pemodelan *single line* dan konsep dari GUI yang mengandung tugas, perintah dan komponen program yang mempermudah user (pengguna) dalam menjalankan sebuah program dalam MATLAB [4].

