



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Distribusi Daya Listrik**

Sebagaimana diketahui, pada sistem distribusi terdapat 2 bagian ; yaitu distribusi primer yang mempergunakan tegangan menengah dan tinggi dan distribusi sekunder yang mempergunakan tegangan rendah.

##### **2.1.1 Distribusi primer**

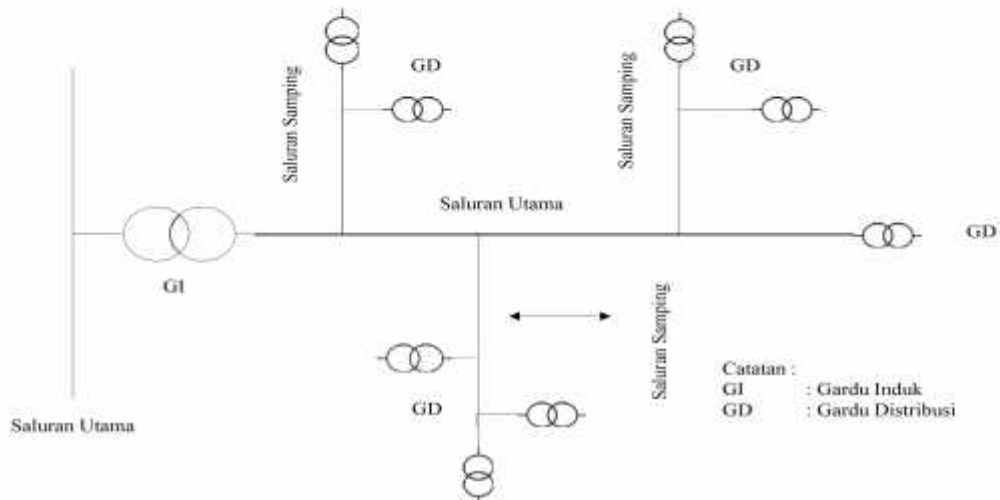
Pada distribusi primer terdapat empat jenis dasar, yaitu : sistem radial, sistem lup (*loop*), sistem jaringan primer dan sistem spindel.

###### **a) Sistem Radial**

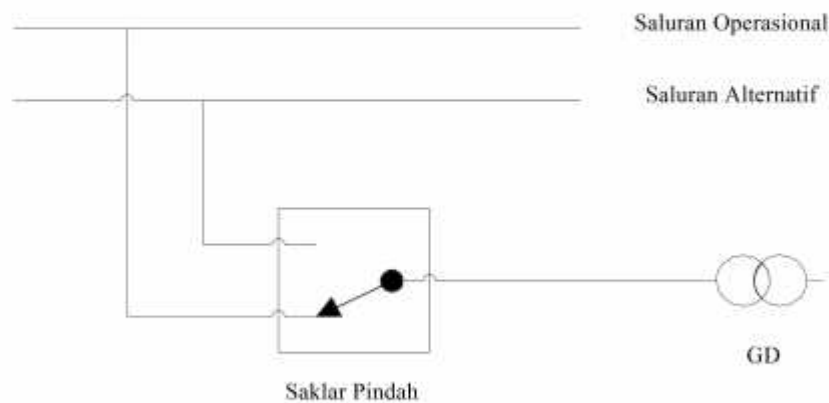
Sistem radial adalah yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri atas fider (*feeders*) atau rangkaian tersendiri yang seolah – olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. Fider itu juga dapat dianggap sebagai terdiri atas suatu sumber bagian utama dari mana saluran samping atau lateral lain bersumber dan dihubungkan dengan transformator distribusi sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3. Saluran samping sering disambung pada fider dengan sekering (*fuse*). Dengan demikian maka gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu seluruh fider. Bilamana sekering itu tidak bekerja atau terdapat gangguan pada fider, proteksi pada saklar daya di gardu induk akan bekerja dan seluruh fider akan kehilangan energi. Pemasakan pada rumah sakit atau pemakaian vital lain tidak boleh mengalami gangguan yang berlangsung lama. Dalam hal demikian, satu fider tambahan disediakan yang menyediakan suatu sumber penyedia energi alternatif. Hal ini dilakukan dengan suatu saklar pindah, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4. Saklar pindah itu dapat juga bekerja secara otomatis. Bila tegangan pada saluran operasional hilang, saklar dengan sendirinya akan memindahkan sambungan pada saluran alternatif.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2000, hlm. 21



**Gambar 2.1 Skema Saluran Sistem Radial**



**Gambar 2.2 Penggunaan Saluran Alternatif dengan Saklar Pindah**

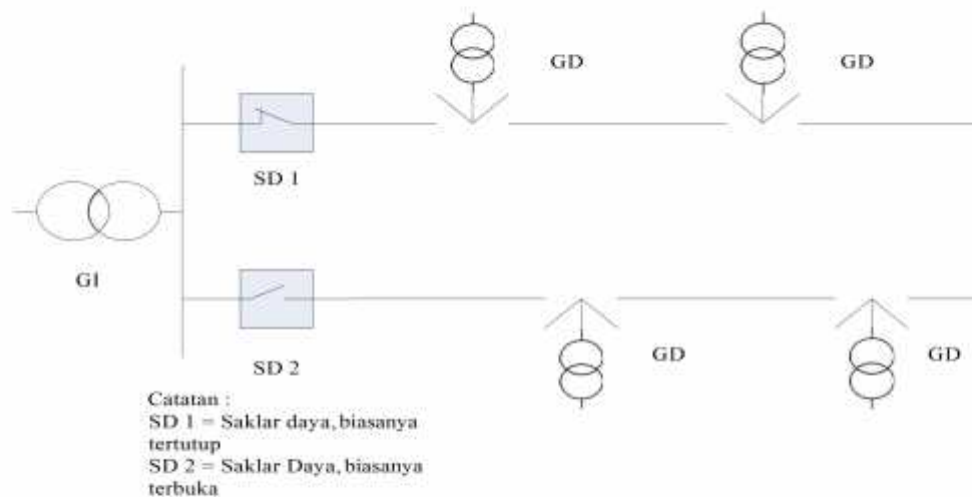
a) Sistem Lup

Suatu cara lain guna mengurangi interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain fider sebagai lup (*loop*) dengan menyambung kedua ujung saluran. Hal ini mengakibatkan bahwa suatu pemakai dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Bilamana pasokan dari salah satu arah terganggu, pemakai akan disambungkan pada pasokan arah lainnya. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada tiap fider. Sistem lup dapat dioperasikan secara terbuka ataupun tertutup.



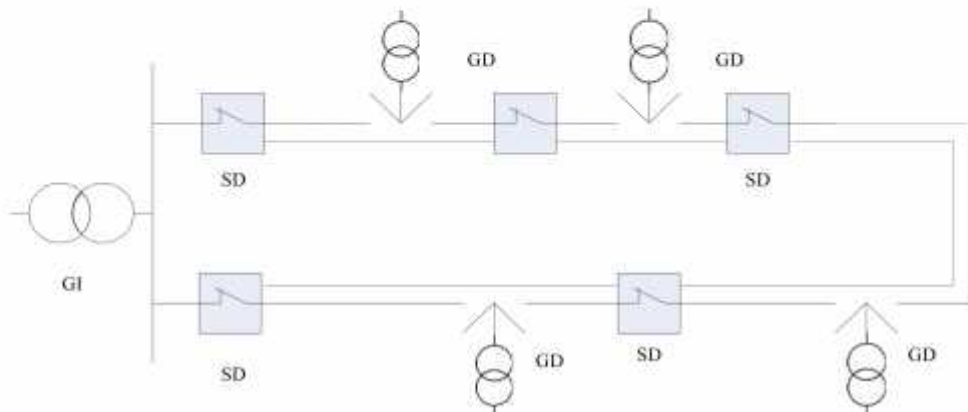
Pada sistem lup terbuka, bagian – bagian fider tersambung melalui alat pemisah (*disconnectors*), dan kedua ujung fider tersambung pada sumber energi. Pada suatu tempat tertentu pada fider, alat pemisah sengaja dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada dasarnya, sistem ini terdiri atas dua fider yang dipisahkan oleh suatu pemisah, yang dapat berupa sekering, alat pemisah, atau daya. (Gambar 2.5). Bila terjadi gangguan, bagian saluran dari fider yang terganggu dapat dilepas dan menyambungkannya pada fider yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan – jaringan yang relatif kecil.

Pada sistem lup tertutup (Gambar 2.6) diperoleh suatu tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat – alat pemisah biasanya berupa saklar daya yang lebih mahal. Saklar – saklar daya itu digerakkan oleh relai yang membuka saklar daya pada tiap ujung dari bagian saluran yang terganggu, sehingga bagian fider yang tersisa tetap berada dalam keadaan berenergi. Pengoperasian relai yang baik diperoleh dengan mempergunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya.<sup>3</sup>



**Gambar 2.3 Skema Rangkaian Lup Terbuka**

<sup>3</sup> Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2000, hlm. 21



Catatan :

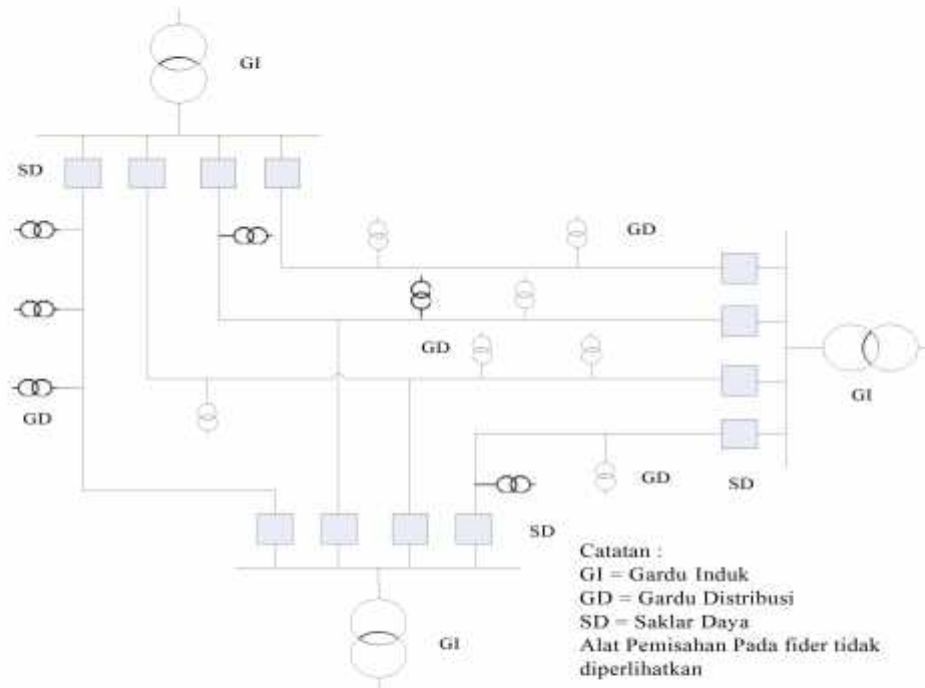
SD = Saklar Daya, biasanya tertutup, dikendalikan melalui kawat pilot

**Gambar 2.4 Skema Rangkaian Lup Tertutup**

#### b) Sistem Jaringan Primer

Walaupun beberapa studi memberi indikasi bahwa pada kondisi – kondisi tertentu sistem jaringan primer lebih murah dan lebih andal daripada sistem radial, secara relatif tidak banyak sistem jaringan primer yang kini dioperasikan. Sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran – saluran utama atau fider yang terdapat pada sistem radial sehingga merupakan suatu kisi – kisi atau jaringan (Gambar 2.7). Kisi – kisi ini diisi dari beberapa sumber atau gardu induk. Sebuah saklar daya antara transformator dan jaringan yang dikendalikan oleh relai – relai arus balik (*reverse currents*), melindungi jaringan terhadap terjadinya arus – arus gangguan bila hal ini terjadi pada sisi pengisian dari gardu induk. Bagian – bagian jaringan yang terganggu akan dipisahkan saklar *day* dan sekring.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2000, hlm. 24



**Gambar 2.5 Skema Sistem Jaringan Primer**

c) Sistem Spindel

Terutama di kota yang besar, terdapat suatu jenis gardu tertentu, yang tidak terdapat transformator daya. Gardu demikian dinamakan Gardu Hubung (GH). GH pada umumnya menghubungkan dua atau lebih bagian jaringan primer kota itu. Dapat pula terjadi bahwa pada suatu GH terdapat sebuah transformator pengatur tegangan. Karena besar kota itu, kabel – kabel tegangan menengah (TM) mengalami terlampaui banyak turun tegangan. Tegangan yang agak rendah ini dinaikkan kembali dengan bantuan transformator pengatur tegangan. Dapat juga terjadi bahwa pada GH, ditumpangi atau “dititipi” sebuah Gardu Distribusi (GD).

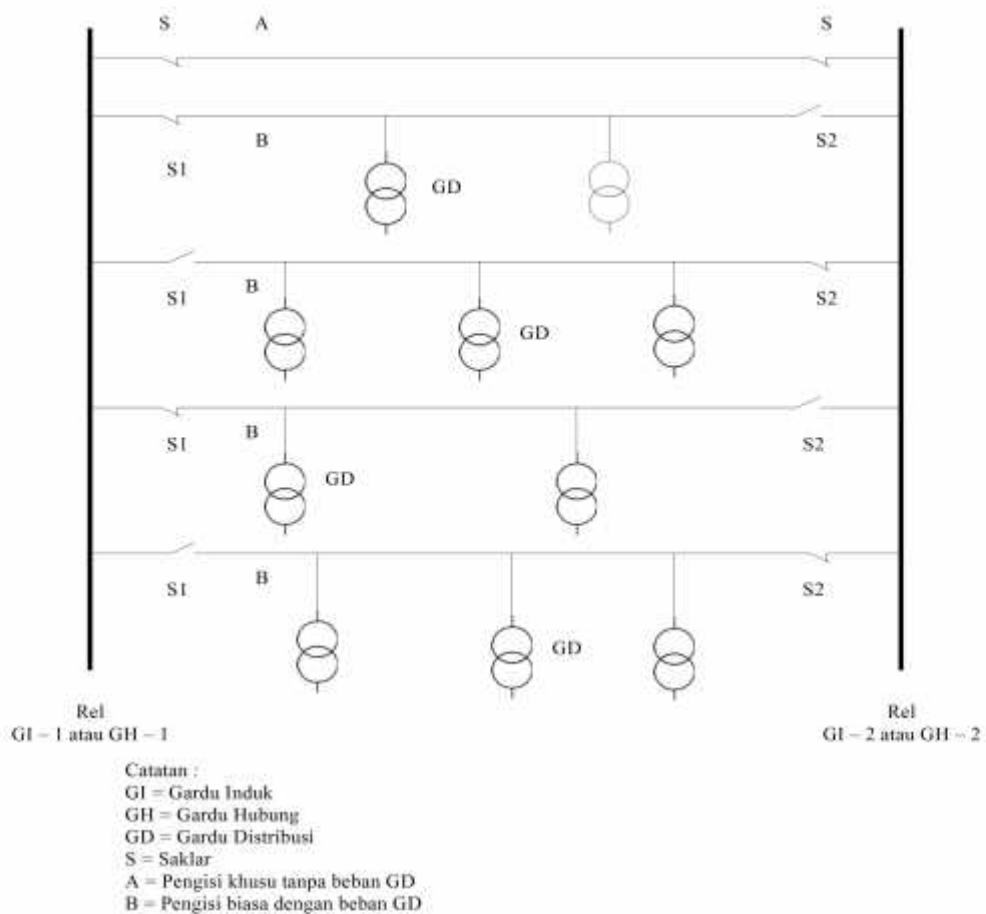
Gambar 2.8 merupakan skema prinsip dari sistem spindel. Spindel ini menghubungkan rel dari satu GI (atau GH) dengan rel dari GI (atau GH) lain. Keistimewaannya adalah bahwa selain kabel – kabel atau fider yang mengisi beberapa buah GD, terdapat satu kabel (kabel A pada Gambar 2.8), yang tidak mendapat beban GD. Kabel A ini selalu menghubungkan rel kedua GI (atau GH) itu. Sedangkan kabel – kabel B memperoleh pengisian hanya dari salah satu GI (atau GH). Pengisian dapat diatur sedemikian rupa, dari sisi I dan/atau sisi II hingga





dapat dihindari terjadinya suatu pemadaman, ataupun pemadaman terjadi secara minimal.

Sistem ini banyak dipakai di Jakarta dan kota – kota besar lainnya di Indonesia. Sistem ini memberi keandalan operasi yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel A yang relatif rendah. Bilamana kabel A terganggu maka saklar S akan bekerja, dan sistem spindel ini sementara akan bekerja sebagai suatu sistem “biasa”.<sup>3</sup>



**Gambar 2.6 Skema Prinsip Sistem Spindel**

<sup>3</sup> Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2000, hlm. 25



## 2.1 Gangguan

Gangguan adalah suatu keadaan sistem yang tidak normal, sehingga gangguan pada umumnya terdiri dari hubung singkat dan rangkaian terbuka (*open circuit*). Bila hubung singkat dibiarkan berlangsung lama pada suatu sistem daya, akan muncul pengaruh-pengaruh berikut ini :

1. Berkurangnya batas - batas keseimbangan untuk sistem daya itu.
2. Rusaknya peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus yang besar, arus yang tidak seimbang atau tegangan – tegangan rendah yang disebabkan oleh hubung singkat.
3. Ledakan - ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu hubung singkat, dan mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan yang lain.
4. Terpecah - pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengaman yang diambil oleh sistem – sistem pengaman yang berbeda - beda.<sup>2</sup>

### 1. Sebab - sebab terjadinya gangguan

Ada beberapa macam gangguan tranmisi, yang disebabkan oleh faktor alam maupun faktor lainnya. Faktor - faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi ialah :

1. Surja petir atau surja hubung  
Petir sering menyebabkan gangguan pada sistem tegangan tinggi sampai 150 - 500kV. Sedangkan pada sistem dibawah 20kV, yang menjadi sebab utama adalah surja hubung.
2. Burung  
Jika burung dekat pada isolator gantung dari saluran transmisi, maka *clearance* (jarak aman) menjadi berkurang sehingga ada kemungkinan terjadi loncatan api.
3. Polusi (debu)

<sup>2</sup>T.S.Hutauruk, *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Peralatan*, Jakarta 1991.



Debu - debu yang menempel pada *isolator* merupakan *konduktor* yang bisa menyebabkan terjadinya loncatan bunga api.

4. Pohon - pohon yang tumbuh dekat saluran transmisi.
5. Retak - retak pada isolator.

Dengan adanya retak - retak isolator maka secara mekanis apabila ada petir yang menyambar akan tembus (*break down*) pada *isolator*.<sup>2</sup>

## 2. Macam-macam gangguan

### 1. Gangguan pada saluran :

- Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui tahap hubung tanah.
- Gangguan dua fasa.
- Gangguan dua fasa ketanah.
- Gangguan satu fasa ketanah atau gangguan tanah.

### 2. Lamanya waktu gangguan :

- Gangguan permanen  
baru dapat dihilangkan atau diperbaiki setelah bagian terganggu itu di isoler dengan bekerjanya pemutus daya.

- Gangguan temporer

Gangguan temporer yaitu gangguan yang terjadi hanya dalam waktu singkat kemudian sistem kembali pada keadaan normal. Misalnya gangguan yang disebabkan oleh petir atau burung, dimana terjadi loncatan api pada isolasi udara atau minyak.

Dari berbagai macam penyebab gangguan tersebut, jenis gangguan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

1. Gangguan akibat hubung singkat.

Termasuk hubung singkat satu atau dua fasa ketanah (*ground*), hubung singkat antara dua fasa dengan tiga fasa, atau hubung singkat antara tiga fasa dengan tanah.

2. Gangguan akibat putusnya kawat penghantar (*Open Circuit*)

<sup>2</sup>T.S.Hutauruk, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga Dan Peralatan*, Jakarta 1991, hlm 4





dapat terjadi pada penghantar satu fasa, dua fasa dan tiga fasa. Dari gangguan ini menimbulkan :

- *Kontinuitas* penyaluran daya terputus.
- Penurunan tegangan yang cukup besar dapat menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik.
- Peralatan - peralatan yang terdapat pada tempat terjadinya gangguan akan rusak.

### 3. Pencegahan gangguan

Sistem tenaga listrik dikatakan baik apabila dapat mencatu atau menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dengan tingkat kehandalan yang tinggi. Kehandalan disini meliputi kelangsungan, dan stabilitas penyaluran sistem tenaga listrik. Pemadaman listrik sering terjadi akibat gangguan yang tidak dapat diatasi oleh sistem pengamanannya. Kehandalan ini akan sangat mempengaruhi kelangsungan penyaluran tenaga listrik. Naik turunnya kondisi tegangan dan catu daya listrik bisa merusak peralatan listrik.

Sebagaimana di jelaskan didepan, ada beberapa jenis gangguan pada saluran tenaga listrik yang memang tidak semuanya bisa dihindarkan. Untuk itu perlu dicari upaya pencegahan agar bisa memperkecil kerusakan pada peralatan listrik, terutama pada manusia akibat adanya gangguan. Pencegahan gangguan pada sistem tenaga listrik biasa di kategorikan menjadi dua langkah sebagai berikut:

#### 1) Usaha memperkecil terjadinya gangguan

Cara yang ditempuh antara lain :

1. Membuat isolasi yang baik untuk semua peralatan.
2. Membuat koordinasi isolasi yang baik antara ketahanan isolasi peralatan dan penangkal petir (*arrester*).
3. Memakai kawat tanah dan membuat tahanan tanah sekecil mungkin pada kaki menara, serta selalu mengadakan pengecekan.
4. Membuat perencanaan yang baik untuk mengurangi pengaruh luar mekanis dan mengurangi atau menghindari sebab – sebab gangguan karena binatang, polusi, kontaminasi, dan lain - lain.



5. Pemasangan yang baik, artinya pada saat pemasangan harus mengikuti peraturan-peraturan yang berlaku.
  6. Menghindarkan kemungkinan kesalahan operasi, yaitu dengan membuat prosedur tata cara operasional dan membuat jadwal pemeliharaan yang rutin.
  7. Memasang kawat tanah pada SUTT dan GI untuk melindungi terhadap sambaran petir.
  8. Memasang *lighting arrester* (penangkal petir) untuk mencegah kerusakan pada peralatan akibat sambaran petir.
- 2) Usaha mengurangi kerusakan akibat gangguan
- Beberapa cara untuk mengurangi akibat gangguan, antara lain sebagai berikut :
- 1) Mengurangi akibat gangguan misalnya dengan membatasi arus hubung singkat, caranya dengan menghindari konsentrasi pembangkitan atau dengan memakai impedansi pembatas arus, pemasangan tahanan, atau reaktansi untuk sistem pentanahannya sehingga arus gangguan satu fasa terbatas. Pemakaian peralatan yang tahan atau handal terhadap terjadinya arus hubung singkat.
  - 2) Secepatnya memisahkan bagian sistem yang terganggu dengan memakai pengaman lebur atau rele pengaman pemutus beban dengan kapasitas pemutusan yang memadai.
  - 3) Merencanakan agar bagian sistem yang terganggu bila harus dipisahkan dari sistem tidak akan mengganggu operasi sistem secara keseluruhan atau penyaluran tenaga listrik ke konsumen tidak terganggu. Hal ini dapat dilakukan, misal dengan :
    - Memakai saluran ganda atau saluran yang membentuk lingkaran.
    - Memakai penutup balik otomatis.
    - Memakai generator cadangan.
    - Mempertahankan stabilitas system selama terjadinya gangguan, yaitu dengan memakai pengatur tegangan otomatis yang cepat dan karakteristik kestabilan generator yang memadai.



- Membuat data pengamatan gangguan sistematis dan efektif, misalnya dengan menggunakan alat pencatat gangguan untuk mengambil langkah-langkah lebih lanjut.<sup>8</sup>

## 2.2 Sistem Pengaman

### 1. Pengertian pengaman

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan - peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, bus bar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi *abnormal* operasi sistem tenaga listrik tersebut.

### 2. Fungsi pengaman

Kegunaan pengaman tenaga listrik antara lain :

- 1) Mencegah kerusakan peralatan - peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- 2) Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- 3) Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
- 4) Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Pada saat terjadi gangguan atau ketidak normalan pada sistem tenaga listrik, misal adanya arus lebih, tegangan lebih, dan sebagainya, maka perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi kondisi gangguan tersebut. Jika dibiarkan gangguan itu akan meluas keseluruh sistem sehingga bisa merusak semua peralatan sistem tenaga listrik yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu sistem pengaman yang handal. Pengaman pada sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri atas pemutus tenaga (PMT) atau *circuit breaker* (CB) yang

---

<sup>8</sup> Edy Supriya *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*. Yogyakarta, 1999, hlm 13

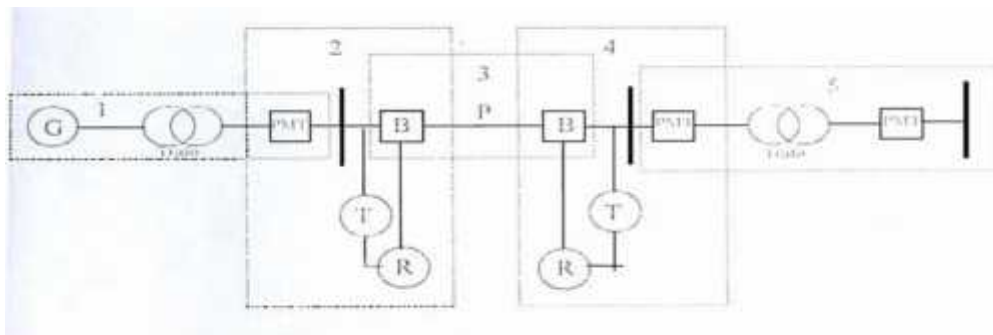


bekerja memutus rangkaian jika terjadi gangguan yang operasinya dikendalikan oleh rele pengaman.

Rusaknya peralatan yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem daya, dimana pada sistem daya proses peniadaan hubung singkat di laksanakan secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Peralatan ini sebagai sistem perlindungan atau sistem pengaman (*protection system*).<sup>8</sup>

### 3. Daerah-daerah perlindungan pengaman (proteksi)

Batas setiap daerah menentukan bagian sistem daya sedemikian rupa sehingga untuk gangguan yang terjadi didalam daerah tersebut, sistem proteksi yang bertanggung jawab akan bertindak untuk memisahkan semua gangguan yang berada di daerah itu untuk seluruh bagian yang lain dari sistem. Karena pemisah (pemutus daya = *de-energization*) dalam keadaan terganggu tadi dilakukan oleh pemutus rangkaian, jelas bahwa pada setiap titik hubungan antara peralatan didalam daerah itu dengan bagian lainnya dari sistem harus menyisipkan pemutus rangkaian



**Gambar 2.7 Daerah Proteksi**

Keterangan gambar :

- 1) Daerah perlindungan pembangkit. B=Breaker
- 2) Daerah perlindungan trafo tenaga. P=Daerah Gangguan
- 3) Daerah perlindungan ril. T=Transduser
- 4) Daerah perlindungan saluran tranmisi R=Rele
- 5) Daerah perlindungan ril. G=Generator

<sup>8</sup> Edy Supriya *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*. Yogyakarta, 1999, hlm 3



Pada gambar diatas bagian sistem daya terdiri dari satu generator, dua transformator, dua saluran transmisi dan tiga buah ril dilukiskan oleh diagram segaris. Garis putus-putus dan tertutup menunjukkan pembagian sistem daya kedalam lima daerah proteksi. Masing-masing daerah mengandung satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan kedalam dua daerah proteksi yang berdekatan. Daerah 1, misal mengandung generator, transformatornya yang berhubungan, dan saluran penghubung antara generator dan transformator itu. Daerah 3 hanya suatu saluran transmisi. Daerah 1 dan 5 masing-masing mengandung dua komponen sistem daya.

Aspek penting lainnya tentang daerah proteksi adalah bahwa daerah yang berdekatan selalu tumpang tindih (*overlap*). Hal ini memang perlu karena jika tidak demikian, maka bagian kecil sistem yang berada diantara daerah yang berdekatan, betapapun kecilnya akan dibiarkan tanpa proteksi, jika kebetulan terjadi gangguan dibagian yang saling menutupi, maka bagian yang lebih besar dari sistem daya ( yaitu yang berhubungan dengan kedua daerah yang saling tumpang tindih ) akan dipisah dan tidak akan memberikan pelayanan. Untuk itu mengurangi kemungkinan semacam ini hingga sekecil-kecilnya, bagian yang tumpang tindih dibuat sekecil mungkin.<sup>6</sup>

## 2.3 Rele Pengaman

### 1. Pengertian

Pada saat terjadi gangguan atau ketidak normalan pada sistem tenaga listrik misalnya ada arus lebih, tegangan lebih, atau sebagainya, maka perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi kondisi gangguan tersebut. Jika dibiarkan, gangguan itu akan meluas ke seluruh sistem sehingga bisa merusak seluruh peralatan sistem tenaga listrik yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut, mutlak diperlukan suatu sistem pengaman yang handal. Salah satu komponen yang penting untuk pengaman tenaga listrik adalah rele pengaman (*protection*

<sup>6</sup> D.Jr. Stevenson Wiliam, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta, 1990, hlm 319



*relay*).

Rele pengaman adalah suatu piranti, baik elektronik atau magnetic yang direncanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidak normalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan. Jika bahaya itu muncul maka rele pengaman secara otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga agar bagian terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal. Rele pengaman dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, dan lain sebagainya sesuai dengan besaran yang telah ditentukan. Alat tersebut kemudian akan mengambil keputusan seketika dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga atau hanya memberikan tanda tanpa membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga dalam hal ini harus mempunyai kemampuan untuk memutus arus hubung singkat maksimum yang melewatinya dan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat dan kemudian membuka kembali.<sup>8</sup>

## **2. Fungsi rele**

Pada prinsipnya rele pengaman yang di pasang pada sistem tenaga listrik mempunyai tiga macam fungsi yaitu :

- 1) Merasakan, mengukur, dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya.
- 2) Mengurangi gangguan kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- 3) Mengurangi pengaruh gangguan terhadap sistem yang lain yang tidak terganggu dalam sistem tersebut serta dapat beroperasi normal, juga untuk mencegah meluasnya gangguan.

## **3. Persyaratan rele pengaman**

Pada sistem tenaga listrik, rele memegang peran yang sangat penting. Pengaman berkualitas yang baik memerlukan rele pengaman yang baik pula.

---

<sup>8</sup> Edy Supriya *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*. Yogyakarta, 1999, hlm 21





Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh rele pengaman seperti tersebut dibawah ini :

1) Keterandalan (*reliability*)

Pada kondisi normal atau tidak ada gangguan, mungkin selama berbulan - bulan atau lebih rele tidak bekerja. Seandainya suatu saat terjadi gangguan maka rele tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut. Kegagalan kerja rele dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami

pemadaman semakin luas. Rele tidak boleh gagal kerja, artinya rele yang seharusnya tidak

bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan rele pengaman di tentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan, dan perawatan.

2) Selektivitas (*selectivity*)

Selektivitas berarti rele harus mempunyai daya beda (*discrimination*) terhadap bagian yang terganggu, sehingga mampu dengan tepat memilih bagian dari sistem tenaga listrik yang terkena gangguan. Kemudian rele bertugas mengamankan peralatan atau bagian sistem dalam jangkauan pengamanannya.

Tugas rele untuk mendeteksi adanya gangguan yang terjadi

pada daerah dan pengamanannya dan memberikan perintah untuk membuka

pemutus tenaga dan memisahkan bagian dari sistem yang terganggu. Letak

pemutus tenaga sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat

dipisahkan. Dengan demikian bagian sistem lainnya yang tidak terganggu jangan

sampai dilepas dan masih beroperasi secara normal, sehingga tidak terjadi

pemutus pelayanan. Jika terjadi pemutusan atau pemadaman hanya terbatas pada

daerah yang terganggu.

3) Sensitivitas (*sensitivity*)

Rele harusnya mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal



ini memberikan keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian rele harus stabil, artinya :

- a. Rele harus dapat membedakan antara arus gangguan atau arus beban maksimum.
- b. Pada saat pemasukan trafo daya, rele tidak boleh bekerja karena adanya arus *inrush*, yang besarnya seperti gangguan, yaitu 3 sampai 5 kali arus beban maksimum.
- c. Rele harus dapat membedakan adanya gangguan atau ayunan beban.

#### 4) Kecepatan kerja

Rele pengaman harus dapat bekerja dengan cepat jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja rele pengaman mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu. Hal ini untuk mencegah rele salah kerja karena transient akibat surja petir.

#### 5) Ekonomis

Satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan rele pengaman adalah masalah harga atau biaya. Rele tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik jika harganya mahal. Persyaratan reabilitas, sensitivitas, selektivitas, dan kecepatan kerja rele hendaknya tidak menyebabkan harga rele menjadi mahal. Pada dasarnya sistem perlindungan arus lebih yang digunakan pada saluran distribusi maupun pada saluran transmisi tidak berdiri sendiri artinya dalam pengoperasiannya, dibantu oleh rele lain, yaitu :

- Rele arus lebih
- Rele arah
- Rele gangguan tanah
- Rele penutup kembali (*auto reclosing*)
- Rele jarak atau impedansi
- Rele turun tegangan
- Rele waktu



- Rele perasa (statter)<sup>8</sup>

#### 2.4 Penutup Balik Otomatis (*Auto Circuit Recloser*)

*Recloser* adalah rangkaian listrik yang terdiri pemutus tenaga yang dilengkapi kotak kontrol elektronik (*Electronic Control Box*) *recloser*, yaitu suatu peralatan elektronik sebagai kelengkapan *recloser* dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini *recloser* dapat dikendalikan cara pelepasannya. Dari dalam kotak kontrol inilah pengaturan (*setting*) *recloser* dapat ditentukan.

Alat pengaman ini bekerja secara otomatis guna mengamankan suatu sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Cara bekerjanya adalah untuk menutup balik dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya, dimana pada sebuah gangguan temporer, *recloser* tidak membuka tetap (*lock out*), kemudian *recloser* akan menutup kembali setelah gangguan itu hilang. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka atau menutup balik sebanyak setting yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*).

##### 1. Fungsi *recloser*

Pada suatu gangguan permanen, *recloser* berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat, *recloser* akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian *recloser* akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

##### 2. Selang waktu penutup balik *recloser*

Ada bermacam-macam selang penutup kembali atau *recloser interval* dari *recloser* adalah sebagai berikut :

1. Menutup balik seketika atau *instantaneous reclosing*

<sup>8</sup> Edy Supriya *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*. Yogyakarta, 1999, hlm 22



Membuka kontak paling singkat, agar tidak mengganggu daerah-daerah beban yang terdiri dari motor industri, irigasi, dan daerah yang tidak boleh padam terlalu lama. Ini sering dikerjakan untuk *reclosing* pertama dari urutan *reclosing*. Kerugian dari penutup pertama adalah cukup waktu untuk menghilangkan gangguan transient, seperti gangguan akibat cabang pohon yang mengenai penghantar, benang layang-layang, ionisasi gas dari bunga api yang timbul waktu gangguan dan belum hilang dalam waktu-waktu yang relatif singkat.

## 2. Waktu tunda (time delay)

- Menutup kembali 2 detik

Diharapkan dalam selang waktu ini telah cukup waktu untuk menghilangkan gangguan, transient dan menghilangkan ionisasi gas. Bila digunakan diantara *fuse trip operational*, maka waktu 2 detik ini cukup untuk mendinginkan di fuse beban.

- Menutup kembali 5 detik.

Selang waktu ini sering digunakan diantara operasi penjatuh tunda dari *recloser substation* untuk memberikan kesempatan guna pendingin *fuse* disisi sumber, maka waktu 5 detik ini cukup untuk mendinginkan *fuse* disisi beban.

- Waktu *reclosing* yang lebih lama (*longer reclosing interval*)

Yaitu selang 10 detik, 15 detik dan seterusnya, biasanya digunakan bila pengaman cadangan terdiri dari *breaker* yang terkontrol rele. Ini memungkinkan *timing disc* pada rele lebih mempunyai cukup waktu untuk *reset*.<sup>1</sup>

## 3. Cara kerja recloser

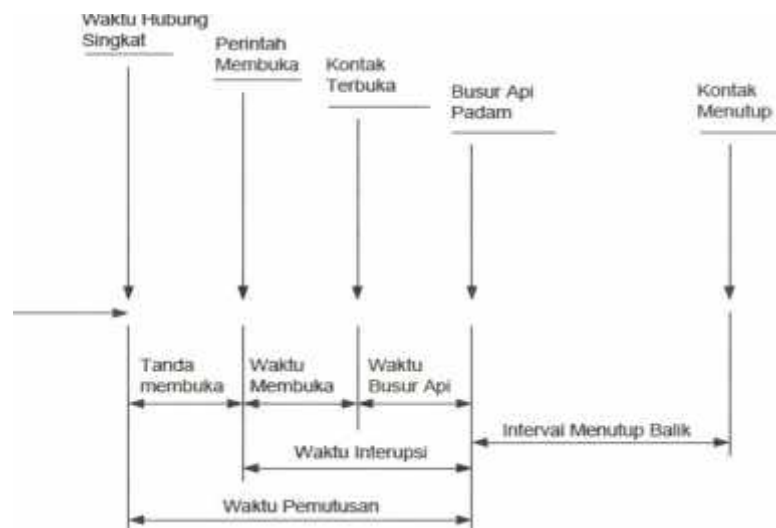
Waktu membuka dan menutup pada *recloser* dapat diatur pada kurva karakteristiknya. Secara garis besarnya adalah sebagai berikut :

1. Arus yang mengalir normal bila tidak terjadi gangguan.

<sup>1</sup> Panjaitan Bonar, Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta, 2012, hlm 252

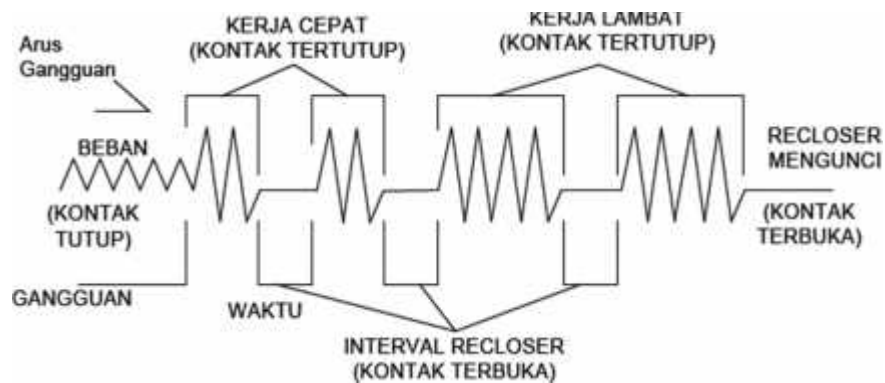


2. Ketika terjadi sebuah gangguan, arus yang mengalir melalui *recloser* membuka dengan operasi “*fast*”.
3. Kontak *recloser* akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai setting yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu adalah memberi kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
4. Apabila yang terjadi adalah gangguan permanen, maka *recloser* akan membuka dan menutup balik sesuai setting yang ditentukan dan kemudian *lock out*.
5. Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, baru dapat dikembalikan pada keadaan normal.



**Gambar 2.8 Proses Kerja Dari Auto Recloser**

Proses operasi kerja recloser dari saat mulai terjadinya arus hubung singkat sampai terjadi pembukaan kontak pemutus dayanya hingga menutup kembali kontak pemutus daya tersebut, dapat di lihat seperti gambar 2.8 sementara bentuk urutan kerja recloser dari saat mulai terjadi arus gangguan, sampai terjadi proses buka tutup untuk beberapa kali dan akhirnya melakukan penguncian dapat dilihat seperti gambar 2.9 berikut ini :



**Gambar 2.9 Bentuk Buka Tutup Hingga Mengunci Dari Recloser**

Pemakai recloser pada sistem distribusi tergantung pada peralatan-peralatan listrik dari sistem distribusi, dan koordinasinya dengan peralatan proteksi arus hubung singkat atau arus lebih yang lainnya. Recloser juga merupakan perlengkapan proteksi untuk meningkatkan keandalan saluran udara, baik pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) maupun pada saluran udara tegangan menengah (SUTM). Dalam penulisan ini hanya pada STUM yang dibicarakan. Telah diketahui bahwa jenis gangguan (STUM) terdiri gangguan sementara dan gangguan menetap.

Gangguan sementara antara lain disebabkan oleh terjadinya arus susulan pada isolator akibat petir, pengotoran (kontaminasi) dari isolator, binatang yang melintas saluran, dahan / ranting yang menyentuh saluran yang lainnya.

Gangguan menetap antara lain disebabkan karena putusya hantaran, pecahnya isolator dan lain sebagainya. Pada gangguan sementara, sesaat sesudah rele pemutus membuka dan gangguan telah hilang, maka alat pemutus dapat masuk kembali, sedangkan pada gangguan menetap sesudah alat pemutus merasakan gangguan dan membuka, maka alat pemutus tidak dapat masuk kembali sebelum gangguan diatasi.

#### **4. Klasifikasi recloser**

*Recloser* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

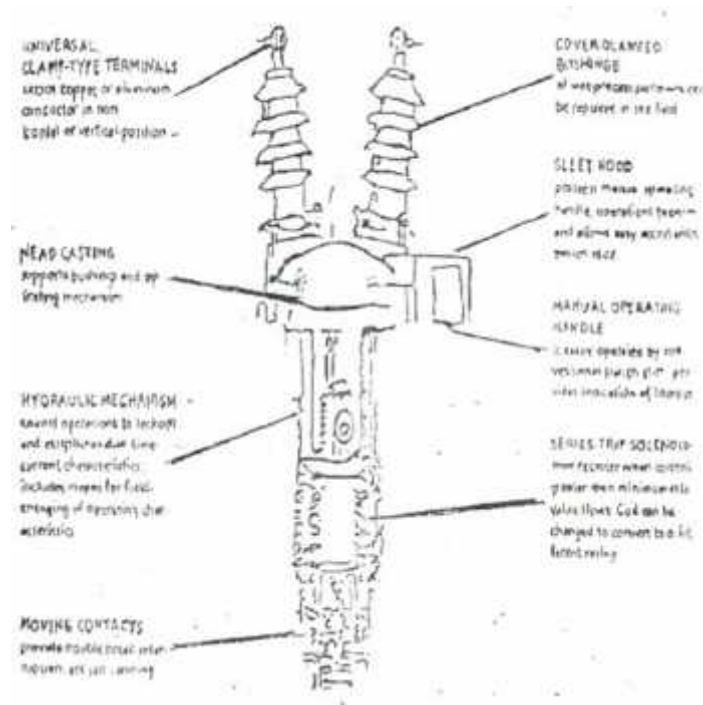
Menurut jumlah fasanya *recloser* dapat dibagi menjadi 2 yaitu :





### 1. Fasa tunggal

*Recloser* ini dipergunakan sebagai pengaman saluran fasa tunggal, misalnya saluran cabang fasa tunggal dari saluran utama fasa tiga.



**Gambar 2.10 Recloser Fasa Tunggal**

### 2. Fasa tiga

Fas tiga umumnya untuk mengamankan saluran tiga fasa terutama pada saluran utama.

- Menurut media redam busbar apinya adalah :
  - Media minyak (*Bulb Oil*)
  - Media hampa udara (*Vaccum*)
  - Media gas SF 6
- Menurut peralatan pengendalinya adalah :
  - *Recloser* terkendali *hidraulik*

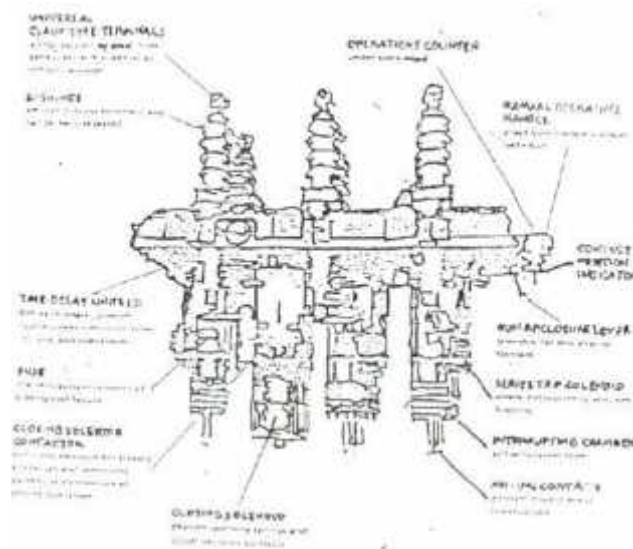
*Recloser* ini menggunakan kumparan penjatuh yang dipasang seri terhadap beban (*seri trip coil*). Bila arus yang mengalir pada *recloser* 200% dari arus setting-



nya, maka kumparan penjatuh akan menarik tuas yang secara mekanik membuka kontak utama *recloser*.

- *Recloser* terkontrol elektronik

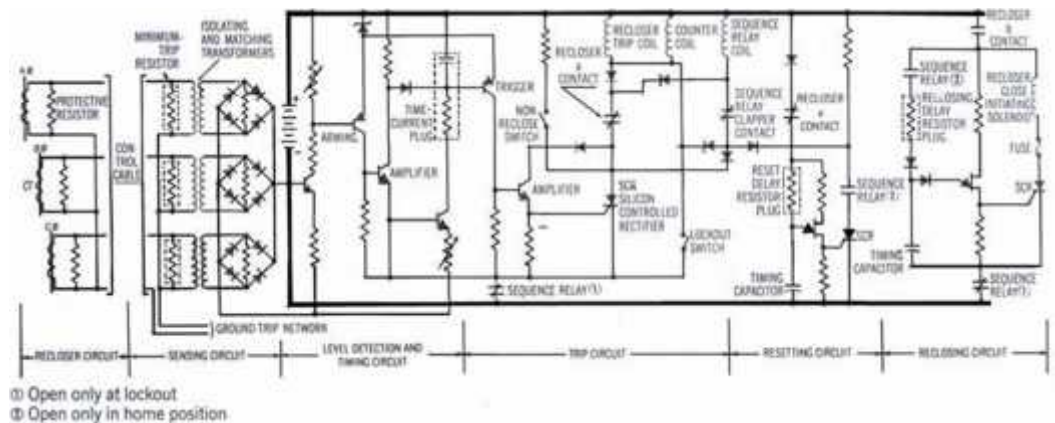
Cara kontrol elektronik lebih fleksibel, lebih mudah diatur dan diuji secara lebih teliti dibanding *recloser* terkontrol hidrolis. Perlengkapan elektrolis diletakkan dalam kotak yang terpisah. Pengubah karakteristik, tingkat arus penjatuh, urutan operasi dari *recloser* terkontrol elektronik dapat dilakukan dengan mudah tanpa mematikan dan mengeluarkan dari tangki *recloser*.



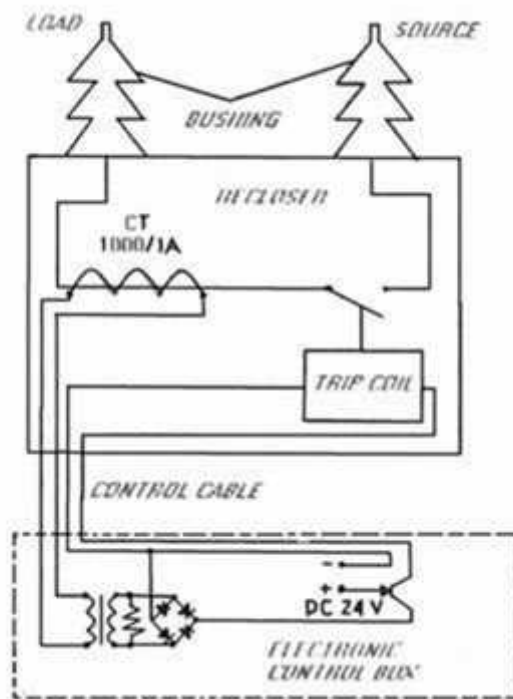
**Gambar 2.11 Recloser Tiga Fasa**

## 5. Cara pengoperasian recloser

Dalam pendeteksian gangguan *recloser* menggunakan kotak kontrol elektronik sebagai pengaturannya maka dari itu kita perlu mengetahui tentang kotak kontrol elektroniknya. Dibawah ini adalah gambar rangkaian kotak kontrol elektronis pada *Recloser*



Gambar 2.12 Rangkaian Kotak Kontrol Elektronik



Gambar 2.13 Diagram Satu Garis Current Transformer Pada Recloser

Pada gambar diatas arus jaringan yang dirasakan oleh ke3 buah bushing pada bagian *recloser circuit* yang telah diturunkan oleh *current transformer* terlebih dahulu dengan perbandingan 1000/1A akan dikirim ke kotak kontrol pada bagian *sensing circuit* (melalui *control cable*) yang secara terus menerus memonitor kondisi arus. Bila arus yang mengalir melewati harga dari *minimum trip resistor* maka *level detection and timing circuit* akan bekerja dengan mengirim sinyal ke *trip circuit* sesuai dengan kurva arus waktu yang ditentukan

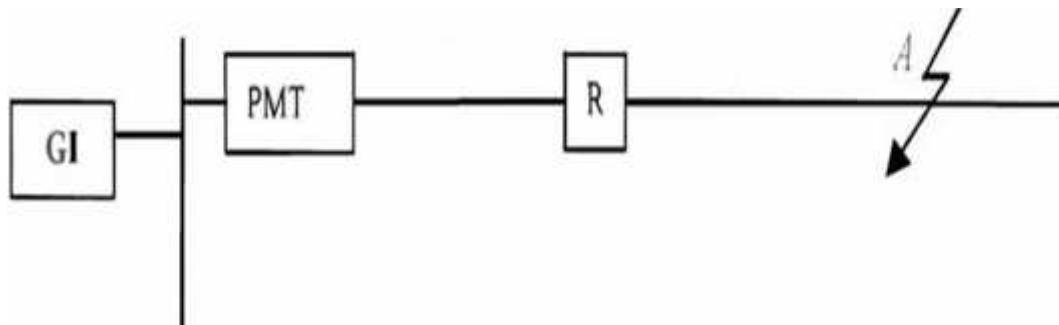


dalam *time current plug dan trip circuit* ini akan mengirim perintah ke *recloser trip coil* untuk bekerja. Setelah *recloser trip coil* bekerja maka *sequence relay* mulai bekerja sesuai dengan urutan waktu yang telah ditentukan dari waktu kerja (trip) pertama, setelah waktu yang ditentukan selesai maka *sequence relay* akan mengirim sinyal ke *reclosing circuit* yang selanjutnya mengirim perintah ke *reloser close initiating solenoid* untuk bekerja. Jika gangguan tersebut adalah gangguan permanen maka kotak kontrol elektronik tersebut akan bekerja sebanyak tiga kali dan pada trip yang ke tiga *sequence relay* pada trip circuit akan membuka sehingga *recloser* akan *lock out*.

Jika gangguan yang terjadi bersifat sesaat maka setelah *reloser close initiating solenoid* bekerja kembali dan *sensing circuit* tidak merasakan adanya arus yang melewati dari harga *minimum trip resistor* waktu yang telah ditentukan dalam *reset delay plug* maka *reset* akan bekerja dan seluruh rangkaian akan kembali seperti semula (sebelum terjadi gangguan).

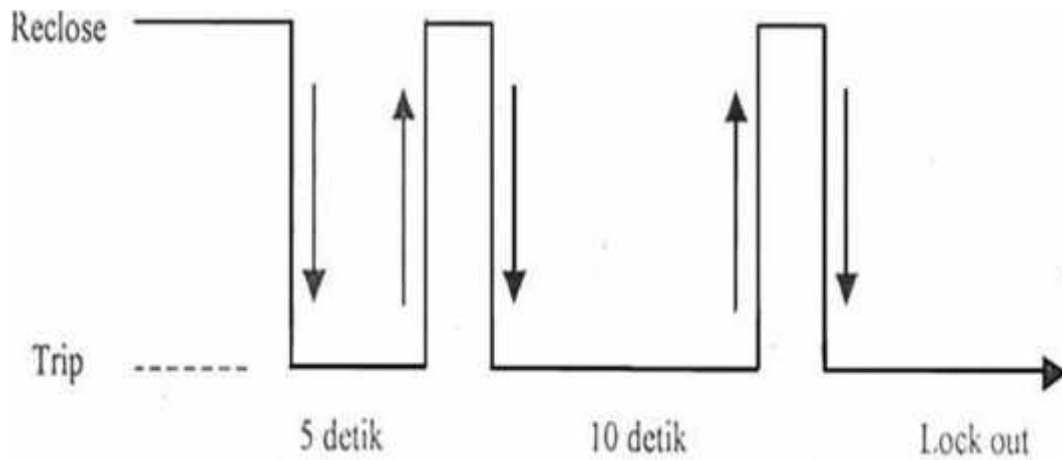
## 6. Recloser sebagai sistem proteksi pada jaringan 20 kv

### 1. Gangguan Permanen



**Gambar 2.14 Gangguan Permanen Pada Jaringan**

Jika pada daerah A terjadi gangguan permanen atau gangguan tetap maka *recloser* akan memutuskan (trip) selama tiga kali dan *recloser* akan menutup sebanyak dua kali. Untuk lebih jelasnya kita lihat grafik berikut :

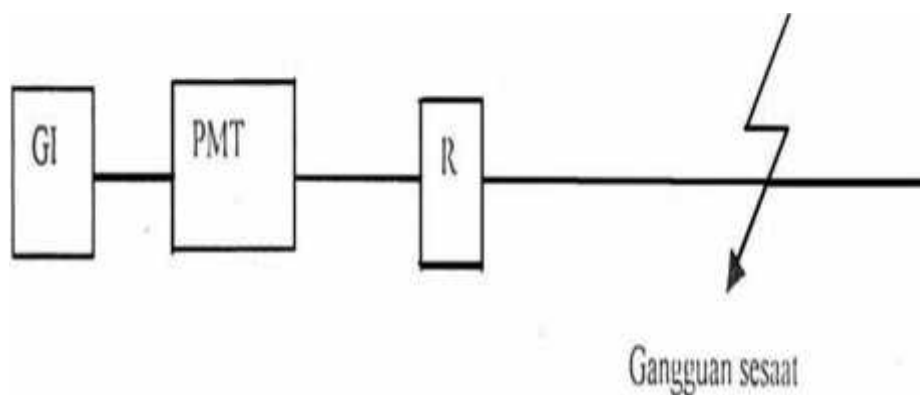


**Gambar 2.15 Grafik Pemutus *Recloser* Jika Terjadi Gangguan Tetap**

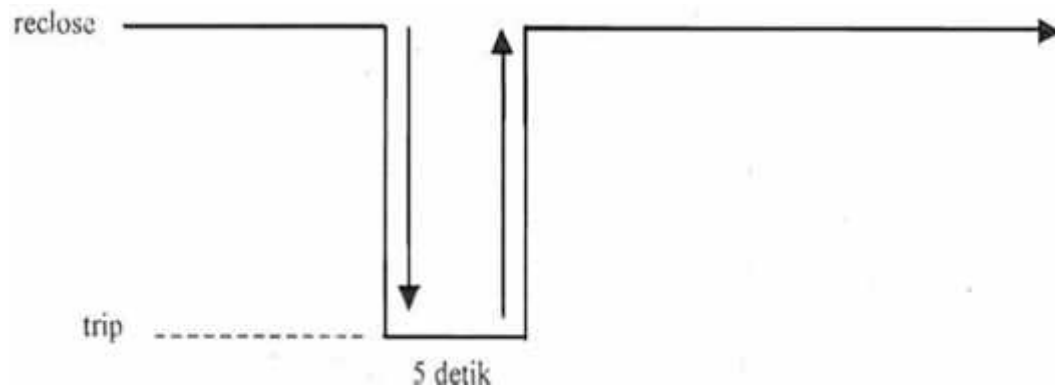
Jika terjadi gangguan permanen maka *recloser* akan memutus dan dalam waktu 5 detik *recloser* akan *reclose* atau masuk (menutup) dan karena gangguan yang terjadi adalah gangguan tetap maka *recloser* akan kembali memutus dan dalam waktu 10 detik akan kembali menutup (*reclose*) dan selanjutnya akan kembali membuka untuk yang ketiga kalinya untuk kemudian *recloser* akan *lock out* dan baru dapat dihubungkan lagi secara manual setelah daerah yang terjadi gangguan dapat diatasi.

## 2. Gangguan Sesaat

Jika terjadi gangguan sesaat akibat sambaran petir maka *recloser* akan membuka (trip) dan 5 detik kemudian akan menutup (*reclose*) kembali dan setelah itu *recloser* akan kembali beroperasi seperti biasa.



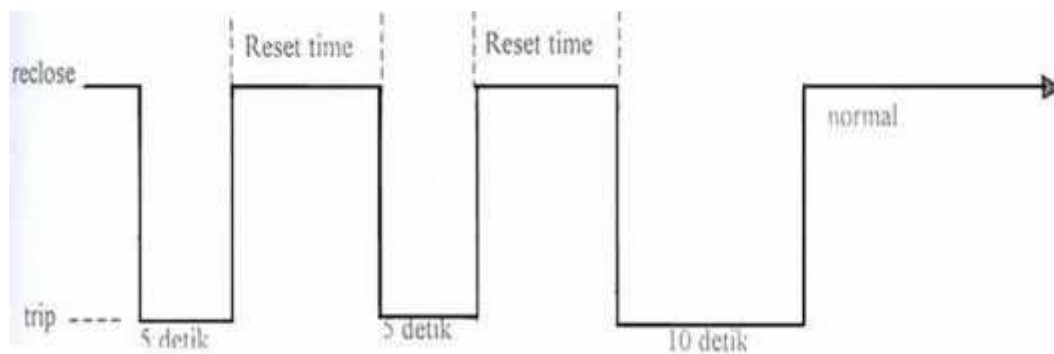
**Gambar 2.16 *Recloser* Mengalami Gangguan Sesaat**



**Gambar 2.17 Grafik Pemutus *Recloser* Jika terjadi Gangguan Sesaat**

### 3. Gangguan Semi Permanen

Jika terjadi gangguan semi permanen (biasa disebabkan oleh dahan pohon yang melintang diatas jaringan akibat terkena tiupan angin), *recloser* akan *reclose* berulang - ulang setiap gangguan terjadi tetapi apabila gangguan tersebut sudah melewati reset time. Reset time ini diatur (setting) dalam jangka waktu 60-120 detik.

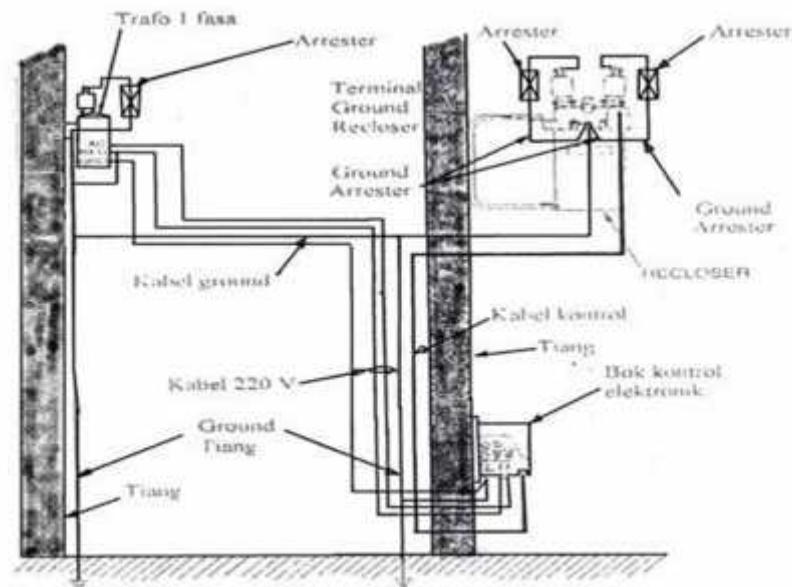


**Gambar 2.18 Grafik Pemutus *Recloser* Jika Terjadi Gangguan Semi Permanen**





## 7. Pemasangan recloser pada jaringan



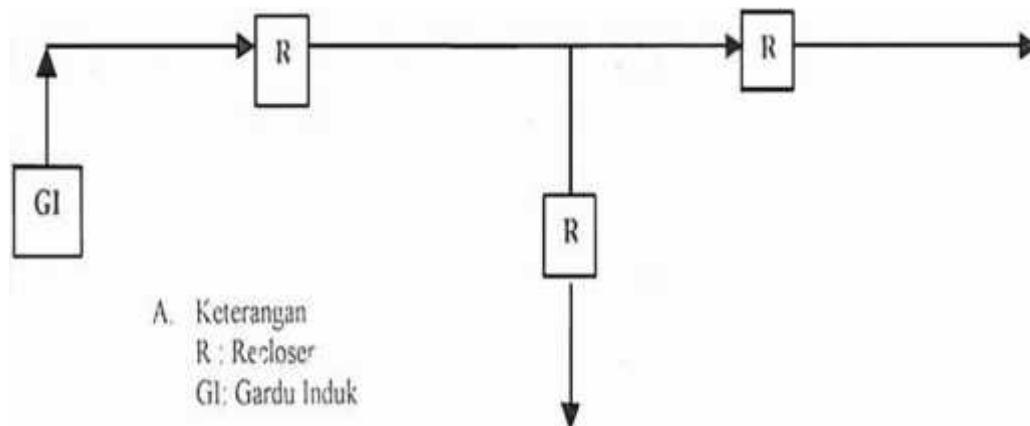
**Gambar 2.19 Pemasangan Recloser Pada Tiang Jaringan**

*Recloser* dipasang antara *PMT* pada gardu induk dengan *recloser* yang pertama (terdekat). Sedangkan untuk memasang *recloser* yang kedua tetap sama dengan pemasangan *recloser* yang kesatu atau juga dengan mempertimbangkan kondisi yang dilewati jaringan.

Tujuan dari dipasang *recloser* tersebut adalah:

- Melindungi suatu peralatan listrik yang relative nilai harganya lebih mahal atau penting, agar tidak terjadi kerusakan yang total.
- Sebagai pengaman terhadap keselamatan pekerja atau mesyarakat terhadap bahaya listrik.
- Pemasangan *recloser* sebagai sietem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 KV sederhana, sepanjang jaringan tersebut beroperasi secara radial atau satu arah.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> PLN Diklat. *Recloser*, 1999 .



**Gambar 2.20 Pemasangan Recloser Pada Jaringan Yang Beroperasi Secara Radial**

## 2.5 Keandalan Sistem Distribusi.

Keandalan system penyaluran distribusi tenaga listrik tergantung pada model susunan saluran, pengaturan operasi dan pemeliharaan serta koordinasi peralatan pengamanan. Tingkat kontinuitas dibagi antara lain :

1. Tingkat 1 : padam berjam-jam
2. Tingkat 2 : padam beberapa jam
3. Tingkat 3 : padam beberapa menit
4. Tingkat 4 : padam beberapa detik
5. Tingkat 5 : tanpa padam

Keandalan dari suatu sistem adalah kebalikan dari besarnya jam pemutusan pelayanan, jam pemutusan pelayanan dapat dihitung berdasarkan jumlah konsumen atau jumlah daya yang padam (diputus).



## 2.6 Komponen Simetris.

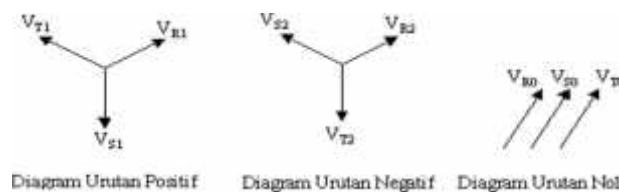
Komponen simetris lazim digunakan dalam menganalisa gangguan-gangguan yang tidak simetris didalam suatu sistim kelistrikan.

### a. Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa

Ketiga sistem simetris yang merupakan hasil uraian komponen simetris dikenal dengan nama :

- Komponen urutan positif
- Komponen urutan negatif
- Komponen urutan nol

Dari komponen vektor yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi komponen-



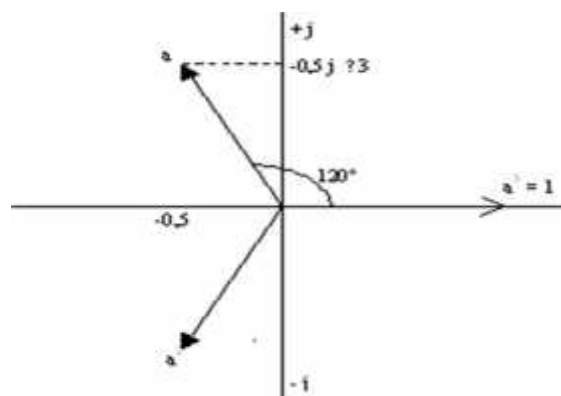
komponen simetris.

**Gambar 2.21 Diagram komponen Simetris.**

### b. Operator Vektor "a"

Pada penggunaan komponen simetris sistem 3 fasa memerlukan suatu fasor atau operator yang akan memutar rotasi dengan vektor lainnya yang berbeda sudut  $120^\circ$ . Operator yang dipakai vektor satuan adalah "a". Didefinisikan bahwa :

$$a = -\frac{1}{2} + \frac{j\sqrt{3}}{2} = \angle 120^\circ = j^{120}$$



**Gambar 2.22 Vektor Scalar "a"**