

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Agar dalam penulisan tugas akhir ini lebih ter-arah, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penulisan :

1. **Hadid Hambali, 2025**, dalam penelitian yang berjudul “Analisis Koordinasi *Setting Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) Setelah Pergantian *Current Transformer*” membahas tentang pentingnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dalam menentukan setting OCR dan GFR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan spesifikasi CT dapat mempengaruhi keandalan kerja proteksi pada jaringan distribusi.
2. **K. E. Firmansyah, L. F. Harahap, dan M. G. Sinaga, 2024**, dalam penelitian yang berjudul “Studi Kasus Gangguan Short Circuit dan Respons Proteksi pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah di Kalimantan Tengah” membahas tentang analisis kasus gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi 20 kV di wilayah Kalimantan, termasuk evaluasi respons proteksi kubikel dan recloser di PT. PLN. Penelitian ini menegaskan bahwa faktor lingkungan tropis seperti kelembaban tinggi dapat memperburuk kinerja proteksi, sehingga diperlukan pemeliharaan preventif untuk mencegah kegagalan pada penyulang radial.
3. **Abdul Multi dan Thufail Addaus, 2022**, dalam penelitian yang berjudul “Analisa Proteksi *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) pada Transformator Daya Gardu Induk” membahas tentang pengaturan *setting* OCR dan GFR berdasarkan arus nominal dan *Time Multiplier Setting* (TMS). Penelitian ini menegaskan bahwa kesalahan dalam pengaturan *setting* dapat menyebabkan ketidakselektifan proteksi dan memperbesar risiko kerusakan peralatan.
4. **R. Aditya, S. Hadi, dan T. Lestari, 2022**, dalam penelitian yang berjudul “Optimasi *Setting Proteksi Overcurrent* untuk Mengurangi Dampak Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah” membahas tentang penggunaan *software* ETAP untuk mengoptimalkan setting proteksi

overcurrent berdasarkan perhitungan arus gangguan maksimum dan minimum di jaringan 20 kV PLN. Penelitian ini menegaskan bahwa kesalahan optimasi setting dapat menyebabkan ketidakselektifan dan meningkatkan risiko kerusakan peralatan seperti kubikel tegangan menengah.

5. **A. Pratama, D. Nugroho, dan M. Siregar, 2021**, dalam penelitian berjudul “Analisis Koordinasi Proteksi Overcurrent Relay pada Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Software ETAP” membahas penerapan simulasi ETAP untuk mengevaluasi dan memperbaiki koordinasi setting OCR pada jaringan distribusi tegangan menengah. Penelitian ini menggunakan perhitungan arus hubung singkat sebagai dasar penentuan arus pickup dan waktu kerja relay. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koordinasi proteksi yang tidak tepat dapat menyebabkan relay bekerja tidak selektif, memperpanjang waktu pemutusan gangguan, serta meningkatkan potensi kerusakan pada peralatan sistem distribusi seperti transformator dan panel kubikel 20 kV.
6. **Novi Gusti Pahiyanti (2023)**, dalam penelitiannya mengenai koordinasi proteksi, menekankan bahwa sinkronisasi waktu antara *recloser* dan relay di gardu induk harus memiliki margin waktu yang cukup untuk mencegah kegagalan selektivitas proteksi.

**Tabel 1** Tinjauan Pustaka

| No | Penulis & Tahun               | Judul Penelitian                                                             | Metodologi                                                                | Hasil dan Kesimpulan                                                       | Gap Penelitian                                                                                                                             |
|----|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Hadid Hambali (2025)          | Analisis Koordinasi Setting OCR dan GFR Setelah Pergantian CT                | Perhitungan matematis dampak rasio CT terhadap arus pickup.               | Perubahan spesifikasi CT mempengaruhi keandalan kerja proteksi.            | Berfokus pada pengaruh Spesifikasi (CT), sementara penelitian ini berfokus pada koordinasi sistem proteksi secara menyeluruh di penyulang. |
| 2  | K. E. Firmansyah, dkk. (2024) | Studi Kasus Gangguan Short Circuit dan Respons Proteksi di Kalimantan Tengah | Observasi lapangan dan analisis data gangguan historis di wilayah tropis. | Faktor lingkungan mempengaruhi kinerja alat; perlu pemeliharaan preventif. | Menitikberatkan pada faktor eksternal sedangkan penelitian ini berfokus pada analisis teknis penyetelan relay melalui simulasi.            |

| No | Penulis & Tahun                     | Judul Penelitian                                                                        | Metodologi                                                                                         | Hasil dan Kesimpulan                                                                                                      | Gap Penelitian                                                                                                                                    |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Abdul Multi & Thufail Addaus (2022) | Analisa Proteksi OCR dan GFR pada Transformator Daya Gardu Induk                        | Analisis deskriptif perhitungan setting berdasarkan arus nominal trafo.                            | Kesalahan setting memperbesar risiko kerusakan peralatan utama (Trafo).                                                   | Berlokasi pada proteksi internal trafo di GI, sedangkan penelitian penelitian ini berfokus pada penyulang distribusi.                             |
| 4  | R. Aditya, dkk. (2022)              | Optimasi Setting Proteksi Overcurrent Menggunakan Software ETAP                         | Simulasi optimasi arus gangguan maks/min menggunakan ETAP.                                         | Optimasi setting yang buruk meningkatkan risiko kerusakan pada kubikel.                                                   | Fokus pada optimasi umum jaringan, sementara penelitian ini melakukan studi kasus spesifik pada Penyulang PRY09 dengan data beban yang ada.       |
| 5  | A. Pratama, dkk. (2021)             | Analisis Koordinasi Proteksi OCR pada Jaringan 20 kV Menggunakan ETAP                   | Komparasi perhitungan manual dengan simulasi software ETAP.                                        | Koordinasi yang tidak tepat memperlama pemutusan gangguan.                                                                | Hanya mengevaluasi OCR, sedangkan penelitian ini mengevaluasi OCR, GFR, dan koordinasi spesifik dengan Recloser.                                  |
| 6  | Novi Gusti Pahiyanti (2023)         | Koordinasi Proteksi Jaringan Distribusi                                                 | Analisis sinkronisasi waktu (time grading) antar peralatan proteksi.                               | Perlunya margin waktu yang cukup untuk menjamin selektivitas.                                                             | Fokus pada teori selektivitas, sedangkan penelitian ini mengimplementasikannya langsung pada koordinasi PMT GI dan <i>Recloser</i> di pengyulang. |
| 7  | Putra Tanjung (2025)                | Analisis Gangguan Hubung Singkat dan Kinerja Sistem Proteksi 20 kV Pada Penyulang PRY09 | Pemodelan sistem radial pada ETAP 19.0.1 dan komparasi setting eksisting dengan hasil re-evaluasi. | Mengoptimalkan koordinasi proteksi (OCR, GFR, Recloser) untuk meningkatkan selektivitas dan kecepatan pemutusan gangguan. | Penelitian ini mengisi celah dengan melakukan studi komprehensif dari PMT GI hingga Recloser ujung di Penyulang PRY09.                            |

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Secara fundamental, suatu Sistem Tenaga Listrik merupakan struktur kompleks yang terdiri atas beberapa subsistem yang saling berkaitan:

1. Sistem Pembangkit
2. Sistem Transmisi dan Gardu Induk
3. Sistem Distribusi
4. Sistem Sambungan Pelayanan

Keempat sistem ini membentuk satu kesatuan yang menjamin energi listrik tersalurkan dari sumber pembangkit hingga ke titik beban konsumen akhir. **(Syarifuddin & Rif'an, 2022)**

### **2.2.2 Sistem Distribusi**

Sistem distribusi merupakan bagian dari subsistem tenaga listrik yang berinteraksi langsung dengan pelanggan. Secara teknis, sistem ini terbagi menjadi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan nominal tegangan antara 3 kV sampai 20 kV, serta Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan level tegangan 380 V (antar fasa) atau 220 V (fasa ke netral) **(Pratama dkk., 2021)**. Pembagian ini bertujuan untuk menyesuaikan kebutuhan teknis penyaluran energi dengan jenis beban yang digunakan oleh konsumen.

**Fungsi utama sistem distribusi** adalah:

1. Menyalurkan energi listrik dari sumber ke konsumen dengan tingkat keandalan yang tinggi.
2. Menyediakan tegangan listrik yang stabil dan sesuai standar untuk berbagai jenis beban.
3. Melindungi peralatan dan jaringan dari gangguan listrik melalui sistem proteksi.
4. Memungkinkan pengendalian dan pemeliharaan jaringan secara efektif.

**Komponen utama sistem distribusi tenaga listrik** meliputi:

- **Jaringan Distribusi:** terdiri dari saluran udara (overhead lines) dan kabel bawah tanah (underground cables) yang menghubungkan gardu distribusi dengan konsumen.
- **Gardu Distribusi (Distribution Substation):** berfungsi menurunkan tegangan dari tingkat transmisi ke tingkat distribusi dan mengatur aliran daya.
- **Peralatan Proteksi:** seperti relay, pemutus sirkuit (circuit breaker), dan recloser yang berfungsi mendeteksi dan memutus aliran listrik saat terjadi gangguan.
- **Peralatan Pengukuran dan Pengendalian:** untuk monitoring kondisi jaringan dan pengaturan operasi sistem distribusi.
- **Konsumen:** pengguna akhir listrik yang dapat berupa rumah tangga, industri, atau komersial.

Operasional sistem distribusi umumnya mencakup level tegangan menengah, seperti 20 kV atau 24 kV, serta tegangan rendah 220/380 V yang disesuaikan dengan profil beban konsumen. Dalam proses penyalurannya, sistem ini rentan terhadap gangguan hubung singkat yang dipicu oleh faktor internal maupun eksternal, sehingga integrasi sistem proteksi yang handal menjadi prasyarat utama dalam menjaga keandalan dan keamanan infrastruktur kelistrikan (Wicaksono, 2022).

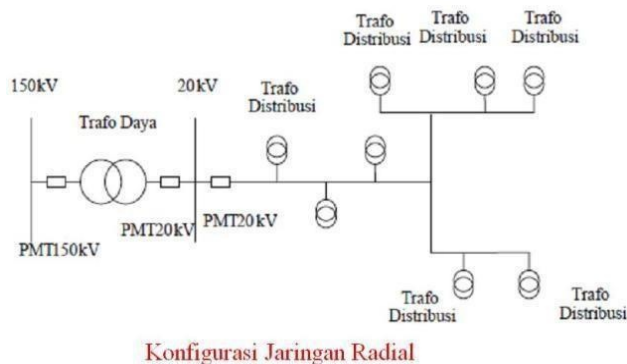
### 2.2.3 Jaringan Sistem Distribusi

#### 1. Jaringan Distribusi Radial

Sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan vital dalam menyalurkan energi dari Gardu Induk menuju konsumen akhir. Salah satu konfigurasi yang secara luas diimplementasikan oleh PT PLN (Persero) adalah sistem distribusi radial. Pada topologi ini, setiap penyulang (*feeder*) hanya dipasok oleh satu sumber tenaga listrik yang mengalir ke beban melalui jalur tunggal tanpa adanya skema cadangan (*backup line*). Keunggulan utama dari sistem radial meliputi konstruksi yang sederhana, biaya investasi dan operasional yang ekonomis, serta kemudahan dalam prosedur pemeliharaan. Namun, sistem ini memiliki kelemahan signifikan pada tingkat keandalannya, di mana gangguan tunggal pada jalur utama

dapat menyebabkan pemadaman total pada seluruh area hilir penyulang (**Pratama dkk., 2021**).

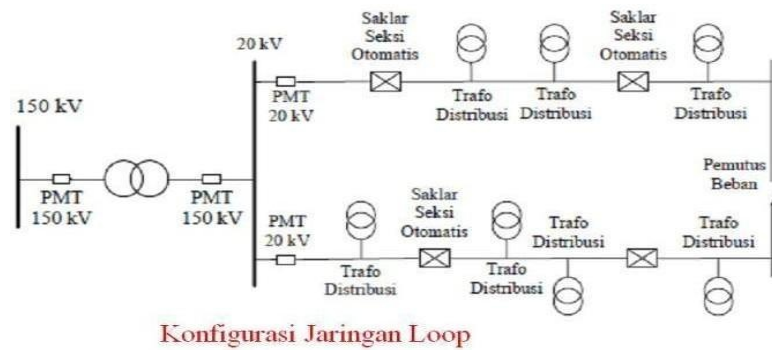
Dalam praktiknya, konfigurasi radial banyak diaplikasikan pada jaringan distribusi tegangan menengah dengan level tegangan nominal 20 kV hingga 24 kV, baik di wilayah urban maupun rural dengan karakteristik beban yang tidak terlalu kritis. Mengingat ketergantungan sistem pada jalur tunggal, maka efektivitas perlindungan jaringan sangat bertumpu pada kinerja kubikel serta keakuratan koordinasi peralatan proteksi, khususnya *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) (**Wicaksono, 2022**).



**Gambar 1** Konfigurasi Jaringan Sistem Radial

## 2. Jaringan Distribusi Bentuk Tertutup ( Loop )

Sistem distribusi konfigurasi *loop* dirancang dengan menginterkoneksi ujung-ujung penyulang guna membentuk suatu sirkuit tertutup. Melalui topologi ini, distribusi energi listrik dari Gardu Induk menuju titik beban memiliki fleksibilitas karena dapat dipasok dari dua arah yang berbeda. Keunggulan utama sistem ini terletak pada tingkat keandalannya yang tinggi; apabila terjadi gangguan pada segmen tertentu, aliran daya dapat dialihkan melalui jalur alternatif (*maneuver*) sehingga kontinuitas pelayanan tetap terjaga. Namun, implementasi sistem *loop* memerlukan investasi biaya konstruksi yang lebih besar serta menuntut skema pengoperasian dan deteksi gangguan yang lebih kompleks dibandingkan sistem radial (**Situmorang, 2021**).

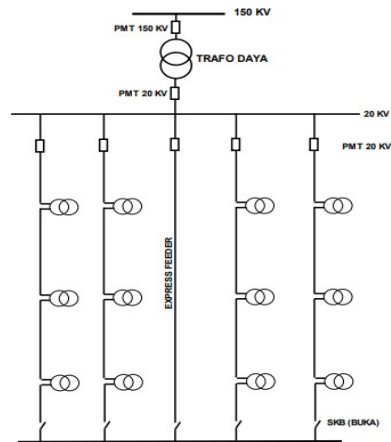


**Gambar 2** Konfigurasi Jaringan Sistem Loop

### 3. Jaringan Distribusi Spindel

Sistem distribusi konfigurasi spindel merupakan bentuk pengembangan dari sistem distribusi radial yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi penyaluran energi. Secara struktural, konfigurasi ini terdiri atas satu penyulang utama (*express feeder*) yang berfungsi sebagai tulang punggung (*backbone*) penyaluran, yang kemudian bercabang menjadi beberapa penyulang lateral untuk menyuplai gardu distribusi atau konsumen. Karakteristik percabangan ini membentuk pola yang menyerupai tulang ikan (*fishbone*), sehingga sering dikategorikan sebagai modifikasi sistem radial yang efisien (Pratama dkk., 2021).

Keunggulan sistem spindel meliputi efisiensi penggunaan material konduktor serta fleksibilitas yang tinggi dalam pengembangan jaringan guna mengakomodasi pertumbuhan beban baru. Topologi ini sangat relevan diaplikasikan pada area dengan persebaran beban yang luas, seperti kawasan pemukiman, pedesaan, maupun perkebunan. Namun, sistem ini memiliki keterbatasan dalam aspek keandalan; gangguan pada *feeder* utama berpotensi menyebabkan kegagalan suplai pada seluruh cabang di hilirnya. Oleh karena itu, koordinasi proteksi yang presisi antara *Over Current Relay* (OCR), *Ground Fault Relay* (GFR), dan pengaman lebur (*fuse*) menjadi faktor krusial untuk menjamin selektivitas dan meminimalisir dampak pemadaman akibat gangguan hubung singkat (Situmorang, 2021)."

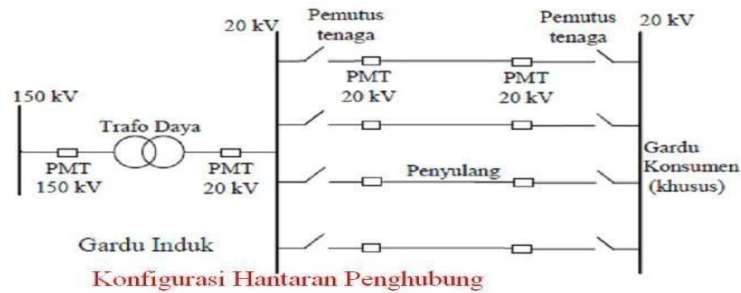


**Gambar 3** Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel

#### 4. Konfigurasi Tie Line (hantaran penghubung)

Konfigurasi *tie line* atau hantaran penghubung merupakan skema pengembangan dari sistem distribusi radial yang diintegrasikan untuk meningkatkan indeks keandalan penyaluran tenaga listrik. Secara teknis, sistem ini menghubungkan dua atau lebih penyulang (*feeder*) utama melalui sebuah penghantar cadangan (*tie line*) yang pada kondisi operasi normal berada dalam posisi terbuka (*Normally Open*). Apabila terjadi gangguan atau pelaksanaan pemeliharaan pada salah satu penyulang, *tie line* dapat dioperasikan (ditutup) untuk melakukan manuver beban ke penyulang lain yang sehat. Mekanisme ini memastikan kontinuitas pasokan energi tetap terjaga dan meminimalisir durasi pemadaman pada sisi konsumen (Situmorang, 2021).

Implementasi *tie line* menawarkan fleksibilitas operasional yang tinggi dan kemudahan dalam manajemen transfer beban. Namun, konfigurasi ini menuntut biaya investasi infrastruktur yang lebih besar dibandingkan sistem radial murni, serta memerlukan skema koordinasi proteksi yang lebih kompleks. Kompleksitas ini muncul karena perlunya penyesuaian selektivitas relay *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) guna menghindari kesalahan deteksi saat arus beban berpindah jalur (Wicaksono, 2022). Oleh karena itu, konfigurasi ini umumnya diterapkan pada kawasan dengan densitas beban tinggi dan kritis, seperti area industri, fasilitas kesehatan, dan pusat bisnis utama.



**Gambar 4** Konfigurasi jaring hantaran penghubung (Tie Line)

#### 2.2.4 Klasifikasi Gangguan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV

##### 1. Pengertian hubung singkat dan klasifikasi gangguan

Gangguan adalah kelainan (gangguan) pada sistem kelistrikan, dan arus yang tidak seimbang mengalir pada sistem tiga fasa. Gangguan juga dapat didefinisikan sebagai gangguan yang mencegah aliran normal arus ke beban. Gangguan seperti ini harus dilakukan Analisa gangguan tujuannya :

1. Pemeriksaan rele proteksi untuk koordinasi pengoperasiannya
2. Menentukan kapasitas PMT terhadap rating arusnya
3. Mengetahui berapa besar gangguan yang terjadi pada Sistemnya

##### 2. Klasifikasi Gangguan Berdasarkan Lamanya Gangguan

###### A. Gangguan temporer atau sementara

Gangguan seperti ini bersifat sementara atau temporer yaitu gangguan terjadi sesaat dibagian yang terganggu dari sisi sumber tegangannya dan biasanya disebabkan karena adanya surja hubung atau petir pada penghantar listrik yang menyebabkan *flashover* antar penghantar dan biasanya juga diakibatkan dari pohon yang menyentuh antar fasa atau salah satu penghantar dan menimbulkan gangguan satu fasa ke tanah

###### B. Gangguan permanen

Gangguan ini merupakan gangguan yang sukar dihilangkan dengan cepat dikarenakan membutuhkan waktu dan proses yang lama dan berbeda seperti gangguan sementara dan untuk memperbaiki

gangguan permanen perlu memerlukan Tindakan perbaikan yang serius dan cepat sehingga bisa diopersikan setelah diperbaiki atau diganti

## 2. Berdasarkan Kesimetrisannya

1. Gangguan Asimetris itu gangguan yang mana tegangannya mengakibatkan arus yang mengalir pada tiap – tiap fasanya tidak seimbang contoh dari gangguan ini yaitu gangguan hubung singkat *line to ground* (satu fasa ke tanah), gangguan hubung singkat *line to line* (dua fasa) dan gangguan hubung singkat *line to line to ground* (dua fasa ke tanah)
2. Gangguan Simetris adalah gangguan dimana arus dan tegangan pada semua fasanya tetap seimbang sesudah mengalami gangguan contoh dari gangguan ini yaitu gangguan hubung singkat *line to line to line* (tiga fasa), dan hubung singkat *line to line to line to ground* (tiga fasa ke tanah)

## 3. Komponen Simetris Untuk Gangguan Hubung Singkat

### 1. Komponen Urutan Positive

komponen yang terdiri dari tiga pospor dengan ukuran yang sama ukurannya, dipisahkan oleh  $120^\circ$  dan dengan urutan langkah yang sama seperti aslinya. Ketika sistem dalam kondisi normal, hanya ada arus dan tegangan urutan positif, sehingga impedansi sistem urutan positif dalam kondisi normal.

### 2. Komponen Urutan Negatif (*Negative Sequence Components*)

Komponen yang terdiri dari tiga pospor dengan ukuran yang sama, dipisahkan oleh 120 derajat, dan memiliki urutan fase yang berlawanan dengan pospor. Jika dalam keadaan normal hanya ada komponen urutan positif, hanya ada komponen urutan negatif pada saat kegagalan.

### 3. Komponen Urutan Nol (*Zero Sequence Components*)

Komponen yang tidak ada pergeseran fasa dengan fasa yang lain dengan yang lainnya dan terbuat dari tiga fasor yang

sama ukurannya Karena arus dan tegangan dari komponen urutan-nol itu sefasa, arus urutan-nol yang mengalir dalam sistem memerlukan sambungan balik (*return connection*) melalui ground netral sistem.

#### 4. Faktor - Faktor yang menyebabkan gangguan hubung singkat

Sistem daya listrik yaitu Sistem yang mencakup beberapa komponen dan bersifat kompleks. Sehingga ada beberapa faktor yang menjadi penyebab terjadinya gangguan pada Sistem tersebut, diantaranya:

##### a. Faktor Manusia

Faktor ini berkaitan dengan kelalaian manusia terhadap suatu Sistem tersebut Misalnya kesalahan dalam menyambung rangkaian,

##### b. Faktor Internal

Berkaitan dengan kegagalan dalam sistem itu sendiri. Misalnya, usia penggunaan (umur). Akibatnya dapat mengurangi persyaratan Sistem proteksi

##### c. Faktor eksternal

Merupakan Faktor yang disebabkan dari luar lingkungan sekitar sistem. Seperti bencana alam, pengaruh hewan – hewan yang tinggal di dekat daerah tersebut.

### 2.2.5 Sistem Proteksi

#### 1. Teori Sistem Proteksi

Proteksi Sistem tenaga listrik merupakan suatu Sistem yang digunakan sebagai pengaman dan akan bekerja apabila terjadi suatu gangguan pada operasi Sistemnya, kondisi abnormal itu berupa gangguan, seperti beban yang berlebih, tegangan yang berlebih dan memiliki frekuensi yang rendah. Sistem Proteksi ini harus bisa memutuskan atau menghentikan arus gangguan sebelum arus gangguan merusak peralatan – peralatan Sistem

tenaga listrik dan untuk pemeliharaan perangkat proteksi sebaiknya memiliki “breaking capacity” dan *repturing capacity*. Sistem proteksi memiliki beberapa fungsi berikut:

- a. Optimalnya kinerja sistem proteksi berbanding lurus dengan tingkat keamanan peralatan. Dengan waktu pemutusan gangguan yang lebih cepat, risiko kerusakan permanen pada komponen sistem akibat kondisi abnormal dapat diminimalisir secara signifikan.
- b. Untuk memperkecil jangkauan daerah yang terganggu sehingga tidak akan merusak daerah yang aman
- c. Menyediakan pelanggan dengan kualitas listrik yang sangat baik serta layanan perlindungan keandalan yang tinggi
- d. Melindungi makhluk hidup dari bahaya yang diakibatkan apabila terjadi suatu gangguan

2. Sistem proteksi dalam pembagian tugas :

a. Proteksi Utama

Memiliki tujuan menambah *flexibilitas*, keandalan, serta kecepatan kerja sebuah sistem perlindungan terhadap daerah yang dilindungi

b. Proteksi Cadangan

Bekerja apabila terjadi kegagalan dan tidak berfungsi (*error*) pada saat memprediksi gangguan yang terjadi.

c. Proteksi Tambahan

Bekerja untuk untuk membantuproteksi utama pada daerah yang membutuhkanpengaman atau proteksi

3. Zona Proteksi

Dalam upaya meminimalisir area yang terdampak oleh gangguan, sistem tenaga listrik diklasifikasikan ke dalam beberapa zona proteksi yang terintegrasi. Prinsip utama dalam pembagian ini adalah setiap zona harus dirancang saling tumpang tindih (*overlap*) pada titik perbatasannya. Hal ini bertujuan untuk

memastikan tidak adanya bagian sistem yang tidak terproteksi (*blind spot*), sehingga setiap segmen jaringan tetap berada dalam jangkauan pengamanan peralatan proteksi guna menjamin keandalan sistem secara menyeluruh (Syarifuddin & Rif'an, 2022). Tiap zona proteksi dibatasi oleh pemutus tenaga (*circuit breaker*). Apabila telah menerima instruksi dari *relay*, CB akan memutus dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami gangguan.

1. Zona Proteksi Utama (*Main Protection*)

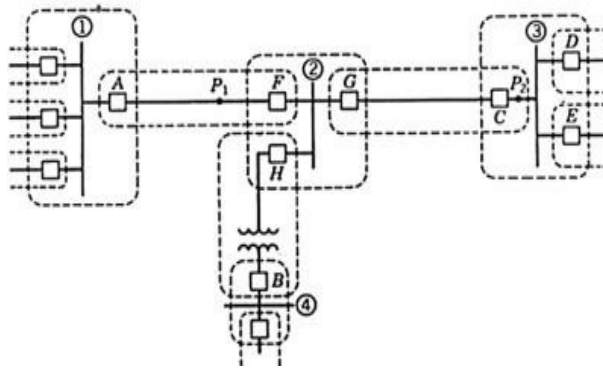
Proteksi ini menjadi pilihan pertama dalam membebaskan dan mengisolasi kondisi abnormal (gangguan) di sistem tenaga listrik. Suatu sistem dapat terdiri atas dua atau lebih proteksi utama (SPLN T5.002-1: 2010).

2. Zona Proteksi Pendukung (*Backup Protection*)

Agar meningkatkan keandalan sistem proteksi (*dependabilitas*), zona pendukung (cadangan) diperlukan dalam mengantisipasi jika terjadi kegagalan proteksi pada proteksi utama (SPLN T5.002-1: 2010). Proteksi cadangan terdiri dari :

1. Proteksi cadangan lokal yaitu proteksi yang akan bekerja jika proteksi utama gagal dalam membebaskan/mengisolasi gangguan pada sistem tenaga listrik di daerah yang sama. Contoh : *over current relay*.
2. Proteksi cadangan jauh yaitu proteksi yang akan bekerja jika proteksi utama gagal dalam membebaskan/mengisolasi gangguan pada sistem tenaga listrik di daerah lainnya. Contoh : *Z2 relay jarak (distance relay)*.

Proteksi cadangan lokal dirancang dengan koordinasi waktu proteksi yang bekerja lebih lama dibandingkan dengan proteksi cadangan jauh. Sehingga kestabilan sistem mungkin sekali dikorbankan demi keselamatan peralatan akibat dari *time delay* proteksi cadangan lokal yang cukup lama. Namun, hal ini berguna agar pemadaman tidak meluas meskipun dimungkinkan efektivitas kerja proteksi cadangan jauh lebih baik daripada proteksi cadangan lokal. Dan dapat disimpulkan bahwa demi mempertahankan keselamatan peralatan, proteksi cadangan lokal merupakan cadangan proteksi terakhir pada seksi yang berdekatan.



**Gambar 5** Zona Proteksi

### 2.2.6 Instrument Sistem Proteksi

#### a) PBO (Penutup Balik Otomatis)

Alat ini merupakan susunan yang terdiri dari (PMT) yang sudah lengkap sama box control elektronik *Recloser*, di mana pada komponen dapatdikendalikan secara manual. Didalam box control ini nilai *setting* pada *Recloser* bisa ditentukan. Komponen ini berfungsi sebagaipengaman terhadapSistem arus lebih secara otomatis yang diakibatkan adanya gangguan *short circuit*. Cara kerja *Recloser* sendiri, jika gangguan bersifat temporer atau sementara, alat ini akan menutup balik (posisi *lock out*) dan membuka dengan sendirinya dengan *setting* waktu yang dapat ditentukan sendiri, namun apabila gangguan tidak hilang dengan sendirinya *Recloser* akan menetap di posisi *lock out*



**Gambar 6** Pentup Balik Otomatis

b) *Sectionalizer* (SSO)

Berfungsi untuk bertindak sebagai perangkat pelindung yang bekerja sebagai pemutus otomatis dan melepaskan komponen yang gagal dari sistem jaringan distribusi sebagai pemutus arus gangguan, dikarenakan yang umumnya dipakai dalam hubungan Penutup Balik Otomatis (PBO). SSO ini berfungsi memutuskan rangkaian yang mampu memisahkan saluran khusus dalam beberapa bagian, sehingga saat terjadi kondisi abnormal yang cukup bahaya atau permanen, atau jaringan yang harus dilepaskan didekat daerah gangguan menjadi berkurang sedikit.

c) Pengaman lebur

Pengamanan lebur bertindak sebagai pemutus sirkuit yang dirancang khusus dan menyesuaikan bentuknya untuk memutus sirkuit tempat pengecoran dipasang dan ketika arus melebihi nilai dari waktu ke waktu, arus terputus. Tujuannya adalah untuk sepenuhnya menghilangkan gangguan yang permanen. , jadi perangkat ini dibuat melebur saat nilai arus melebihinya

d) Relay proteksi

Relay ini merupakan alat, bersifat magnetik maupun elektronik yang mendeteksi keadaan apabila terjadi gangguan dikomponen yang memungkinkan atau merusak, apabila gangguan terjadi, relay pengaman yang dapat dicontrol untuk pemutus tenaga agar daerah yang terjadi kondisi abnormal dapat terpisah dari Sistem yang normal. Ada banyak relay proteksi.

*Relay* mampu mendeteksi gangguan yang terjadi pada komponen yang perlu dijaga dengan cara membandingkan dan mengukur besaran yang sudah diatur besarnya,

Pada prinsipnya, relay proteksi memiliki 3 fungsi, yaitu :

- 1) Mendeteksi kegagalan seperti yang akan merusak Sistem
- 2) Mengukur tingkat gangguan pada sistem jaringan
- 3) Perintahkan Pemutus untuk memutus supaya tidak meluas atau tertutup

### **2.2.7 Persyaratan Sistem Proteksi**

#### **1. Selektif (*Selectivity*)**

Selektif suatu Sistem yaitu mampu mengisolir daerah jaringan yang sedang mengalami gangguan

#### **2. Kepekaan (*Sensitive*)**

Sensitivitas artinya rele bisa merasakan arus dan mendeteksi arus abnormal sekecil apapun dilokasi pengamannya, termasuk daerah aman, jauh dan dekat.

#### **3. Keandalan (*Reability*)**

Keandalan adalah tingkat keyakinan bahwa tindakan keamanan akan berhasil. Dalam keadaan normal, proteksi seharusnya tidak berfungsi atau berfungsi saat dibutuhkan dan tidak akan berfungsi saat tidak diperlukan.

#### **4. Kecepatan (*Speed*)**

Kecepatan merupakan persyaratan sistem proteksi jika bagian jaringan yang terkena perlu diputus dari sumbernya sesegera mungkin untuk meminimalisir kerusakan

### **2.2.8 Peralatan Proteksi *Recloser* dan *Over Current Relay***

#### **1. Pemutus Balik (*Recloser*)**

*Recloser* adalah perangkat perlindungan yang dipakai di tiang SUTM dan fungsi untuk melakukan perubahan jaringan, dan bisa terbuka secara otomatis ketika saluran yang diamankannya mengalami kenaikan arus yang cukup besar, serta menyambung secara otomatis setelah terbuka, fungsi penutup kembali dengan cepat memutuskan jaringan, jadi sehingga dapat mengurangi area interferensi untuk sementara sampai turbulensi menghilang.



**Gambar 7** Recloser

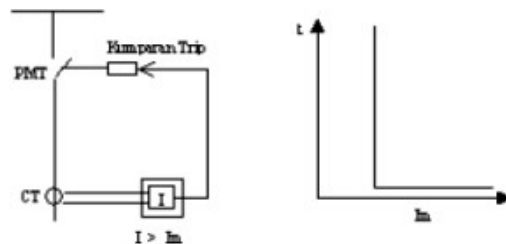
## 2. OCR (Reley Arus Lebih) Dan GFR

Rele ini merupakan peralatan yang beroperasi pada saat arus meningkat, baik karena arus yang mengalir di atas nilai yang ditentukan ( $I_{set}$ )

Karakteristik Rele Arus berlebih

### 1. Relay Waktu Seketika (*Instantaneous relay*)

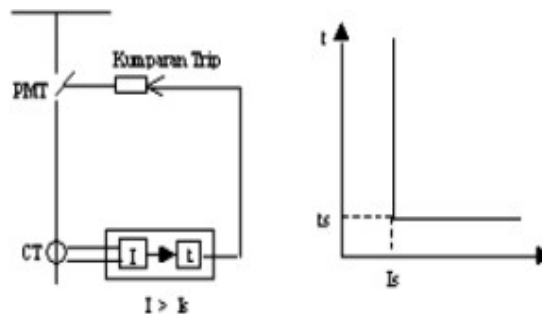
Karakteristik rele ini yaitu rele ini akan beroperasi tidak memiliki waktu tunda dan durasi rele (sekitar 20 ms hingga 100 ms) jika rele mulai saat arusnya pick-up terlalu pendek untuk diselesaikan.



**Gambar 8** Instantaneous Relay

### 2. Relai Arus Lebih Waktu Tunda (*Definite Time*)

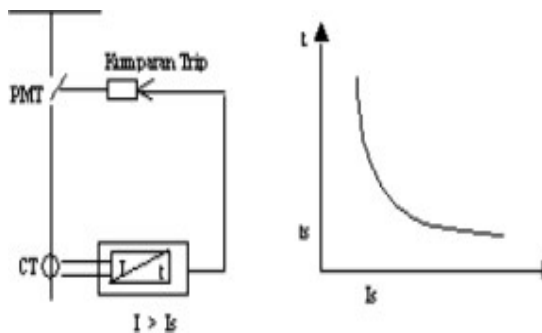
Karakteristik rele ini akan bekerja sesuai waktu settingnya dan tidak berpengaruh terhadap besar kecilnya arus gangguan jadi apabila arus gangguannya sangat besar rele ini tidak akan bekerja, akan bekerja apabila telah melewati waktu settingnya



**Gambar 9** *Definite Time*

### 3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

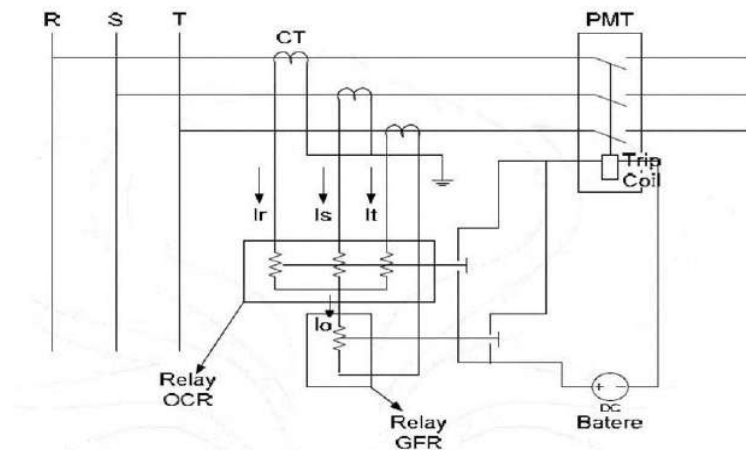
Karakteristik rele ini akan bekerja sesuai arus gangguannya jika arus gangguannya sangat besar maka rele akan sangat cepat bekerja sedangkan jika arus gangguannya kecil maka rele tidak akan langsung bekerja



**Gambar 10** *Inverse*

### Relay Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

GFR bekerja berdasarkan pengukuran arus, yaitu ketika arus melebihi nilai *setting*-nya. *Setting* arus GFR lebih kecil dibanding OCR, karena nilai arus hubung singkat phasa-phasa lebih besar daripada nilai arus hubung singkat phasa-netral. Dalam keadaan normal beban seimbang  $I_r$ ,  $I_s$ ,  $I_t$  bernilai sama, sehingga tidak ada arus yang timbul pada kawat netral dan GFR tidak dialiri arus listrik.



**Gambar 11** Pengawatan GFR

Namun ketika terjadi gangguan hubung singkat ke tanah yang menyebabkan adanya ketidakseimbangan arus di sistem, akan timbul arus urutan nol di kawat netral yang menyebabkan GFR bekerja.