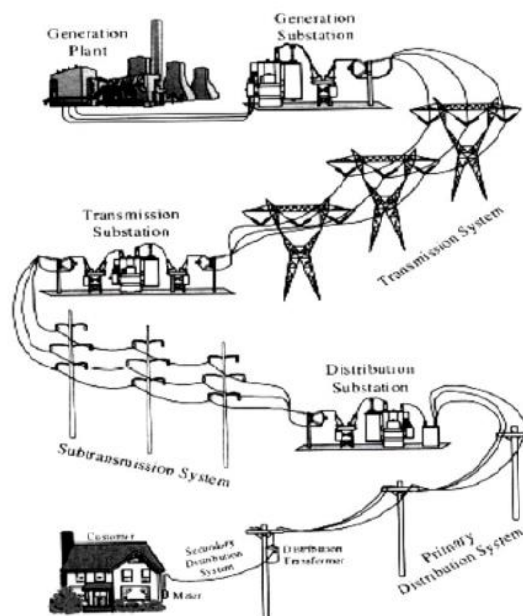


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

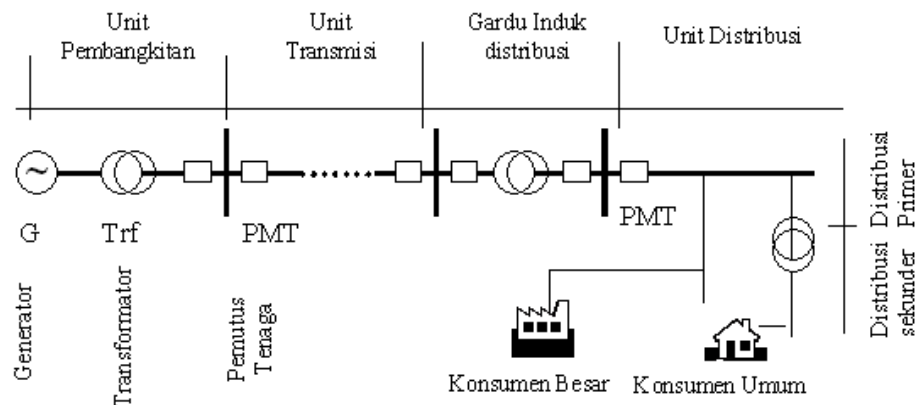
2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem kompleks yang terdiri dari beberapa komponen berupa pusat pembangkit, saluran transmisi, jaringan distribusi, dan beban yang dioperasikan secara serentak dan bekerja sama untuk menyediakan kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan (konsumen).



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju pelanggan (konsumen) merupakan hal yang penting untuk diketahui. Dimulai dari pusat penghasil energi listrik lalu disalurkan melalui jaringan transmisi tegangan tinggi/ tegangan ekstra tinggi (TT/ TET) ke gardu induk tegangan tinggi/ tegangan ekstra tinggi (GI/ GITET) untuk diturunkan tegangannya. Dari gardu induk transmisi disalurkan ke jaringan distribusi primer (TM) dan melalui gardu distribusi tegangan diubah menjadi tegangan rendah pada jaringan distribusi sekunder. Sistem penyaluran tersebut dapat digambarkan oleh blok diagram sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Blok Diagram Sistem Penyaluran Listrik

2.1.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik terdiri dari satu atau lebih unit pembangkit yang akan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dengan bahan bakar yang beragam, seperti angin, diesel, air, panas bumi, gas uap, batu bara, surya matahari, dan sumber daya lainnya yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan tenaga listrik. Berdasarkan bahan bakar yang digunakan, pembangkit dibedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya:

- Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
- Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
- Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
- Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
- Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
- Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- Pembangkit Listrik Tenaga Angin/ Banyu (PLTB)

2.1.2 Saluran Transmisi

Setelah energi listrik dihasilkan dari suatu pembangkit, energi listrik disalurkan menuju sistem transmisi dimana energi listrik melalui konduktor yang panjang, tower-tower transmisi, dan gardu induk. **Sistem transmisi** merupakan suatu sistem penyaluran energi listrik yang dihasilkan oleh suatu pusat pembangkit menuju konsumen. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan.

Sistem transmisi terdiri dari beberapa klasifikasi menurut besar tegangannya, diantaranya sebagai berikut:

- Sistem Transmisi Tegangan Tinggi (*High Voltage*)
- Sistem Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi (*Extra High Voltage*)
- Sistem Transmisi Tegangan Ultra Tinggi (*Ultra High Voltage*)

Di Indonesia, sistem transmisi tegangan tinggi yang digunakan yaitu sebesar 70 kV (digunakan di dalam perkotaan) dan 150 kV (digunakan di pinggir kota), sedangkan tegangan ekstra tinggi yang digunakan pada sistem transmisi yaitu sebesar 500 kV yang terinterkoneksi di Jawa dan Bali. Di Pulau Sumatera sendiri terdapat suatu unit induk di bawah bidang transmisi untuk mengelola tegangan 275 kV, 150 kV, dan 70 kV menjadi tegangan 20 kV, yaitu UIP3BS atau Unit Induk Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Sumatera.

2.1.3 Sistem Distribusi

Sistem Distribusi tenaga listrik meliputi semua jaringan tegangan menengah 20 kV dan semua jaringan tegangan rendah 220/ 380 Volt hingga meter-meter pelanggan. Distribusi tenaga listrik dilakukan dengan menarik kawat-kawat distribusi baik penghantar udara maupun penghantar bawah tanah mulai dari gardu induk hingga ke pusat-pusat beban. Jaringan sistem distribusi ada beberapa jenis, diantaranya jaringan radial, jaringan loop, jaringan spindle, dan jaringan lainnya.

2.2 Beban Listrik

Pada sistem arus bolak-balik beban merupakan impedansi (Z) yang biasa dibentuk dari unsur:

2.2.1 Beban Resistif

Energi listrik diubah menjadi energi panas atau mekanik. Daya yang diserap berupa daya semu seluruhnya diubah menjadi daya aktif. Termasuk beban resistif murni adalah lampu pijar, setrika listrik, *heater*. Gelombang sinusoidal arus berhimpit dengan tegangan atau sudut fasanya sama dengan nol sehingga faktor daya sama dengan satu ($\phi = 0^\circ$ dan $\cos \phi = 1$)

2.2.2 Beban Induktif

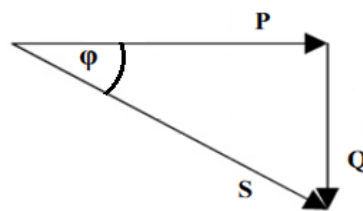
Energi listrik yang diserap diubah menjadi medan magnet. Daya yang diserap berupa daya semu seluruhnya diubah menjadi daya reaktif induktif. Yang termasuk beban induktif murni adalah reaktor dan kumparan Gelombang sinusoidal arus ketinggalan 90° terhadap tegangan.

2.2.3 Beban Kapasitif

Energi listrik yang diserap menghasilkan energi reaktif. Daya yang diserap berupa daya semu seluruhnya diubah menjadi daya reaktif kapasitif. Termasuk beban reaktif murni adalah kapasitor. Gelombang sinusoidal arus mendahului 90° terhadap tegangan.

2.3 Daya Listrik¹

Karena beban Z mempunyai/membentuk pergeseran sudut terhadap V maka arus beban I_b yang mengalir pun membentuk sudut yang sama searah dengan sudut dari Z sebesar ϕ . Hal ini berakibat timbulnya 3 macam daya, yaitu : daya aktif, P (Watt); daya reaktif, Q (VAR); dan daya semu, S (VA). Hubungan dari ketiga macam daya tersebut kita kenal sebagai “segitiga daya”.



Gambar 2. 3 Segitiga Daya

Penjumlahan vektor P dan Q

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.1)$$

Atau

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

¹ A.J. Watkins. Perhitungan Instalasi Listrik. Hal 15. Erlangga.2004



2.3.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang disuplai ke beban namun mendapat pengaruh dari sudut fasa antara tegangan dan arus. Daya total yang tersuplai ke seluruh beban tiga fasa adalah total daya yang tersuplai untuk setiap fasa.

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

- P = Daya nyata (Watt)
- V_L = Tegangan antar saluran (Volt)
- I_L = Arus saluran (Ampere)
- $\cos \theta$ = Faktor daya (Standar PLN 0,85)

2.3.2 Daya Semu

Daya semu yang di suplai ke beban didefinisikan sebagai hasil dari tegangan di beban dan arus yang mengalir di beban. Ini adalah daya yang ‘tampak’ disuplai ke beban jika sudut fasa antara tegangan dan arus diabaikan. Daya semu sistem 3 fasa dapat dirumuskan:

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

- S = Daya nyata (VA)
- V_L = Tegangan antar saluran (Volt)
- I_L = Arus saluran (Ampere)
- Satuan daya semu adalah volt-ampere (VA), dimana $1VA = 1V \times 1I$.

2.3.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang terus memantul antara beban dan sumber. Daya reaktif adalah energi yang pertama tersimpan kemudian dilepaskan di dalam medan

magnet sebuah induktor, atau medan listrik sebuah kapasitor. Daya reaktif dirumuskan pada persamaan:

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \theta \dots\dots\dots (2.5)$$

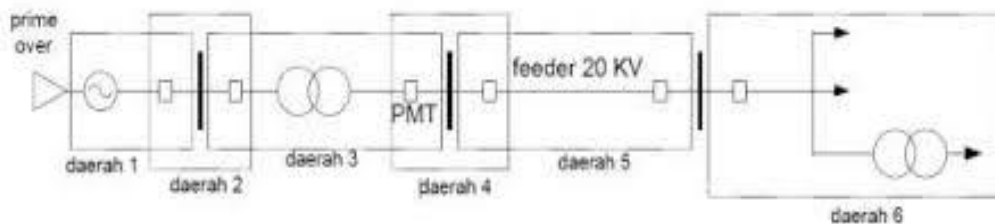
Keterangan:

- P = Daya nyata (Watt)
- V_L = Tegangan antar saluran (Volt)
- I_L = Arus saluran (Ampere)
- $\cos \theta$ = Faktor daya

2.4 Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan sekumpulan atau beberapa peralatan atau komponen yang saling berhubungan dan bekerjasama untuk tujuan pengamanan. Sistem proteksi bertujuan untuk:

- Mengidentifikasi gangguan
- Memisahkan bagian jaringan/ daerah yang terganggu dengan daerah/ jaringan lain yang sehat
- Mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan



Gambar 2. 4 Pembagian Daerah Proteksi

Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pusat pembangkit, saluran transmisi, jaringan distribusi sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau

beberapa komponen sistem daya disamping dua buah pemutus (PMT/ CB) rangkaian. Hal penting yang harus diperhatikan yaitu daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*). Hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan.

2.4.1 Faktor Kinerja Sistem Proteksi

Penyediaan tenaga listrik memerlukan kinerja sistem proteksi yang dapat dipercaya (andal dan aman), yang dapat memberi jaminan bahwa setiap ketidaknormalan sekecil apapun (sensitif) pada sistem akan dapat diatasi dengan cepat (kecepatan) dan tepat (selektif).

Kelambatan atau kegagalan dalam memisahkan bagian yang terganggu secara umum dapat menimbulkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang terganggu, kerusakan pada bagian yang sehat atau gangguan baru pada sistem tenaga listrik. Pemilihan pola proteksi harus memenuhi unsur berikut:

- **Sensitif**

Sistem proteksi dapat merasakan adanya ketidaknormalan/ gangguan pada jaringan tenaga listrik sekecil apapun gangguan tersebut

- **Andal**

Jaminan bahwa sistem proteksi akan bekerja bila diperlukan (*dependable*) dan tidak akan bekerja bila tidak diperlukan (sekuriti)

- **Selektif**

Jaminan bahwa dalam memisahkan bagian yang terganggu, tidak menyebabkan pemutusan/ pemadaman jaringan yang lebih luas

- **Cepat**

Sistem proteksi dapat memberikan respons sesuai waktu yang diinginkan oleh sistem tenaga listrik

- **Ekonomis**

Sistem proteksi yang harganya lebih murah belum tentu lebih ekonomis. Perhitungan terhadap masalah ini perlu ditinjau dari segi aspek yang lebih luas, misalnya faktor risiko (karena tidak andal), pemeliharaan, dan lainnya.

2.4.2 Pembagian Tugas dalam Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi, pengaman dapat dibagi menjadi pengaman utama (*main protection*) dan pengaman cadangan (*back up protection*). Klasifikasi pengaman utama dan pengaman cadangan diantaranya sebagai berikut:

a) Pengaman utama (*Main Protection*)

Pengaman utama merupakan pengaman yang paling berperan di dalam daerah pengamanan atau daerah yang dilindungi dan pada umumnya selektif dan cepat bekerja jika terjadi gangguan di daerahnya. Proteksi utama adalah proteksi yang menjadi prioritas pertama membebaskan/ mengisolasi gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal di sistem tenaga listrik. Untuk suatu instalasi tenaga listrik, dapat digunakan dua atau lebih proteksi utama.

b) Pengaman Cadangan (*Back-Up Protection*)

Pengaman cadangan merupakan proteksi yang akan bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh pengaman utama. Pengaman cadangan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- **Local Back-Up**, dimana pengaman cadangan terletak satu lokasi dengan pengaman utama
- **Remote Back-Up**, dimana pengaman cadangan tersebut diletakkan pada lokasi yang berbeda dengan pengaman utama

2.4.3 Peralatan Sistem Proteksi

Peralatan sistem proteksi diantaranya:

2.4.3.1 CB/ PMT

Berdasarkan *IEV (International Electrotechnical Vocabulary)* 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker (CB)* atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*).

Sedangkan definisi PMT berdasarkan IEEE, **Pemutus (PMT) atau *Circuit Breaker (CB)*** 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.²



(a) CB/ PMT 20 kV Belakang



(b) CB/ PMT 20 kV Depan

Gambar 2.5 CB (Circuit Breaker)/ PMT (Pemutus)

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. PMT diklasifikasikan menjadi:

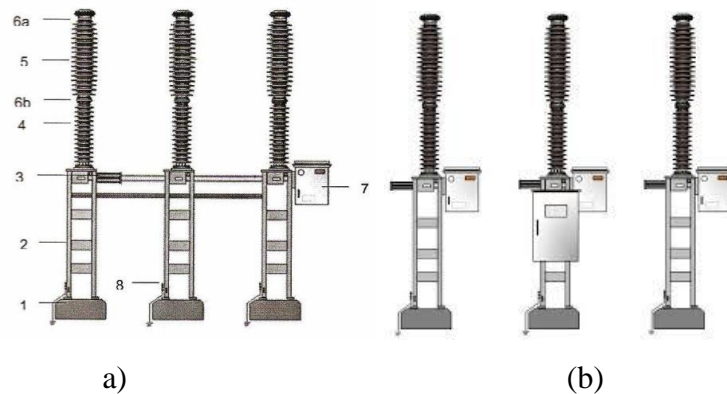
- **Berdasarkan besar/ kelas tegangan (U_m)**
 - **PMT tegangan rendah (*low voltage*)**
 - **PMT tegangan menengah (*medium voltage*)**
 - **PMT tegangan tinggi (*high voltage*)**
 - **PMT tegangan extra tinggi (*extra high voltage*)**
- **Berdasarkan jumlah mekanik penggerak/ *tripping coil***
 - **PMT *Single Pole***

PMT tipe ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing *pole*, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa *reclose* satu fasa.

² PT PLN (Persero). Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga. Hal 1

- **PMT *Three Pole***

PMT jenis ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya dilengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.



Gambar 2. 6 PMT Single Pole (a) dan PMT Three Pole (b)

- **Berdasarkan media isolasi**
 - PMT gas SF₆ (*sulfur heksaflorida*)
 - PMT minyak (*oil*)
 - PMT udara hembus (*air blast*)
 - PMT hampa udara (*vacuum*)
- **Berdasarkan proses pemadaman busur api listrik di ruang pemutus**
 - PMT jenis tekanan tunggal (*single pressure type*)
 - PMT jenis tekanan ganda (*double pressure type*)

2.4.3.2 Transformator Ukur/ Instrumen

Sistem pengukuran besaran listrik pada jaringan tenaga listrik yang berkapasitas besar, harus menggunakan trafo pengukuran, yaitu trafo arus (*current transformer*) untuk besaran arus dan trafo tegangan (*potential transformer*) untuk besaran tegangan dan merubahnya menjadi besaran pengukuran (sekunder). Dengan besaran sekunder ini, maka peralatan ukur (meter dan proteksi) dapat dirancang lebih fleksibel, sehingga hasil pengukurannya lebih akurat dan presisi.

a) Fungsi trafo pengukuran (CT/PT/CVT)

Adapun fungsi dari trafo pengukuran atau trafo instrument, diantaranya:

- Mengkonversi besaran arus atau tegangan pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk metering dan proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
- Standarisasi besaran sekunder, untuk arus 1 A, 2 A dan 5 A, tegangan 100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ dan 110 volt.

b) Klasifikasi Transformator Ukur

Klasifikasi trafo ukur dibagi menjadi dua, yaitu trafo arus/ CT dan trafo tegangan/ PT. Berikut penjelasan dari trafo arus dan trafo tegangan.

- **Trafo Arus/ *Current Transformer* (CT)**

Trafo Arus (*Current Transformer* - CT) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.³



Gambar 2. 7 Rangkaian pada Trafo Arus

Berdasarkan penggunaan, trafo arus dikelompokkan menjadi dua kelompok dasar, yaitu; trafo arus metering dan trafo arus proteksi.

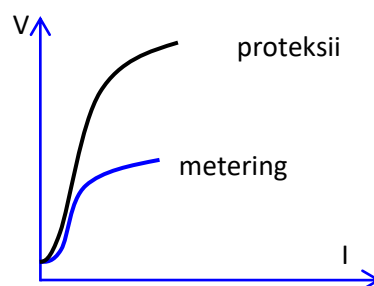
³ PT PLN (Persero). Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus. Hal 1

- **Trafo Arus Metering**

Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) antara 5% - 120% arus nominalnya, tergantung dari kelas dan tingkat kejenuhan. Tingkat kejenuhan trafo arus metering relatif lebih rendah dibandingkan trafo arus proteksi. Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, Energi meter, dan $\cos \phi$ meter.

- **Trafo Arus Proteksi**

Trafo arus proteksi memiliki ketelitian tinggi sampai arus yang besar yaitu pada saat terjadi gangguan, dimana arus yang mengalir mencapai beberapa kali dari arus pengenalnya dan trafo arus proteksi mempunyai tingkat kejenuhan cukup tinggi. Penggunaan trafo arus proteksi untuk rele arus lebih (OCR dan GFR), rele beban lebih, rele diferensial, dan rele jarak. Perbedaan mendasar trafo arus pengukuran dan proteksi adalah pada titik saturasinya seperti pada kurva saturasi dibawah ini.



Gambar 2. 8 Karakteristik Trafo Arus Proteksi dan Pengukuran

• **Trafo Tegangan (PT/ CVT)**

Trafo tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur/meter dan relai.⁴

Trafo tegangan dibagi menjadi 2 (dua) jenis, trafo tegangan magnetik (*magnetic voltage transformer/VT*) atau yang sering disebut trafo tegangan

⁴ PT PLN (Persero). Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Tegangan. Hal 1

induktif, dan trafo tegangan kapasitif (*capacitor voltage transformer/CVT*). CVT juga dapat dipakai dengan peralatan PLC untuk komunikasi melalui saluran transmisi tegangan tinggi. Pada dasarnya, prinsip kerja trafo tegangan sama dengan prinsip kerja pada trafo arus. Pada trafo tegangan perbandingan transformasi tegangan dari besaran primer menjadi besaran sekunder ditentukan oleh jumlah lilitan primer dan sekunder.



Gambar 2. 9 Trafo Tegangan/ PT/ CVT

2.4.3.3 Catu daya

Dalam pengoperasian tenaga listrik terdapat dua macam sumber tenaga untuk control di dalam gardu induk, ialah sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak-balik (AC). Sumber tenaga untuk control harus selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi. Karena persyaratan inilah dipakai baterai sebagai sumber arus searah. Catu daya sumber DC digunakan untuk kebutuhan operasi relay proteksi, kontrol, dan scadatel.

- **Sistem Suplai DC**

Sistem DC di gardu induk merupakan suplai utama untuk pengoperasian peralatan utama seperti *rectifier*, penerangan, pendingin ruangan, dan lain sebagainya. Untuk kebutuhan operasi relay dan control di PLN terdapat dua sistem catu daya pasokan arus searah yaitu DC 110V dan DC 220V. Sedangkan untuk kebutuhan scadatel menggunakan sistem catu daya DC 48V. catu daya DC bersumber dari *rectifier* dan baterai. Terpasang pada instalasi secara parallel dengan beban, sehingga dalam operasionalnya disebut sistem DC.

- **Sistem Suplai AC**

Instalasi AC pada gardu induk tegangan tinggi (GI 150 kV/ 70 kV) atau gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET 500 kV) dapat dipasok dari transformator pemakaian sendiri (PS) 20 kV, genset, tegangan rendah 380 V AC (tegangan rendah dari jaringan distribusi) dan sisi tersier transformator IBT 500/ 66 kV pada GITET. Pada setiap GI atau GITET minimal harus mempunyai 2 sistem AC yang siap menyuplai tegangan AC, seperti:

- Transformator PS 20 kV dan genset pada GI/ GITET
- Sisi tersier transformator IBT 500/ 66 kV dan genset pada GITET
- Tegangan rendah 380 V AC (tegangan rendah dari jaringan distribusi) dan genset pada GI

2.4.3.4 Rele Proteksi

Agar penyaluran energi listrik terjamin kontinuitasnya serta aman terhadap lingkungan dan peralatan maka diperlukan peralatan yang dapat mengamankan/ memproteksi kepentingan tersebut. Rele proteksi merupakan susunan peralatan yang dirancang untuk dapat merasakan maupun mengukur adanya gangguan atau ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis segera memberi perintah kepada pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan peralatan yang normal dengan yang terganggu dengan memberi indikasi berupa bunyi dan lampu indikator.

Rele proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi, dan besaran lainnya. Dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika atau dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga.

a) Fungsi Rele Proteksi

Adapun fungsi dari rele proteksi diantaranya:

- Mendeteksi, mengukur, dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya dengan cepat antara sistem yang terganggu dan sistem yang tidak terganggu agar dapat beroperasi secara normal,

- Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terdapat gangguan,
- Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem lain yang tidak terganggu di dalam sistem serta mencegah peluasan gangguan, dan
- Memperkecil bahaya bagi manusia.

b) Klasifikasi Rele Proteksi

Rele proteksi dikelompokkan menjadi:

- **Rele Diferensial (*Line Differential Relay*)**⁵

Rele diferensial adalah salah satu jenis proteksi utama pada penghantar yang bekerja berdasarkan pengukuran perbedaan parameter arus. Prinsip kerja rele ini sebagai berikut:



Gambar 2. 10 Prinsip Kerja Skema Perbandingan Arus

- **Rele Jarak (*Distance Relay*)**⁶

Rele Jarak adalah salah satu jenis proteksi penghantar yang bekerja berdasarkan perbandingan nilai impedansi. *Distance relay* akan bekerja bila impedansi yang diukur dari besaran arus CT dan tegangan PT/ CVT lebih kecil dari impedansi setelan. Selain sebagai proteksi utama penghantar, rele ini juga berfungsi sebagai proteksi cadangan jauh terhadap proteksi utama penghantar di depannya.

Proteksi pada rele jarak ini terbagi menjadi proteksi utama (zona 1) yang merupakan proteksi yang bekerja tanpa waktu tunda dengan jangkauan terbatas pada seksi (*section*) penghantar itu sendiri yang disetel menjangkau 80-85% dari impedansi saluran dan proteksi cadangan jauh (zona 2 dan zona 3) yang

⁵ PT PLN (Persero). Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar. Hal 4

⁶ PT PLN (Persero). Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar. Hal 5

merupakan proteksi yang dicadangkan untuk bekerja apabila proteksi utama seksi didepannya gagal bekerja.

Zona 2 umumnya disetel dengan jangkauan minimum mencapai impedansi saluran sampai dengan gardu induk didepannya dengan waktu tunda antara 300-800 milidetik sedangkan zona 3 disetel dengan jangkauan mencapai impedansi saluran sampai dengan dua gardu induk terjauh didepannya dengan waktu tunda maksimum 1600 milidetik.

- **Rele *Restricted Earth Fault* (REF)**

REF merupakan salah satu proteksi utama transformator/ reactor yang prinsip kerjanya sama dengan diferensial rele, perbedaannya REF dipergunakan untuk pengamanan transformator/ reactor terhadap gangguan fasa-tanah, khususnya yang dekat dengan titik bintang trafo/ reactor.

REF dipasang pada belitan trafo/ reactor dengan konfigurasi Y yang ditanahkan. REF terdiri dari 2 jenis, yaitu REF jenis *low impedance* yang parameter kerjanya adalah arus minimum dan REF jenis *high impedance* yang parameter kerjanya adalah tegangan minimum ataupun arus minimum.

- **Rele OVR/ UVR**

Untuk keperluan perngoperasian sistem maka rele bay reactor dan bay kapasitor juga dilengkapi dengan rele tegangan berupa *Under Voltage Relay* (UVR) dan *Over Voltage Relay* (OVR). UVR dipergunakan untuk melepaskan reactor secara otomatis ketika tegangan sistem sudah dianggap rendah, sedangkan OVR dipergunakan untuk memasukkan reactor secara otomatis ketika tegangan sistem dianggap tinggi.

- **Rele *Standby Earth Fault* (SBEF) atau *Sensitive Earth Fault* (SEF)**

Rele proteksi NGR terhadap arus lebih yang berfungsi untuk mengamankan NGR dari hubung singkat fasa-tanah. Oleh karena itu, SBEF hanya ada pada transformator yang pentanahannya menggunakan NGR. SBEF

ini juga harus dikoordinasikan dengan rele GFR. SBEF harus bekerja paling akhir sebagai pengaman NGR.

- **Rele Arus Lebih (OCR)/ Rele Gangguan ke Tanah (GFR)**

Rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah merupakan proteksi cadangan transformator/ reactor tetapi dapat menjadi proteksi utama pada proteksi kapasitor dan penyulang. Rele arus lebih (OCR) merupakan pengaman utama bila terjadi gangguan antar fasa atau beban lebih di penyulang. Sedangkan GFR merupakan pengaman utama bila terjadi gangguan fasa-tanah di penyulang dengan sistem pentanahan titik netral langsung (*solid grounded*) atau melalui tahanan sebesar 40 ohm.

2.5 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (*interface*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus ke beban. Berikut ini adalah klasifikasi gangguan:⁷

a) Berdasarkan Kesimetrisannya

- Gangguan Asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari:
 - Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah
- Gangguan Simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari:
 - Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa
 - Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

⁷ Adrial Mardensyah. Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama-Pulomas. Hal 3



b) Berdasarkan lama terjadi gangguan:

- Gangguan Transient (*temporer*), merupakan gangguan yang hilang dengan sendirinya apabila pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali
- Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka pada saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali

Selain klasifikasi gangguan yang telah disebutkan di atas, terbukanya pemutus tenaga tidak selalu disebabkan terjadinya gangguan pada sistem itu sendiri tetapi dapat juga disebabkan adanya kerusakan pada rele, kabel kontrol, atau adanya pengaruh dari luar seperti induksi. Gangguan seperti ini disebut juga gangguan non-sistem. Persamaan dasar yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat yaitu dengan menggunakan hukum ohm:

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- I = Arus Gangguan (A)
- V = Tegangan Sumber (V)
- Z = Impedansi dari sumber (Ohm)

2.5.1 Metode Komponen Simetris Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik umumnya merupakan gangguan asimetris, dimana gangguan tersebut mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Pada tahun 1918, C.L Fortescue menemukan suatu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa sistem tiga fasa yang tidak seimbang. Fortescue membuktikan bahwa sistem yang tidak seimbang terdiri dari tegangan atau arus yang tidak seimbang antar fasanya dapat dipecah menjadi tiga komponen simetris dari sistem tiga fasa yang seimbang. Tiga komponen simetris tersebut adalah:

- **Komponen Urutan Positif (*Positive Sequence Components*)**

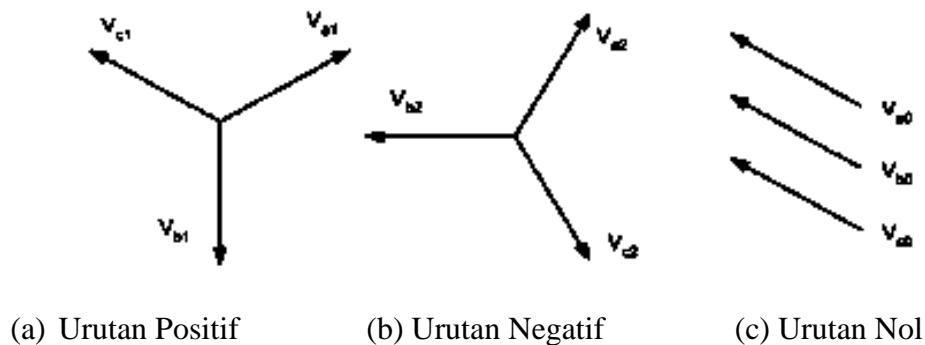
Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya (ditandai dengan *subscript* 1). Saat sistem berada dalam kondisi normal, hanya terdapat arus dan tegangan urutan positif saja, sehingga impedansi sistem pada kondisi normal adalah impedansi urutan positif. Ketika terjadi gangguan, cabang yang terganggu pada sistem dapat digantikan dengan perubahan tegangan $\Delta V = V - V_1$ dan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dihubungkan singkat, sehingga akan diperoleh arus gangguan ΔI yang mengalir ke dalam sistem.

- **Komponen Urutan Negatif (*Negative Sequence Components*)**

Merupakan komponen Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya (ditandai dengan *subscript* 2). Jika pada kondisi normal hanya terdapat komponen urutan positif, maka komponen urutan negatif hanya ada pada saat terjadi gangguan. Karena tidak ada komponen urutan negatif sebelum terjadinya gangguan, maka apabila terjadi gangguan akan timbul perubahan tegangan sebesar $-V_2$ dan arus I_2 yang mengalir dari sistem ke gangguan.

- **Komponen Urutan Nol (*Zero Sequence Components*)**

Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan tidak ada pergeseran fasa antara fasor yang satu dengan yang lain (ditandai dengan *subscript* 0). Arus dan tegangan pada komponen urutan nol adalah sefasa. Oleh karena itu arus urutan nol untuk dapat mengalir di sistem memerlukan jalan balik (*return connection*) melalui pentanahan netral sistem. Impedansi urutan nol umumnya tidak sama dengan impedansi urutan positif dan tergantung dari beberapa faktor seperti jenis peralatan sistem, cara menghubungkan belitan (Δ atau Y), dan cara pentanahan titik netral.



Gambar 2. 11 Komponen Simetris

2.5.2 Perhitungan Reaktansi Sumber

Reaktansi sumber adalah nilai tahanan pada sisi primer yang mewakili semua unit pembangkit. Untuk menghitung reaktansi sumber di sisi busbar 20 kV, maka dihitung terlebih dahulu impedansi sumber di busbar 70 kV. Reaktansi sumber di bus 70 kV dapat dihitung dengan persamaan:

$$X_s \text{ (sisi 70 kV)} = \frac{kV^2 \text{ (sisi 70 kV)}}{I_{sh}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

X_s = Reaktansi Sumber (Ohm)

kV^2 = Tegangan Sisi Primer Trafo Tenaga (kV)

I_{sh} = Arus hubung singkat di bus primer 70 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan terlebih dahulu reaktansi sumber di sisi 70 kV ke sisi 20 kV. Konversi tegangan tersebut dilakukan dengan menyamakan rating daya transformator daya antara sisi primer dan sisi sekunder, maka dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$X_s \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{kV^2 \text{ (sisi 20 kV)}}{kV^2 \text{ (sisi 70 kV)}} \times X_s \text{ (sisi 70 kV)} \dots\dots\dots (2.8)$$



Keterangan:

X_s (sisi 20 kV) = Impedansi Sumber Sisi Sekunder 20 kV

X_s (sisi 70 kV) = Impedansi Sumber Sisi Primer 70 kV

kV^2 (sisi 20 kV) = Tegangan Sisi Sekunder Trafo Tenaga (kV)

kV^2 (sisi 20 kV) = Tegangan Sisi Sekunder Trafo Tenaga (kV)

2.5.3 Perhitungan Impedansi dan Reaktansi Transformator

Reaktansi transformator tercantum pada *name plate* transformator. Untuk perhitungan reaktansi trafo digunakan rumus seperti persamaan berikut:

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

Keterangan:

X_t = Reaktansi Transformator (Ohm)

kV^2 = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

MVA = Kapasitas Daya Transformator (MVA)

Untuk menghitung reaktansi transformator urutan positif dan urutan negatif (X_{t1} = X_{t2}), maka digunakan persamaan:

$$X_{t1} = X_{t2} = \text{Reaktansi Transformator Daya} \times X_t \text{ (100\%)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

$X_{t1} = X_{t2}$ = Reaktansi Trafo Urutan Positif dan Negatif (Ohm)

Reaktansi Trafo = Reaktansi dalam %

X_t (100%) = Reaktansi Trafo pada 100%

2.5.4 Perhitungan Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang yang akan dihitung tergantung dari besarnya impedansi per km (km/ ohm) dari penyulang yang dihitung. Dimana nilainya ditentukan oleh jenis penghantar, luas penampang, dan panjang jaringan SUTM. Contoh besarnya impedansi suatu penyulang: $Z = R + jX$. Sehingga rumus untuk menghitung impedansi penyulang yaitu menggunakan persamaan:



$$Z_1 = Z_2 = \% l \times l \times Z_l \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

$Z_1 = Z_2$ = Impedansi Penyulang (Ohm)

$\% l$ = % Panjang Penyulang (%)

l = Panjang Penyulang (km)

Z_l = Impedansi Penghantar (Ohm)

2.5.5 Perhitungan Impedansi Ekivalen Jaringan

Perhitungan impedansi ekivalen jaringan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen urutan positif dan impedansi ekivalen urutan negatif dari titik gangguan sampai ke sumber. Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dihitung sesuai lokasi gangguan, dengan menjumlahkan impedansi sumber, impedansi trafo, dan impedansi penyulang. Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} yaitu menggunakan persamaan:

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{S (20 kV)} + Z_t + Z_1 / Z_2 \text{Penyulang} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

Z_{1eq} = Impedansi Ekivalen Jaringan Urutan Positif (Ohm)

Z_{2eq} = Impedansi Ekivalen Jaringan Urutan Negatif (Ohm)

$Z_{S (20 kV)}$ = Impedansi Sumber Sisi 20 kV (Ohm)

Z_t = Impedansi Transformator (Ohm)

Z_1 = Impedansi Penyulang Urutan Positif/ Negatif (Ohm)

2.5.6 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar. Impedansi ekivalen yang digunakan dalam rumus dasar tersebut adalah jenis gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa. Sehingga rumus yang digunakan untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa berbeda.



a) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif/ negatif (Z_{1eq}). Tegangannya adalah tegangan fasa – netral (V_{ph}). Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{3\phi} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

$I_{3\phi}$ = Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa (A)

V_{ph} = Tegangan Fasa – Netral sistem 20 kV
= $\frac{20.000 V}{\sqrt{3}} = 11.547 V$

Z_{1eq}/ Z_{2eq} = Impedansi Ekuivalen Urutan Positif/ Negatif (Ohm)

b) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif ditambah dengan urutan negatif, maka nilai ekuivalen jaringan $Z_{1eq} + Z_{2eq}$. Tegangannya adalah tegangan fasa – fasa (V_{ph-ph}). Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_{2\phi} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka:

$$I_{2\phi} = \frac{V_{ph-ph}}{2 x Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$I_{2\phi}$ = Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa (A)

V_{ph-ph} = Tegangan Fasa – Fasa Sistem 20 kV = 20.000 V

Z_{eq1} = Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Positif (Ohm)

2.6 Rele Arus Lebih/ Over Current Relay (OCR)

Rele arus lebih (OCR) merupakan pengaman utama bila terjadi gangguan antar fasa atau beban lebih di penyulang. Prinsip kerja rele arus lebih adalah berdasarkan pengukuran arus, yaitu rele akan bekerja apabila merasakan arus diatas nilai settingnya. Rele arus lebih diset lebih besar dari kemampuan arus nominal peralatan yang terkecil.

2.5.1 Pengertian OCR

Rele arus lebih atau yang lebih dikenal dengan *Over Current Relay* (OCR) merupakan suatu alat yang bekerja didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi su atu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan fasa-fasa, mempunyai karakteristik inverse (waktu kerja rele akan semakin cepat apabila arus gangguan yang dirasakannya semakin besar) atau definite (waktu kerja tetap untuk setiap besaran gangguan). Selain itu pada rele arus lebih tersedia fungsi *high set* yang bekerja seketika (*moment* atau *instantaneous*). Untuk karakteristik inverse mengacu kepada standar IEC atau ANSI/ IEEE.

Rele arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik. Rele arus lebih dapat digunakan sebagai proteksi utama maupun proteksi cadangan. Parameter OCR pada umumnya, diantaranya:

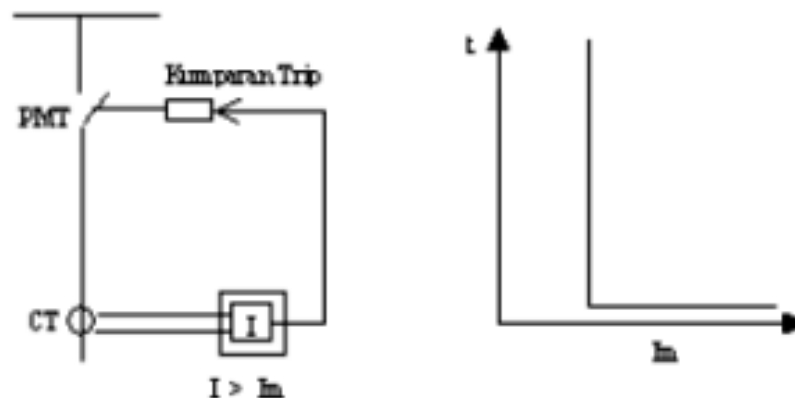
- Nilai arus kerja minimum, merupakan setelan arus minimal yang akan mengoperasikan rele
- Nilai arus reset/ drop off, merupakan besaran arus yang menyebabkan rele reset setelah mengalami pick up
- Nilai arus kerja *high set*, merupakan setelan arus kerja *high set* untuk arus gangguan yang besar
- Karakteristik waktu kerja, merupakan parameter pemilihan kurva waktu kerja
- Nilai waktu kerja, merupakan setelan waktu kerja rele berdasarkan karakteristik yang telah ditentukan

2.5.2 Jenis Rele Berdasarkan Karakteristik Waktu

Rele arus lebih dikelompokkan menjadi 4 berdasarkan karakteristik waktu, diantaranya:

a) Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time*)

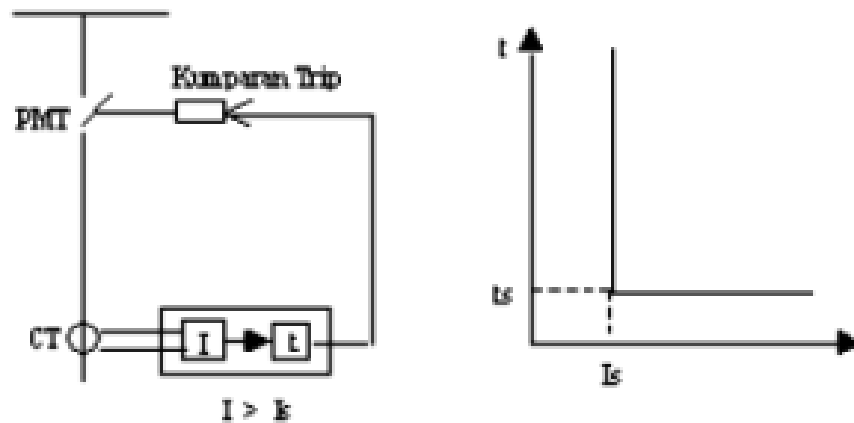
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika beroperasi jika jangka waktu rele mulai saat rele arus *pick up* sampai selesainya kerja rele. Rele ini bekerja tanpa waktu tunda ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu yang sangat singkat (10 – 20 ms). Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) dan hanya dalam beberapa hal berdiri sendiri secara khusus.



Gambar 2. 12 Rele Arus Lebih Waktu Seketika

b) Rele Arus Lebih dengan Waktu Tertentu (*Definite Time*)

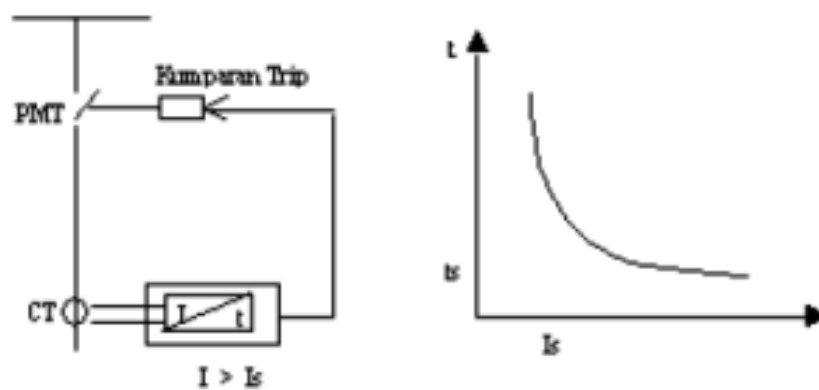
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu beroperasi jika jangka waktu mulai rele arus *pickup* sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan.



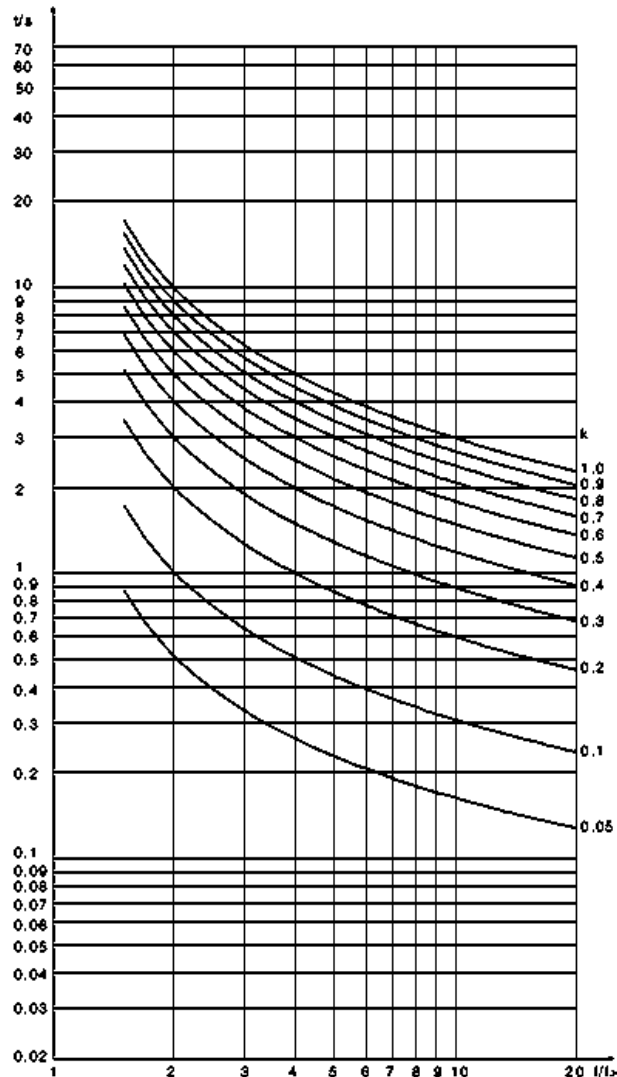
Gambar 2. 13 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

- **Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)**

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik beroperasi jika jangka waktu mulai kerja (*pick up*) sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai yang berbanding terbalik dengan besarnya arus yang menggerakkan.



Gambar 2. 14 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik



Gambar 2. 15 Kurva Karakteristik OCR Normal Inverse

- **Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time (IDMT)***

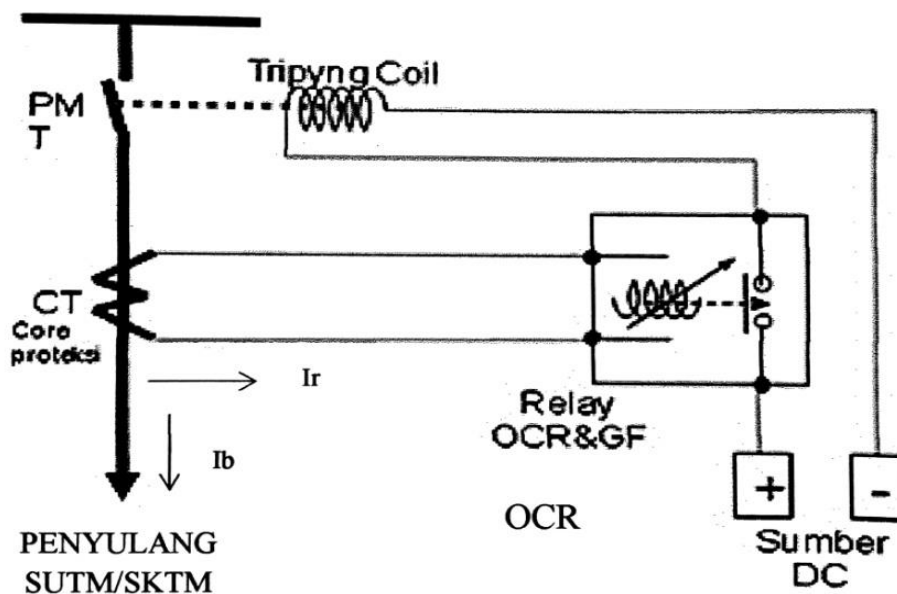
Rele arus lebih dengan karakteristik *inverse definite minimum time (IDMT)* beroperasi jika jangka waktu rele arus mulai *pick up* sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele *pick up* dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu seketika.

c) Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja rele arus lebih yaitu berdasarkan adanya arus lebih yang dideteksi oleh rele, baik disebabkan oleh gangguan hubung singkat ataupun *overload* (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik OCR tersebut. Prinsip kerja rele arus lebih diuraikan sebagai berikut:

- **Pada kondisi normal**, arus beban (I_b) mengalir ke penyulang SUTM/ SKTM dan oleh trafo arus (CT), besaran arus ini ditransformasikan menjadi besaran sekunder (I_r). Arus I_r mengalir pada kumparan rele tetapi, karena arusnya masih lebih kecil dari harga yang telah disetting, maka rele tidak akan bekerja.
- **Bila terjadi gangguan hubung singkat ataupun beban lebih**, arus I_b akan naik dan menyebabkan arus I_r pada trafo arus (CT) mengalami kenaikan. Apabila arus I_r naik melebihi nilai yang telah di setting pada rele, maka rele akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga kubikel SUTM/ SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

REL 20 KV



Gambar 2. 16 Prinsip Kerja OCR



❖ **Penyetelan OCR**

a) Setting Arus OCR

Penyetelan OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator dayanya. Arus nominal transformator daya menggunakan persamaan:

$$I_{nom (20 kV)} = \frac{MVA}{kV \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

$I_{nom (20 kV)}$ = Arus Nominal Trafo Sisi Sekunder (A)

MVA = Kapasitas Trafo Daya (MVA)

kV = Tegangan Sisi Sekunder (kV)

Maka, nilai arus setting pada sisi primer dapat dihitung setelah mendapatkan arus nominal trafo dengan persamaan berikut:

$$I_{set (primer)} = 1,0-1,2 \times I_{nom (20 kV)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

$I_{set (primer)}$ = Arus Setting Sisi Primer (A)

$I_{nom (20 kV)}$ = Arus Nominal Trafo Daya (A)

Nilai yang didapatkan dari persamaan tersebut ialah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder untuk setting arus pada OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan kemampuan peralatan terkecil pada komponen, yaitu rasio trafo arus (CT). Berikut persamaan untuk mencari nilai arus setting sisi sekunder:

$$I_{set (sekunder)} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{rasio CT} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

$I_{set (sekunder)}$ = Arus Setting Sisi Sekunder (A)



$I_{set (primer)} = \text{Arus Setting Sisi Primer (A)}$

$\text{Rasio CT} = \text{Rasio CT (A)}$

b) Setting Waktu OCR

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (tms). Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam berdasarkan dengan desain pabrik pembuat rele. Pada tabel berikut ini terdapat konstanta yang digunakan berdasarkan karakteristik rele.

Tabel 2. 1 Konstanta Karakteristik OCR

No.	Deskripsi	k	c	α
1.	Definit Time	-	0-100	-
2.	Standart Inverse	0,14	0	0,02
3.	Very Inverse	13,5	0	1
4.	Extremely Inverse	80	0	2
5.	Long Time Inverse	120	0	1

Dalam hal ini diambil rumus tms dengan rele merk ABB jenis REJ525 yang menggunakan karakteristik rele normal inverser/ standart inverse, maka:

$$tms = \frac{k}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^\alpha - 1} + t \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

tms = *time multiple setting* (SI)

k = Konstanta Standard Inverse (0,14)

α = Konstanta Standard Inverse (0,02)

I_f = Arus Gangguan Hubung Singkat (A)

I_s = Arus Setting Sekunder (A)

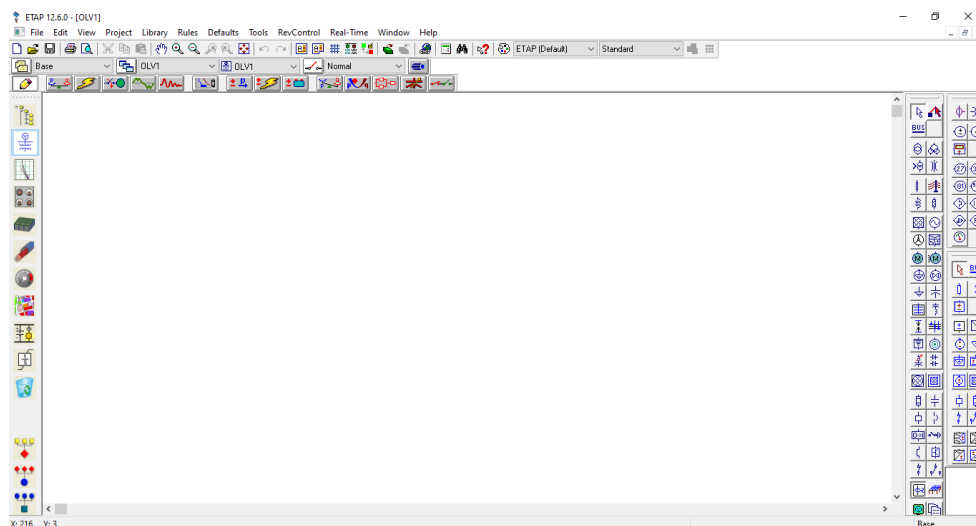
t = Waktu Kerja (detik)

2.7 ETAP (Electrical Transient and Analysis Program)

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. 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 dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient 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.

Dalam menganalisis jaringan terutama untuk mengetahui tegangan dan arus yang mengalir digunakan analisis *load flow*. Pada fitur analisis ini, dapat diketahui besar tegangan, arus daya dan rugi-rugi dari suatu jaringan yang disimulasikan dengan memasukkan data asli jaringan yang disimulasikan dalam bentuk *single line diagram* pada lembar kerja ETAP 12.6.



Gambar 2. 17 Lembar Kerja Editor pada ETAP 12.6.0

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP *Power Station* adalah:

- One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/ peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan
- Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa
- Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai
- Study case, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa

Komponen yang biasa digunakan dalam menganalisis suatu jaringan pada ETAP adalah generator, *high volage circuit breaker*, transformer, saluran transmisi, bus, beban static dan/atau beban *lump*. Di bawah ini merupakan tampilan dari *icon bar* elemen-elemen pada ETAP 12.6.0.



Gambar 2. 18 Icon Bar Elemen-Element pada Etap 12.6⁸

⁸ ETAP 12.6



Berikut cara penggunaan ETAP untuk menganalisis jaringan dengan sistem *load flow*:

1. Jalankan aplikasi etap
2. Buat lembar kerja baru dengan memilih menu *file* kemudian memilih *new project*
3. Masukkan nama proyek untuk *file* kemudian pilih standar sistem *metric*
4. Klik ok
5. Membuat *single line diagram* pada lembar kerja ETAP yang pertama-tama dimulai dari sumber, transformer, CB, bus, saluran transmisi kemudian ke beban. Pembuatan *single line diagram* pada ETAP 12.6 berdasarkan *single line diagram* asli jaringan yang ingin dianalisis
6. Memasukkan data dan parameter setiap elemen
 - a. Pengisian data untuk *power grid*
 - 1) *Double* klik simbol *power grid* pada lembar kerja ETAP 12.6
 - 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID grid, sesuai dengan data dan pilih mode konfigurasi *swing*
 - 3) Pilih jendela '*rating*', masukkan nominal tegangan
 - 4) Kemudian pilih jendela '*short-circuit*', masukan data hubung singkat grid sesuai dengan hasil pengukuran asli
 - 5) Klik OK

