

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi

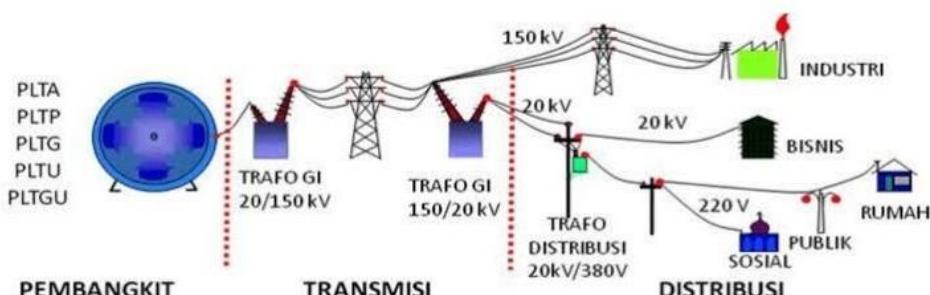
Sistem distribusi listrik pada umumnya dibagi menjadi beberapa kategori. Terdapat Kategori tegangan rendah (380V), tegangan menengah (20kV), dan tegangan tinggi (150kV). Pemilihan tingkat tegangan pada sistem distribusi sangat tergantung pada kebutuhan dan karakteristik khusus dari area yang dilayani.

Terdapat sistem distribusi listrik berdasarkan struktur radial dimana arus mengalir dari satu titik awal lalu merambat keluar ke berbagai cabang atau titik distribusi. Lalu terdapat sistem *looped* dimana jaringan listrik memiliki jalur yang membentuk *loop* atau cincin. Energi listrik dapat mengalir melalui lebih dari satu jalur untuk mencapai tujuan akhir yaitu konsumen atau beban.

Sistem kelistrikan memerlukan tenaga listrik besar sehingga perlu menaikkan tegangan pada Gardu Induk (GI). Tujuan dinaikkan tegangan ialah memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer (Suhadi, 2008).

Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan ke distribusi sekunder ke pelanggan konsumen, (Winardi et al., 2005).

Gambar 2.1 memperlihatkan diagram satu garis sistem tenaga listrik.

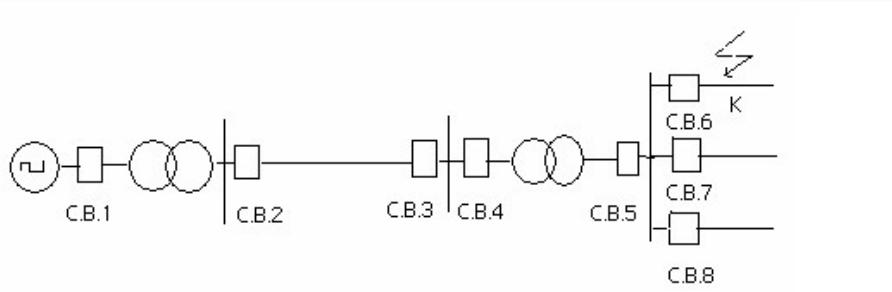


Gambar 2. 1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Proteksi

Sistem proteksi listrik sangat penting untuk mencegah kerusakan peralatan serta pemadaman yang dapat menganggu pasokan listrik. Sistem proteksi bisa berupa perangkat yang diirancang untuk mendeteksi dan merespon terhadap gangguan listrik. Terdapat gangguan internal seperti kegagalan peralatan dan gangguan eksternal seperti badai dan petir. Maka dari itu kriteria dari sistem proteksi merupakan aspek penting dalam berjalannya sistem kelistrikan diantaranya adalah sensitivitas dan kecepatan respon ketika terdapat gangguan.

Sistem proteksi itu sendiri bertujuan untuk mengatasi gangguan. Cara kerja sistem proteksi adalah dengan jalan mengisolasi komponen atau bagian tempat terjadinya gangguan. Selain memerlukan sensitivitas dan kecepatan untuk merespon sistem proteksi juga memerlukan selektifitas dan diskriminatif. Dalam hal ini sistem proteksi memiliki fungsi utama untuk memisahkan bagian-bagian yang terganggu dengan bagian-bagian yang tidak terganggu (normal).



Gambar 2. 2 Contoh Gangguan (Sumber Muhammad Taqiyyudin, 2006)

Gambar 2.2 menerangkan titik yang terkena gangguan tidak bisa befungsi secara optimal dan hanya titik yang normal yang bisa beroperasi. Misalnya, dalam gambar diatas gangguan terjadi pada titik K, maka titik K dipisahkan dari sistem. (Hewitson et al, 2004)

2.3 Peralatan Sistem Proteksi

Sistem proteksi listrik memiliki berbagai peralatan untuk mendeteksi dan merespon gangguan dalam sistem distribusi listrik. Berikut adalah beberapa peralatan utama yang digunakan dalam sistem proteksi. (Lisi F, 2018)

2.3.1 Load Break Switch (LBS)



Gambar 2. 3 Load Break Switch

Gambar 2.3 merupakan *Load Break Switch* yang memiliki fungsi sebagai pemutus atau penghubungkan sirkuit listrik dengan beban tertentu seperti trafo saat masih dalam kondisi berbeban. Ini memungkinkan pemutusan atau penyambungan yang aman dalam kondisi berbeban penuh tanpa menyebabkan kerusakan saklar. *Load Break Switch* biasanya digunakan dalam sistem tenaga listrik dengan tujuan menyambung atau memutus aliran listrik ke beban. Salah satu keuntungan dari komponen ini adalah kemampuannya untuk memutuskan dan menghubungkan sirkuit dengan beban aktif.

2.3.2 Disconnecting Switch (DS)



Gambar 2. 4 Disconnecting Switch

Gambar 2.4 merupakan gambar *Disconnecting switch* yang memiliki fungsi untuk memisahkan beban listrik dari sumber daya listrik. Perangkat ini juga memiliki kemampuan secara aman untuk mematikan atau memutuskan daya listrik dari suatu sirkuit dalam keadaan tanpa beban, baik untuk tujuan perawatan dan perbaikan.

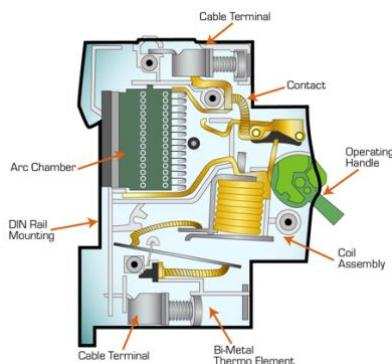
2.3.3 Fuse



Gambar 2. 5 Fuse

Gambar 2.5 merupakan *fuse*, *fuse* adalah komponen penting yang digunakan untuk melindungi sirkuit listrik dari arus berlebih atau hubung singkat. Fungsi utama *fuse* adalah untuk memutuskan arus listrik jika terjadi lonjakan arus yang berlebihan yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik atau bahkan menyababkan kebakaran.

2.3.4 CB (*Circuit Breaker*)



Gambar 2. 6 Kontruksi Circuit Breaker

Gambar 2.6 merupakan kontruksi dari *Circuit Breaker*. *Circuit breaker* adalah suatu perangkat proteksi listrik yang digunakan untuk mengendalikan dan melindungi sirkuit listrik dari berbagai bahaya, seperti lonjakan arus berlebih, hubung singkat, atau beban yang terlalu tinggi. Fungsi utama *circuit breaker* adalah untuk memutuskan sirkuit listrik saat terjadi kondisi bahaya yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan kelistrikan. Macam-macam *circuit breaker* antara lain sebagai berikut:

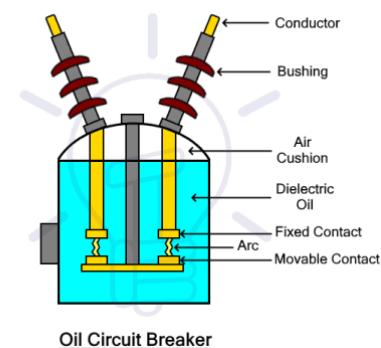
2.3.4.1 Circuit Breaker Gas



Gambar 2. 7 Gas Circuit Breaker

(Pasang cubicle) Gambar 2.7 merupakan contoh gambar dari *Gas Circuit Breaker*, komponen ini adalah jenis pemutus sirkuit yang menggunakan gas sebagai medium isolasi dan pendingin untuk memutuskan arus listrik dalam sirkuit saat terjadi gangguan atau kelebihan arus. *Circuit breaker gas* menggunakan gas tertentu seperti sulfur hexafluoride (SF6) untuk memadamkan busur api saat kontak terbuka.

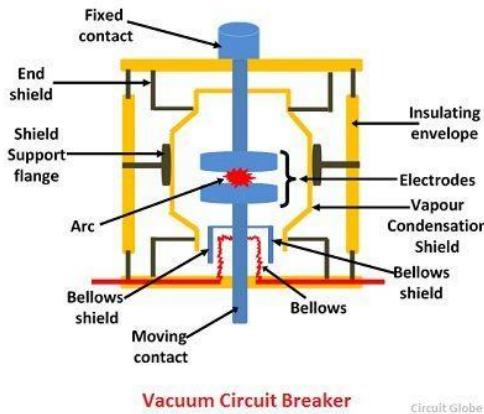
2.3.4.2 Circuit Breaker Oil



Gambar 2. 8 Oil Circuit Breaker

Gambar 2.8 merupakan kontruksi dari *Oil Circuit Breaker*. *Oil circuit breaker* ini memiliki tank yang berisi minyak isolasi khusus yang berfungsi sebagai medium isolasi utama di dalamnya. Minyak yang digunakan biasanya memiliki karakteristik isolasi dielektrik yang baik dan juga berfungsi sebagai pemadam busur api.

2.3.4.3 Circuit Breaker Vacuum



Vacuum Circuit Breaker

Circuit Globe

Gambar 2. 9 Vakum Circuit Breaker

Gambar 2.9 merupakan konstruksi dari *vacuum circuit breaker*. *Circuit Breaker Vacuum* adalah jenis pemutus sirkuit yang menggunakan vakum sebagai medium isolasi di dalamnya. Ini adalah salah satu teknologi pemutus sirkuit *modern* yang paling umum digunakan untuk aplikasi tegangan menengah hingga tinggi.

2.3.4.4 Circuit Breaker Udara

Air Circuit Breaker adalah suatu jenis pemutus sirkuit yang digunakan untuk melindungi rangkaian listrik dari gangguan, seperti terjadinya arus yang masuk secara berlebihan, hubung singkat dan kelebihan beban yang terjadi. Pemutus sirkuit ini menggunakan udara sebagai medium pemadam busur, sehingga sering disebut dengan “*Air Circuit Breaker*”



Gambar 2. 10 Air Circuit Breaker

Ganti gambar terasaki Gambar 2.10 *Air Circuit Breaker* ini menggunakan metode pemadaman busur api yang paling sederhana, yaitu dengan memperpanjang lintasan busur apinya. Saat

kontak bekerja akan menimbulkan percikan busur api pada bagian bawah kontaknya. Busur api menimbulkan suhu lebih tinggi daripada suhu bagian atasnya, sehingga terjadi aliran udara dari bawah keatas. Busur api yang panjang sangat mudah dipadamkan dengan konveksi udara. (H Afifi, "Circuit Breaker Tegangan 4160 V pada PLTU tambak Iorok PT Indonesia Power Semarang," p.7)

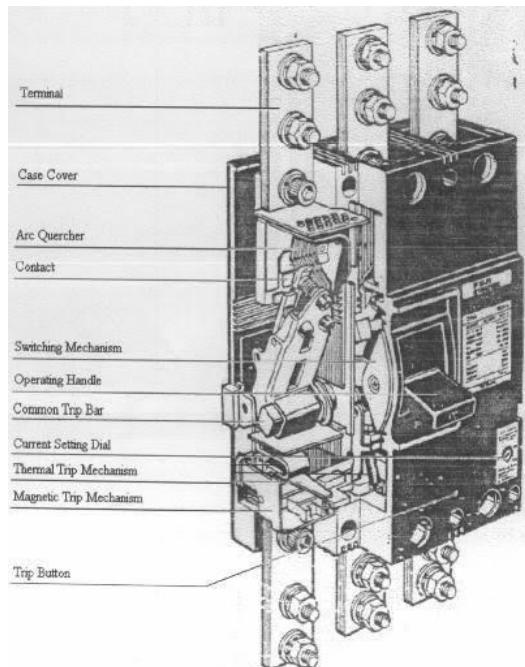
2.3.5 MCCB (Molded Case Circuit Breaker)

Molded Case Circuit Breaker merupakan perangkat pemutus sirkuit yang dirancang untuk melindungi sirkuit dari kelebihan arus dan hubung singkat. Pada dasarnya fungsi dan kerja MCCB hampir sama dengan ACB, yang membedakannya adalah rating arus dan breaking capacity ACB lebih besar daripada MCCB. Pada MCCB terdapat beberapa jenis type pemutusan seperti, yaitu:

- Thermal
- Magnetic
- Solid State atau Electronic

Gambar 2.11 memperlihatkan bagian-bagian dari MCCB. Spesifikasi MCCB pada umumnya dibagi dalam 3 parameter operasi yang terdiri dari U_e (tegangan kerja), I_e (arus kerja) dan I_{cu} (kapasitas arus pemutusan).

- U_e , spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut: $U_e = 250 \text{ V}-660 \text{ V}$
- I_e , spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut: $I_e = 40 \text{ A}-2500 \text{ A}$
- I_{cu} , spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut: $I_{cu} = 12 \text{ kA}-200 \text{ kA}$



Gambar 2. 11 Konstruksi MCCB

2.4 Peralatan Pendukung

Dalam sistem proteksi listrik, peralatan pendukung digunakan untuk mendukung kinerja perangkat utama. Peralatan pendukung membantu memantau, mengukur, dan mengontrol kondisi operasional sistem distribusi listrik. Berikut adalah beberapa peralatan pendukung umum dalam sistem proteksi.

2.4.1 CT (*Current Transformer*)



Gambar 2. 12 Current Transformer

Gambar 2.12 merupakan gambar *current Transformer*. Perangkat yang digunakan untuk mengukur arus listrik dalam suatu sirkuit listrik. Arus yang diukur oleh CT dapat digunakan untuk mendekati kelebihan arus atau gangguan dalam sirkuit. Jika arus melebihi ambang batas yang ditentukan, CT dapat memberikan sinyal untuk memutuskan sirkuit melalui pemutus sirkuit atau pengaman lainnya.

2.4.3 PT (Potential Transformer)



Gambar 2. 13 Potential Transformer

Gambar 2.13 adalah perangkat transformator yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik dengan aman dan akurat. PT (*Potential Transformer*) biasanya terpasang pada sistem tegangan tinggi dan mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Tegangan yang dihasilkan oleh PT dapat diukur dengan aman oleh perangkat seperti *voltmeter*.

2.4.4 Relay Protection



Gambar 2. 14 Relay Protection

Gambar 2.14 memiliki fungsi melindungi jaringan listrik yang bertujuan untuk mendekati dan merespon gangguan pada sistem tenaga listrik. Sistem ini menggunakan

perangkat yang disebut relay proteksi untuk memonitor kondisi jaringan listrik dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk menjaga kestabilan dan keandalan sistem. Relay proteksi mendeteksi berbagai jenis gangguan seperti hubung singkat (short circuit), overload, atau gangguan tanah (ground fault) yang dapat terjadi pada jaringan listrik. (Munandar, 2017)

2.5 Panel Listrik

Panel listrik adalah komponen penting dalam sistem listrik di sebuah bangunan atau instalasi listrik. Panel listrik berfungsi sebagai pusat control dan distribusi untuk mengatur aliran listrik dari sumber daya listrik utama ke berbagai sirkuit listrik di dalam bangunan. Berikut adalah contoh-contoh panel listrik

- Panel LVMDP singkatan dari *Low voltage main distribution panel*. Panel ini merupakan bagian dari sistem distribusi listrik dalam suatu bangunan atau fasilitas industri. Fungsi dari panel LVMDP adalah sebagai pusat distribusi listrik utama di suatu lokasi dan menerima daya dari sumber listrik utama dan mendistribusikannya ke berbagai panel distribusi bawahnya atau ke beban-beban kelistrikan di seluruh bangunan.
- Panel *Cubicle* adalah jenis panel listrik yang dirancang untuk menyatukan komponen-komponen pemutus listrik yang dirancang untuk menyatukan komponen-komponen pemutus sirkuit, pemisah, pemantauan, dan control dalam satu unit yang terisolasi dan terencana dengan baik. Komponen ini berfungsi dalam sistem distribusi listrik untuk mengatur aliran daya listrik dari sumber utama ke berbagai sirkuit di dalam bangunan atau instalasi listrik di dalam bangunan.

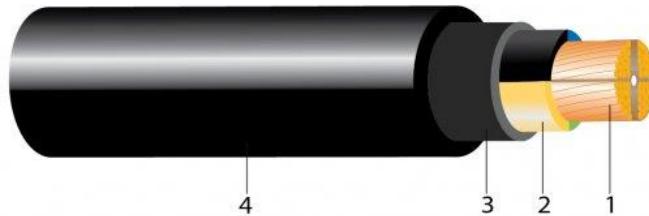
2.6 Trafo



Gambar 2. 15 Trafo

Gambar 2.14 merupakan suatu unit elektromagnetik yang digunakan untuk mentransformasikan tegangan listrik dari suatu nilai ke nilai yang lain. Fungsi utama trafo adalah untuk mengubah tegangan dan arus listrik. Terdapat 2 jenis trafo yaitu *Step-Up Transformer* sebagai meningkatkan tegangan dari tegangan rendah ke tegangan tinggi dan *Step Down Transformer* yang berfungsi sebagai menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah.

2.7 Kabel



- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1. Conductor | : Annealed Copper |
| 2. Insulation | : Extruded XLPE |
| 3. Inner Sheath | : Extruded PVC |
| 4. Outer Sheath | : Extruded PVC |

Gambar 2. 16 Kabel N2XSY

Gambar 2.15 adalah kabel N2XSY yang dipakai sebagai konektor dalam tegangan menengah 20kV. Kabel dalam tegangan menengah sampai tegangan rendah adalah kabel listrik yang dirancang untuk mengirimkan daya listrik pada tegangan yang bervariasi antara 1 kV hingga 36kV, tergantung pada aplikasi dan kebutuhan spesifik. Kabel ini berperan penting dalam sistem distribusi listrik untuk menghubungkan sumber daya listrik utama ke berbagai peralatan, sistem dan area konsumen. Contoh kabel tegangan menengah terdapat kabel N2XSY sedangkan untuk tegangan rendah terdapat kabel NYY.

2.8 Perhitungan Arus Nominal dan Hubung Singkat

2.8.1 Arus Nominal

Nilai arus maksimum yang dirancang atau diizinkan untuk mengalir melalui suatu peralatan atau sistem listrik dalam kondisi normal operasinya. Rumus daya 3 fasa yang digunakan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (1)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\varphi \quad (3)$$

Keterangan :

- S = daya nyata (kVA)
- P = daya aktif (watt)
- Q = daya reaktif (kVAR)
- V = tegangan *line to line*
- I = arus line
- φ = Beda fasa antara tegangan dan arus

2.8.2. Arus *short circuit*

Nilai arus hubung singkat dapat digunakan sebagai nilai kapasitas *breaking* dari sebuah *circuit breaker*, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$I_{sc} = \frac{I_{Nominal}}{X\%} \quad (4)$$

Keterangan :

- $X\%$ = Impedansi jaringan

Perhitungan resistansi, reaktansi kabel

$$R \text{ kabel} = \rho \times \frac{L}{A} \quad (5)$$

$$X \text{ kabel} = 0.4 \times L \quad (6)$$

$$Z = \sqrt{R \text{ kabel}^2 + X \text{ kabel}^2} \quad (7)$$

$$Z_{upstream} = \frac{U^2}{S_{sc}} \quad (8)$$

Keterangan :

- R kabel = resistansi kabel (Ω)
- X kabel = reaktansi kabel ($m\Omega$)
- ρ = nilai hambatan jenis berdasarkan bahan (ρ untuk tembaga bernilai $0.0172 \Omega/m$)
- L = Panjang penghantar (m)
- A = luas penampang penghantar (m^2)

- Z = impedansi
- $Z_{upstream}$ = Impedansi jaringan pusat
- U = tegangan *high voltage*

2.9 Perhitungan Tegangan

$$V = I \cdot R \quad (9)$$

Keterangan :

- V = tegangan
- I = arus
- R = *resistance*