



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Switch Gear

Pada system tenaga listrik secara luas pengertian switchgear adalah komponen-komponen hubung/ pemutus dan pendukung-pendukungnya dalam satu kesatuan (unit) terintegrasi, sehingga dapat difungsikan sebagai penghubung, pemutus, dan pelindung terhadap dua sisi rangkaian tersebut.

Switchgear adalah panel distribusi yang mendistribusikan beban kepanel-panel yang lebih kecil kapasitasnya. Secara umum switchgear adalah suatu unit peralatan listrik yang dapat memutuskan ataupun menghubungkan rangkaian listrik baik dalam keadaan normal maupun tidak normal demi keandalan sistem pelayanan daya listrik atau sistem distribusi listrik. Adapun fungsi dari switchgear ini yaitu :

- Menghubungkan dan memutuskan sisi sumber tenaga listrik dengan sisi beban.
- Menghubungkan dan memutuskan sumber tenaga listrik dengan peralatan listrik yang lain.
- Menghububgkan jaringan listrik utama dengan jaringan listrik cabang.
- Fungsi Switching. Yang dimana melalui Circuit Breaker atau Load Break Switch atau Disconnecting Switch, dll.
- Fungsi pengukuran. yaitu switchgear dilengkapi dengan meter untuk pengukuran besaran listrik seperti arus, tegangan, kwh, frekwensi, Power Factor, dll;
- Fungsi Proteksi. Yaitu switchgear dilengkapi dengan fuse atau relay untuk proteksibeban seperti overcurrent, overload, reverse power, under/over voltage, dll;

- Fungsi Monitoring. Yaitu switchgear dilengkapi dengan pilot indicator/fasilitas monitoring untuk memonitor status seperti status on/off maupun abnormal/trip),bisa untuk remote monitoring melalui PLC/DCS/SCADA.



Gambar 2.1 Panel Switch Gear

1.2 Komponen Switchgear



Gambar 2.2 Komponen Switch Gear

- Komponen-komponen dalam switchgear tersebut adalah:
- Kompartemen busbar (busbar compartment)
- Kompartemen penghubung dan pemutus (*Circuit Breaker*, Switch Pemutus)



Beban, *Disconnecting Switch/Switch, Fuse*)

- Kompartemen kabel/ kabel control (cable compartment)
- Kompartemen lain pendukung operasional (PT, CT, relay proteksi).

Jadi inti dari switchgear adalah peralatan penghubung/ pemutus yaitu:

- Switch/disconnecting switch (S/DS)
- Load Break Switch (LBS)
- Pemutus/Breaker (CB)
- Pemutus Lebur (fuse)

1.2.1 Bus – Bar

Bus –bar (rel) adalah susunan konduktor yang digunakan dalam sebuah panel. Bus-bar untuk menghantarkan listrik dari incoming feeder ke seluruh cabang sirkuit perlindungan dalam instalasi listrik. Tentunya menggunakan alat ini untuk mempermudah instalasi maupun perubahan. Selain itu juga plat bus-bar efektif dalam mengantisipasi panas berlebih karena dilewati arus yang cukup besar. Alat ini salah satu komponen utama dari *Switchgear* yang berfungsi sebagai tempat atau mediator untuk menghubungkan beberapa rangkaian atau peralatan.

Bahan untuk bus-bar umumnya terbuat dari tembaga, aluminium, dan alloy. Material bus-bar yang berfungsi sebagai konduktor listrik memiliki peranan penting agar biaya yang dikeluarkan sebanding dengan umur hidup panel listrik. *Bus-bar* ada yang berbahan tembaga dan juga ada yang berbahan aluminium. Tembaga lebih baik dibandingkan aluminium dari segi konduktivitas dan kekuatan. Namun tembaga memiliki berat lebih besar dibandingkan aluminium. Tembaga memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi sehingga memberikan resistensi yang lebih besar daripada aluminium sehingga bus-bar yang terbuat dari tembaga lebih tahan terhadap kerusakan.



Gambar 2.3 Bus Bar

1.2.2 Circuit Breaker

Circuit Breaker atau Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis stability.

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 peralatann lain. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Circuit Breaker (CB) agar dapat melakukan hal-hal diatas, adalah sebagai berikut :

- Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
- Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, sehingga tidak



membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri

Setiap Circuit Breaker dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu CB, yaitu :

1. Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum continue yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya

Adapun pengklasifikasian PMT atau CB ini yang dibagi bebarapa jenis, yaitu :

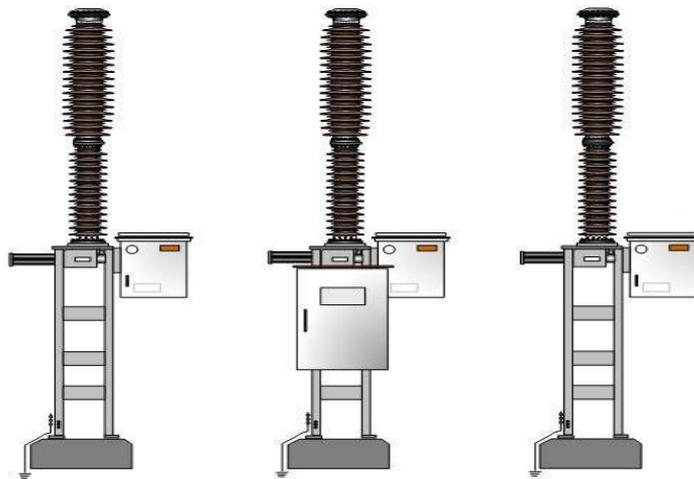
- Berdasarkan tegangan Rating Nominal
PMT atau CB dapat dibedakan menjadi beberapa tegangan :
 1. CB tegangan rendah (*low voltage*)
Dengan tegangan 0,1 s/d 1 kV.
 2. CB tegangan menengah (*medium voltage*)
Dengan tegangan 1 s/d 35 kV.
 3. CB tegangan tinggi (*high voltage*)
Dengan tegangan 35 s/d 245 kV.
 4. CB tegangan extra tinggi (*extra high voltage*)

Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kV.

- Berdasarkan jumlah mekanik penggerak

PMT single pole

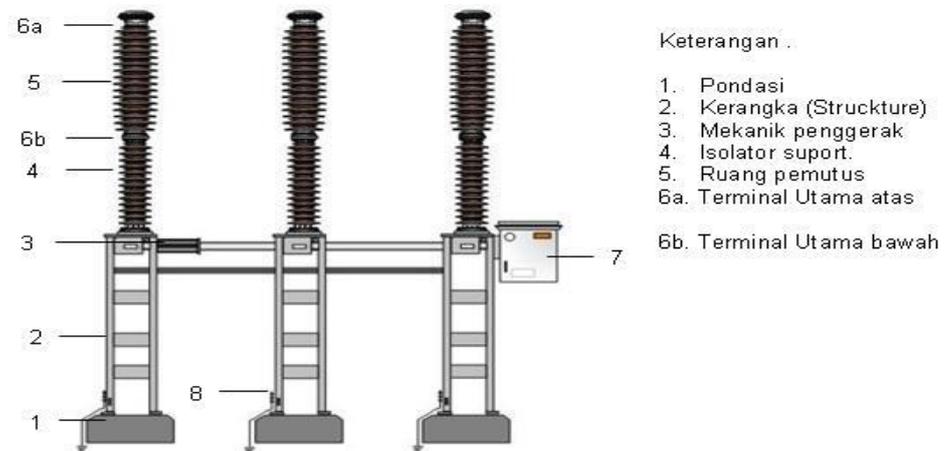
PMT tipe ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



Gambar 2.4 PMT Single Pole

1. *PMT three pole*

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



Gambar 2.5 PMT *three pole*

1.2.3 Transformator Ukur

Transformator ukur merupakan suatu peralatan yang dapat mentransformasikan (merubah) suatu besaran listrik (arus dan tegangan) ke besaran yang sama dengan harga yang berbeda. Transformator ukur memiliki belitan primer dan belitan sekunder. Belitan primer dihubungkan ke jaringan sistem tenaga listrik dan belitan sekunder dihubungkan ke peralatan ukur dan peralatan pengaman. Oleh karena itu pada sistem tenaga listrik memiliki besaran dengan nilai yang cukup besar maka transformator ukur berfungsi untuk menurunkan nilai besaran. Berdasarkan besaran yang ditransformasikan. Transformator ukur terdiri dari :

1. Transformator Arus (*Current Transformer/CT*) :

Transformator arus berfungsi untuk mentrasformasikan arus yang besar menjadi arus yang kecil. Arus yang kecil ini disebut sebagai arus sekunder dan dihubungkan ke peralatan ukur atau rele pengaman. Penerapan arus sekunder pada transformator arus dengan nilai nominal 1 A atau 5 A. Konstruksi dari trafo arus ini terdiri dari :

- Kumparan

Berfungsi untuk mentransformasikan besaran arus besar menjadi arus yang kecil.

- Pendingin



Merupakan bahan yang bersifat isolator seperti minyak atau udara. Berfungsi untuk mendinginkan kumparan dan sekaligus mengisolasi bagian bertegangan.

- Porselen

Sebagai pelindung (*body*) merupakan bagian luar dari transformator yang berfungsi untuk memisahkan bagian bertegangan.

- Dehydrating Breather

Sebagai pernafasan transformator yang berfungsi untuk menyerap udara lembab yang timbul dalam ruang transformator sehingga dapat mencegah rusaknya isolasi transformator.

- Terminal

Berfungsi untuk penyambungan dari sisi primer atau sekunder ke peralatan listrik lain yang membutuhkannya.

2. Transformator Tegangan (*Potential Transformer/PT*) :

Tranformator tegangan berfungsi untuk mentransformasikan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang rendah, tegangan yang rendah ini disebut tegangan sekunder dan dihubungkan ke peralatan ukur atau rele pengaman. Penerapan tegangan sekunder pada transformator tegangan dengan nilai nominal $100/\sqrt{3}$ V atau $110/\sqrt{3}$ V. Konstruksi tranformator tegangan terdiri dari :

- Kumparan

Berfungsi untuk mentransformasikan besaran arus besar menjadi arus yang kecil.

- Pendingin

Merupakan bahan yang bersifat isolator seperti minyak atau udara. Berfungsi untuk mendinginkan kumparan dan sekaligus mengisolasi bagian bertegangan.

- Porselen



Sebagai pelindung (*body*) merupakan bagian luar dari transformator yang berfungsi untuk memisahkan bagian bertegangan.

- *Dehydrating Breather*

Sebagai pernafasan transformator yang berfungsi untuk menyerap udara lembab yang timbul dalam ruang transformator sehingga dapat mencegah rusaknya isolasi transformator.

- Terminal

Berfungsi untuk penyambungan dari sisi primer atau sekundur ke peralatan listrik lain yang membutuhkannya.

Sesuai dengan kebutuhan penggunaannya pada sistem tenaga listrik tiga fasa, kumparan pada transformator tegangan dihubungkan dengan beberapa formasi. Antara lain :

➤ Hubungan delta terbuka atau hubungan V

Hubungan ini digunakan untuk jaringan tegangan menengah dan terdiri dari dua buah transformator tegangan satu fasa.

➤ Hubungan fasa ke tanah

Hubungan ini digunakan pada jaringan tegangan menengah dan tegangan tinggi dengan menghubungkannya ke tanah sehingga tegangan sekundernya adalah tegangan fasa ke tanah.

1.2.4 Relay Pengaman

Relay pengaman atau relay Proteksi adalah susunan peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi atau merasakan adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem listrik. Relay pengaman dapat mendeteksi atau merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi, dan sebagainya dengan besaran yang ditentukan.



Relay secara otomatis membuka Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau alarm (bel) yang menandakan sistem telah terjadi gangguan. Adapun fungsi relay proteksi ini pada sistem tenaga listrik, yaitu :

1. Merasakan, mengukur, dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya tidak terganggu dan dapat beroperasi secara normal ;
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan atau bagian sistem yang terganggu ;
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan ;
4. Memperkecil bahaya bagi aspek kehidupan.

Adapun jenis-jenis pembagian relay proteksi berdasarkan besaran ukur yang sering ditemukan dalam pengamanan sistem tenaga listrik, diantaranya yaitu:

1. Relay Arus

Adalah relay yang bekerja berdasarkan pengaturan arus yang akan bekerja pada sistem. Adapun yang relay arus yang sering ditemukan pada sistem tenaga listrik yaitu relay arus lebih atau *Over current Relay* (OCR). Relay arus lebih adalah suatu relay yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengamanan arus lebih. Relay ini pada dasarnya mengamankan adanya arus lebih yang diakibatkan oleh hubung singkat dan beban lebih. Relay arus lebih ini memberi syarat kepada PMT (Pemutus Tenaga) bila terjadi gangguan untuk membuka rangkaian sehingga kerusakan alat akibat gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dihindari.

2. Relay Tegangan

Adalah relay yang bekerja berdasarkan pengaturan tegangan yang ada pada sistem. Terdapat dua jenis relay tegangan yang digunakan pada sistem



tenaga listrik sebagai proteksi. Yaitu relay tegangan lebih (*Over Voltage Relay*) dan relay tegangan jatuh (*Under Voltage Relay*). relay ini bekerja melindungi apabila terjadi tegangan lebih atau tegangan jatuh akibat sambaran petir, selisih parameter beban yang digunakan sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. kepada PMT (Pemutus Tenaga) bila terjadi gangguan untuk membuka rangkaian sehingga kerusakan alat akibat gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dihindari.

3. Relay Gangguan Tanah

Adalah relay yang bekerja apabila terjadi gangguan hubungan singkat fasa ke tanah. Prinsip kerja dari relay gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) ini sama dengan prinsip kerja dari relay arus lebih (*Over Current Relay*). Yang membedakannya yaitu jika relay arus lebih mendeteksi adanya hubung singkat antara fasa dengan fasa, sedangkan relay gangguan tanah antara fasa dengan tanah. Dikarenakan arus gangguan yang timbul akibat kebocor mengalir ke tanah dengan nilainya kecil dan tidak bias terdeteksi oleh relay arus lebih, dengan demikian diperlukan relay gangguan tanah (*Ground Foulth Relay*)

1.2.5 Peralatan Pengukuran

Adapun alat ukur yang terdapat pada alat switchgear yaitu diantaranya seperti :

1. Ampere Meter

Ampere meter adalah sebuah alat untuk mengukur kuat arus listrik dalam rangkaian tertutup. Ampere meter biasanya dipasang secara seri dengan elemen listrik. Alat ini sering digunakan oleh teknisi yang biasanya menjadi satu dalam multimeter atau avometer. Cara penggunaannya yaitu dengan menghubungkan secara seri antara rangkaian yang akan diukur arusnya dengan amperemeter. Karena didalam ampere meter terdapat kumparan sebagai pelaku untuk menghasilkan putaran. Ampere meter bekerja berdasarkan prinsip gaya magnetik. Ketika arus mengalir melalui kumparan



yang dilengkapi oleh medan magnet timbul gaya magnetik atau gaya Lorentz yang menggerakkan jarum penunjuk menyimpang.

2. Volt meter

Adalah alat untuk mengukur besar tegangan listrik dalam suatu rangkaian listrik. Volt meter disusun secara paralel terhadap letak komponen yang diukur dalam rangkaian. Prinsip kerjanya adalah adanya fluks magnetik yang memiliki bentuk gelombang sinus dengan frekuensi yang sama dan masuk ke dalam suatu kepingan logam secara paralel. Antara fluks yang satu dengan fluks yang lain terdapat suatu perbedaan fasa. Fluks bolak-balik akan membangkitkan tegangan-tegangan dalam kepingan logam yang akan menyebabkan terjadinya arus-arus putar di kepingan logam.

3. Frekuensi Meter

Tujuan alat ini adalah untuk mengetahui banyaknya getaran listrik dengan kesatuan Hertz (Hz) dari sumber pembangkit tenaga listrik. Mengapa getaran ini perlu diketahui, hal ini menyangkut permasalahan dari alat yang dipergunakan, dalam hal ini adalah alat-alat listrik karena alat-alat tersebut sudah mempunyai spesifikasi tertentu untuk getarannya. Biasanya yang dipakai rata-rata 48 Hz sampai dengan 60 Hz.

1.3 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis stability.

Pemutus tenaga yang terdapat pada Switchgear Sistem Kelistrikan berfungsi untuk menghubungkan atau melepaskan beban, apabila terjadi gangguan pada suatu Sistem Kelistrikan. Pemutus tenaga yang dipasang pada sistem kelistrikan pemutus tenaga dengan media Vacuum Circuit Breaker (VCB), pemutus tenaga dengan media gas SF₆ (Sulphur Hexafluoride Breaker) dan PMT Media Minyak (*Oil Circuit Breaker*).



1.3.1 Pemutus tenaga dengan media Vacuum Circuit Breaker (VCB).

Pemakaian pemutus tenaga dengan media udara vakum cukup banyak digunakan pada tegangan menengah dan tinggi. Udara bertekanan tersebut digunakan untuk operasi membuka, menutup dan memadamkan busur api. Pemutus tenaga dengan hampa udara memiliki kontak-kontak pemutus tetap dan bergerak yang ditempatkan dalam ruang hampa udara. Ruang hampa udara tersebut memiliki kekuatan dielektrik yang cukup tinggi dan merupakan media pemadaman busur api yang baik. Untuk mencegah udara masuk ke dalam bilik, maka bilik harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam. Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisi termis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron-elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda. Dalam perjalanannya menuju anoda, elektron-elektron bebas ini bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi ionisasi tumbukan. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

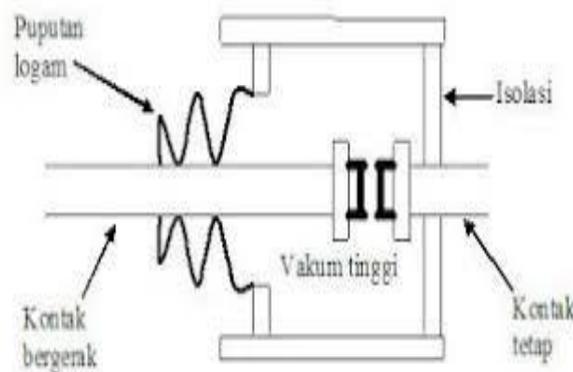
Prinsip kerjanya berbeda dengan dasar prinsip lain kerana tidak terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak - kontak terbuka, ketika kontak pemutus dibuka dalam ruang hampa maka akan timbul percikan busur api, elektron dan ion saat pelepasan walaupun hanya sesaat maka dengan cepat diredam kerana percikan busur api, elektron dan ion yang dihasilkan pada saat pemutusan akan segera mengembun pada ruangan hampa, kemampuannya terbatas hingga kira-kira 30 kV. untuk tegangan yang lebih tinggi pemutus ini dapat di pasang seri.

Kelebihan menggunakan CB jenis ini yaitu :

1. Konstruksinya kompak, andal, dan tahan lama ;
2. Tidak menimbulkan bahaya kebakaran ;

3. Ketika dioperasikan, tidak menimbulkan gas ;
4. Perawatannya mudah dan murah ;
5. Mampu menahan tegangan impuls petir.

Secara sederhana kontak pemutus tenaga jenis vakum ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kontak Pemutus Tenaga Vakum.

1.3.2 Pemutus tenaga dengan media GAS SF₆ (Sulphur Hexafluoride Breaker).

Media gas yang digunakan adalah gas SF₆ (Sulphur Hexafluoride Breaker) yang mempunyai sifat tidak berbau, tidak berwarna, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Penggunaan pemutus tenaga pada temperatur diatas 150 °C gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bahan lainnya yang umum digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Disisi lain, gas SF₆ mempunyai karakteristik disipasi panas yang baik serta kuat medan dielektrik yang besar dibandingkan dengan minyak. Jadi fungsi media gas SF₆ tersebut adalah memadamkan busur api listrik yang timbul antara kontak pada waktu membuka dan sebagai isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan. Sifat lain dari gas SF₆ ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka. Selama pengisian, gas SF₆ akan menjadi dingin jika keluar dari tangka penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk

pengisian kedalam bagian/ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF₆ perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian pada saat gas SF₆ pada suhu lingkungan. Bentuk PMT jenis SF₆ ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pemutus Tenaga dengan Media Gas SF₆

Bagian-bagian utama pemutus tenaga dengan media gas SF₆ antara lain:

1. Ruang pemutus tenaga
2. Kontak-kontak
3. Pengatur busur api
4. Bangian penyangga
5. Mekanis penggerak

Prinsip kerja pemutus tenaga dengan media gas SF₆ yaitu proses membuka dan menutup dilakukan dengan cara menaikkan dan menurunkan posisi dari kontak bergerak yang terhubung pada batang penggerak yang digerakkan oleh penggerak mekanis.

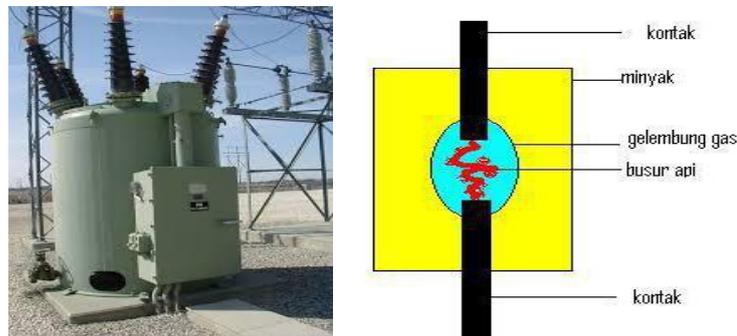
1.3.3 PMT Media Minyak (*Oil Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV. Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan



gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas hidrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak. Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong ke bawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini akan menimbulkan pendinginan busur api, mendorong proses rekombinasi dan menjauhkan partikel bermuatan dari lintasan busur api. Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus. Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat. Kelemahan menggunakan PMT ini adalah sebagai berikut :

- minyak mudah terbakar dan jika mengalami tekanan dapat meledak ;
- Kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidakcocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat ;
- Interaksi busur api dengan minyak menimbulkan karbonisasi danmemproduksi gas hydrogen. Jika karbonisasi berlangsung lama akanterjadi endapan karbon dan jika gas hidrogen bercampur dengan udara,maka dapat menimbulkan campuran yang eksplosif;
- Minyak akan mengalami degradasi jika bercampur dengan air atau karbon, maka perlu diadakan pemeriksaan rutin terhadap sifat di elektrik dan sifat kimia minyak.



Gambar 2.8 Oil Circuit Breaker dan Pemadaman busur api.

1.4 Prinsip Kerja Switch Gear

A. Switchgear sebagai alat pemutus dan penghubung.

Dalam fungsi ini, ada dua kondisi putus hubung. Yaitu:

- Kondisi Normal
- Kondisi gangguan

Kondisi normal adalah kondisi putus hubung peralatan atau memati hidupan peralatan secara normal. Misal kita ingin menyalakan motor listrik, menghidupkan heater, menyambungkan generator, dan menyambungkan peralatan listrik lainnya dalam keadaan dan kondisi normal operasi seperti biasa. Tujuan utamanya adalah operasi normal dari peralatan dalam suatu sistem kelistrikan.

B. Sebagai alat proteksi

Fungsi switchgear yang kedua ini sangat besar peranannya dalam hal mengamankan peralatan utama. Kita ketahui bersama bahaya gangguan listrik dapat menjadi cikal bakal malapetaka. Kebakaran, rusaknya peralatan utama, tidak beroperasinya pabrik dan lainnya dapat timbul akibat kondisi gangguan yang terjadi. Saat terjadi gangguan listrik semisal arus hubung singkat, arus yang mengalir pada rangkaian listrik akan menjadi sangat besar dan berlipat-lipat besarnya. Kejadian ini menimbulkan loncatan atau busur api yang mampu merusak peralatan. Maka untuk mengamankan peralatan akibat gangguan tersebut,



switchgear dengan komponen utamanya yaitu circuit breaker akan berupaya memutuskan rangkaian dengan segera. Sehingga potensi bahaya terhadap manusia maupun peralatan dapat di cegah atau di minimalisir.

Kemampuan switchgear dalam memutus pada kondisi gangguan ini sangat tergantung pada kemampuan switchgear itu sendiri. Semakin tinggi kemampuan switchgear, maka akan semakin tinggi kemampuan memutus arus hubung singkat yang terjadi. Begitupula pada switchgear tegangan tinggi, dimana semakin tinggi level tegangan isolasi yang dimiliki switchgear tersebut maka levelnya akan semakin tinggi pula. Yang harus di pastikan adalah memastikan switchgear yang dipasang sesuai kapasitas pemutusannya (breaking limit) baik arus maupun tegangan. Kapasitasnya sesuai dengan potensi arus maupun gangguan yang mungkin terjadi sesuai hasil perhitungan (load flow & short circuit calculation).

Kasus yang sering di temui adalah, peralatan switchgear yang terpasang sering tidak sesuai antara potensi gangguan dengan peralatan yang di pasang atau pemilihan tipe pemutusannya sering tidak tepat, yang hasilnya switchgear gagal dalam melakukan pengamanan. Namun sebaliknya juga pernah di temui, justru over spesifikasi yang berlebihan justru terjadi. Disatu sisi memang berfungsi maksimal mengamankan peralatan namun disisi lain terjadi pemborosan anggaran. Itu sebabnya penerapan dan pemasangan switchgear yang baik perlu dilakukan studi / engineering agar di dapat hasil yang terbaik dari sisi sistem pengamanan maupun sisi biaya.

C. Switchgear sebagai fungsi pengukuran.

Pada switchgear dipasang Current Transformer (CT) dan Voltage Transformer (VT). Dua komponen ini sangat berperan penting sebagai input dari relay proteksi dalam mencegah gangguan, namun di saat ini fungsi yang di tonjolkan ialah pengukuran energi listrik yang terpakai. Karena di era saat ini penggunaan energi menjadi perhatian dan sorotan para pemangku kepentingan. Karena setiap energi yang mengalir maka rupiah demi rupiah di keluarkan atau sebaliknya di hasilkan.

Pada rangkaian beban, tentu penggunaan energi pada beban akan diukur dan di konversi menjadi pengeluaran. Berapa rupiah yang dikeluarkan untuk mengoperasikan peralatan listrik akan terukur melalui komponen CT & VT yang terpasang di switchgear ini. Dan pada rangkaian generator listrik pada pembangkit listrik, akan terukur besaran energy listrik yang dihasilkan dan di konversi menjadi sejumlah rupiah yang di hasilkan setiap jam nya.

1.5 Konstruksi Switch Gear



Gambar 2.9 Switch Gear

Konstruksi switchgear secara luas dapat berupa:

1. Gardu induk, gardu distribusi

- Gardu induk pada umumnya digunakan pada system tegangan tinggi dan tegangan menengah sebagai pemutus dan penghubung jaringan transmisi dan distribusi.

2. Switchboard

- Switchboard adalah unit switchgear yang berbentuk box atau lemari hubung (cubicle) bagian utama pada system tenaga listrik yang berfungsi untuk mengoperasikan beban dan jaringan, berikut contoh gambar switchboard pada switchgear:

Switchboard berdasarkan fungsinya dibagi menjadi :

- a. Switchboard rangkaian daya (tegangan rendah dan tegangan menengah)

- b. Switchboard rangkaian control, yang berfungsi untuk mengoperasikan dan mengontrol rangkain daya pada gardu induk (GI).
- c. Switchboard rangkain pengukuran daya. Switchboard dengan fungsinya sebagai penghubung dan pembagi biasa disebut dengan panel hubung bagi atau perlengkapan hubung bagi (PHB).



Gambar 2.10 Switch Board

Konstruksi dan pemasangan Switchboard meliputi persyaratan pemasangan perlengkapan-perengkapan Switch gear meliputi :

- Boxpanel
 1. Bahan
 2. Dimensi
 3. Standar keamanan
- Busbar
 1. Bahan
 2. Dimensi
 3. Jarak pemasangan
- Peralatan hubung (Switchgear) :
 1. Circuit breaker (MCB, MCCB, ACB, OCB, GCB)
 2. Switch pemutus beban (LBS)
 3. Switch / disconnecting switch (S/DS)
 4. Pemutus lebur (Fuse)



- Trafo lebur (instrument transformer)

1. Trafo tegangan (PT)
2. Trafo arus (CT)

- Relai proteksi

1. OCR (relay arus)

Adalah relay yang bekerja berdasarkan pengaturan arus yang akan bekerja pada sistem. Adapun yang relay arus yang sering ditemukan pada sistem tenaga listrik yaitu relay arus lebih atau *Over current Relay* (OCR). Relay arus lebih adalah suatu relay yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengamanan arus lebih. Relay ini pada dasarnya mengamankan adanya arus lebih yang diakibatkan oleh hubung singkat dan beban lebih. Relay arus lebih ini memberi syarat kepada PMT (Pemutus Tenaga) bila terjadi gangguan untuk membuka rangkaian sehingga kerusakan alat akibat gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dihindari.

2. UV / OV (relay tegangan)

Adalah relay yang bekerja berdasarkan pengaturan tegangan yang ada pada sistem. Terdapat dua jenis relay tegangan yang digunakan pada sistem tenaga listrik sebagai proteksi. Yaitu relay tegangan lebih (*Over Voltage Relay*) dan relay tegangan jatuh (*Under Voltage Relay*). relay ini bekerja melindungi apabila terjadi tegangan lebih atau tegangan jatuh akibat sambaran petir, selisih parameter beban yang digunakan sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. kepada PMT (Pemutus Tenaga) bila terjadi gangguan untuk membuka rangkaian sehingga kerusakan alat akibat gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dihindari.

3. Relay Gangguan Tanah

Adalah relay yang bekerja apabila terjadi gangguan hubungan singkat fasa ke tanah. Prinsip kerja dari relay gangguan tanah (*Ground Fault*



Relay) ini sama dengan prinsip kerja dari relay arus lebih (*Over Current Relay*). Yang membedakannya yaitu jika relay arus lebih mendeteksi adanya hubung singkat antara fasa dengan fasa, sedangkan relay gangguan tanah antara fasa dengan tanah. Dikarenakan arus gangguan yang timbul akibat kebocor mengalir ke tanah dengan nilainya kecil dan tidak bias terdeteksi oleh relay arus lebih, dengan demikian diperlukan relay gangguan tanah (*Ground Foul Relay*)

- Peralatan pengukuran daya

1. Ampere meter

Ampere meter adalah sebuah alat untuk mengukur kuat arus listrik dalam rangkaian tertutup. Ampere meter biasanya dipasang secara seri dengan elemen listrik. Alat ini sering digunakan oleh teknisi yang biasanya menjadi satu dalam multitester atau avometer. Cara penggunaannya yaitu dengan menghubungkan secara seri antara rangkaian yang akan diukur arusnya dengan amperemeter. Karena didalam ampere meter terdapat kumparan sebagai pelaku untuk menghasilkan putaran. Ampere meter bekerja berdasarkan prinsip gaya magnetik. Ketika arus mengalir melalui kumparan yang dilengkapi oleh medan magnet timbul gaya magnetik atau gaya Lorentz yang menggerakkan jarum penunjuk menyimpang.

2. Volt meter

Adalah alat untuk mengukur besar tegangan listrik dalam suatu rangkaian listrik. Volt meter disusun secara paralel terhadap letak komponen yang diukur dalam rangkaian. Prinsip kerjanya adalah adanya fluks magnetik yang memiliki bentuk gelombang sinus dengan frekuensi yang sama dan masuk ke dalam suatu kepingan logam secara paralel. Antara fluks yang satu dengan fluks yang lain terdapat suatu perbedaan fasa. Fluks bolak-balik akan membangkitkan tegangan-tegangan dalam kepingan logam yang akan menyebabkan terjadinya arus-arus putar di kepingan logam.



3. Frekuensi meter

Tujuan alat ini adalah untuk mengetahui banyaknya getaran listrik dengan kesatuan Hertz (Hz) dari sumber pembangkit tenaga listrik. Mengapa getaran ini perlu diketahui, hal ini menyangkut permasalahan dari alat yang dipergunakan, dalam hal ini adalah alat-alat listrik karena alat-alat tersebut sudah mempunyai spesifikasi tertentu untuk getarannya. Biasanya yang dipakai rata-rata 48 Hz sampai dengan 60 Hz.

2.6 Pengukuran dan Pemasangan Switch Gear

Kabel-kabel control dan pengukuran Pemasangan Switchgear Dibedakan menurut :

1. Unit Switchgear
2. Perlengkapan / komponen

a. Unit Switchgear

Switchgear daya IP tinggi (IP55 atau lebih) dipasang pada tempat-tempat tertentu atau dalam ruangan perlengkapan Switchgear terlindung dari sentuhan atau bahkan semprotan air dan debu sekalipun tidak mudah menjangkau bagian dalamnya (kecuali pada bagian ventilasi yang dibuat sedemikian rupa hingga aman.

Switchgear dengan IP rendah (IP00), dipasang di dalam ruangan tertutup / terkunci sehingga tidak mudah dijangkau / didekati, kecuali hanya oleh orang-orang tertentu / yang ahli saja Switchgear seperti ini berupa rangka-rangka terbuka tempat menempelkan / memasang perlengkapan-perengkapan Switching dan lain-lain dan hanya sebagian sisi yang tertutup dapat mengoperasikan peralatan seperti tombol on-off dan Switch on, Switch off.

Perlengkapan listrik yang bertegangan tidak terlindung dari sentuhan luar, tidak terlindung terhadap benda-benda luar maupun semprotan / tetesan air jadi tingkat bahaya terhadap sentuhan langsung tinggi. Switchboard semacam ini banyak dijumpai/ terpasang pada pusat-pusat pembangkit listrik, gardu induk, tapi keberadaannya sudah berkurang, digantikan oleh Switchboard dengan IP tinggi (IP55). Lebih praktis dan aman sering dengan perkembangan teknologi.



b. Pemasangan perlengkapan hubung dan komponen penghubungnya di dalam box panel. Meliputi pemasangan bagian-bagian yang tidak berisolasi seperti :

- Bus bar
- Kabel terminal
- Fuse
- Titik-titik penyambung pada CB, Switch, dsb.

Disini jarak aman antar penghantar fasa dan antar penghantar daya bodi/angka perlu dijaga pada Switch board tegangan rendah ($< 1 \text{ K}$) jarak aman yang ditetapkan = 5 cm. Pada tegangan menengah jarak aman ditetapkan $5 \text{ cm} + 1 \text{ cm/kV}$.

Contoh : Pada panel TM 20 kv, maka jarak aman pemasangan hantaran telanjang di dalam box = $5 + 1 \times 20 = 25 \text{ cm}$
Bahwa hantaran jarak tersebut hanya berlaku pada Switchboard konvensional, yaitu dengan medan udara.

Untuk Switchboard dengan medium / penyekat yang lain (minyak, SF6) berbeda, akan lebih kecil atau kurang dari ketentuan di atas. Jadi yang berperan dalam menentukan jarak aman ini adalah :

- Penempatan isolator pendukung menjaga jarak hantaran fasa dengan fasa dan fasa dengan bodi.
- Ukuran/dimensi isolator pendukung menjaga jarak hantaran fasa dengan bodi.
- Pemasangan perlengkapan berisolasi seperti : CB, Switch, kabel tenaga, kabel control, CT, PT, dsb. Karena sudah tercetak / terakit dalam satu unit alat (pada peralatan 3 fasa) dengan jarak aman yang sudah ditetapkan, sehingga yang terpenting adalah menyatakan masing-masing alat sesuai daya fungsinya. Juga dalam terminating/penyambungan kabel pada terminal peralatan harus dijaga jangan sampai mengurangi jarak aman.

2.7 Penyebab Gangguan Pada Switchgear

Pada switchgear, gangguan disebabkan :

1. Gagalnya isolasi



2. Kerusakan mekanis
3. Udara atau bocor oli
4. Rating terlalu rendah
5. Kurang pemeliharaan

Dari penyebab gangguan maka dapat mengakibatkan gangguan hubung singkat, antara lain :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
2. Gangguan hubung singkat dua fasa
3. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Dan apabila dibiarkan berlangsung, maka hubung singkat dapat menimbulkan kerusakan. Kerusakan yang akan timbul akibatnya :

1. Kerusakan karena arcing (Busur api listrik)
2. Kerusakan karena gaya mekanis
3. Kerusakan karena gaya yang berlebihan
4. Penurunan tegangan mengakibatkan terganggunya kerja peralatan listrik
5. Penurunan tegangan mengakibatkan coil tegangan gagal bertahan
6. Mengganggu stabilitas sistem

2.8 Peran Switchgear dalam kondisi terjadi gangguan

Pada suatu jaringan listrik, banyak terjadi hal-hal yang dapat mengganggu kerja dari suatu switchgear dengan kata lain kondisi abnormal pada switchgear baik itu gangguan yang berasal dari internal maupun gangguan dari dalam. Ketika terjadi gangguan, maka akan terlihat adanya indikasi gangguan pada panel sistem kelistrikan yang terdapat di panel menyala pada posisi off untuk membuktikan apakah gangguan itu pada peralatan switchgear, maka dapat dilihat pada panel lokal yang terdapat di masing-masing ruang indikasi gangguan tersebut dengan menunjukkan adanya lampu indikator menyala pada bagian yang mengalami gangguan.

Untuk mengatasi gangguan yang terjadi perlu diperhatikan tahapan-tahapan dan ketentuan-ketentuan yang berupa prosedur mengatasi gangguan pada sistem kelistrikan. Gangguan-gangguan tersebut yang biasa terjadi pada switchgear yaitu terjadinya panas, sering trip tanpa sebab yang diketahui dengan pasti, dan sistem kerjanya tidak dapat dioperasikan. Pelacakan penyebab gangguan tersebut dapat dilakukan diantaranya :

1. Terjadinya panas

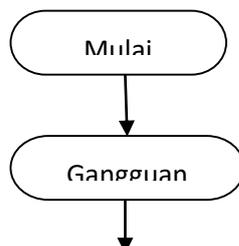
- Periksa arus beban.
- Periksa sambungan-sambungan.
- Periksa kotoran yang menempel / debu.
- Periksa sistem pendingin dan suhu ruangan.

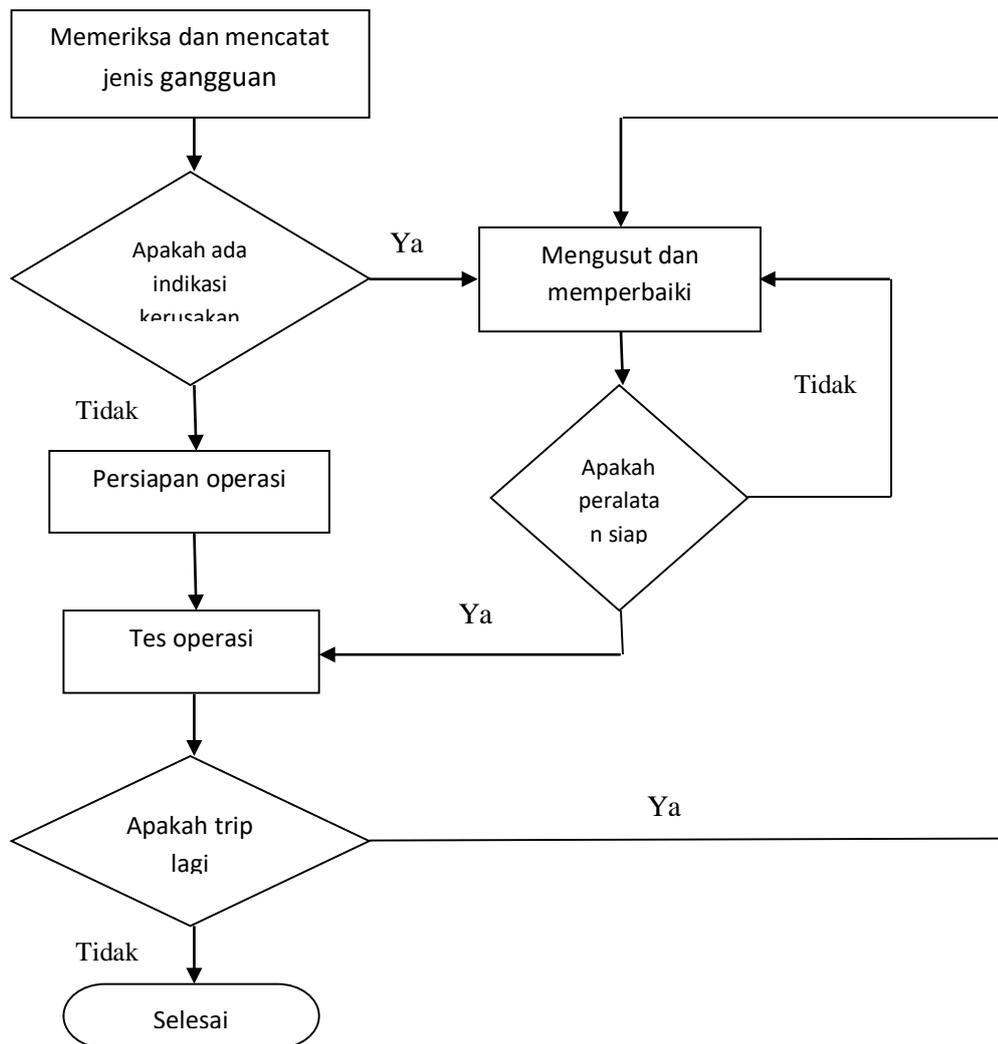
2. Sering trip (tanpa sebab yang jelas)

- Periksa atau acak pada kabel-kabel pada rangkaian
- pengontrolan sesuai gambar diagram rangkaian control.
- Periksa penyetelan/setting dari relay proteksi.
- Periksa tegangan catu daya rangkaian control.
- Periksa kondisi/spesifikasi peralatan proteksi dan pemutus (switchgear).
- Periksa hubungan ke beban.

3. Gagal dioperasikan (on/off)

- Periksa kondisi fisik switchgear
- Periksa atau melacak kabel-kabel control
- Periksa komponen rangkaian kontrol dan karakteristik atau spesifikasi
- Periksa hubungannya ke beban





Gambar 2.11 Diagram alir mengatasi gangguan

2.9 Hubung Singkat (Short Circuit)

Gangguan ini timbul yang diakibatkan adanya hubung singkat, sehingga timbulnya arus baik itu dari fasa ke fasa maupun fasa ke tanah. Gangguan arus hubung singkat ini berakibat secara termis maupun mekanis terhadap peralatan



yang dilaluinya. Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan yaitu ada 3 jenis :

- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Dalam menghitung gangguan hubung singkat (*short circuit*), arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I_{faut} = \frac{V}{Z} = (A) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai ke titik gangguan (ohm/ Ω)

2.10 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Dalam melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, yang dimana impedansi ekivalen jaringan dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut. rangkaian gangguan tiga fasa pada suatu jaringan dengan hubungan transformator daya dengan netral ditanahkan melalui suatu tahanan. Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung berdasarkan rumus dasar seperti persamaan (2.1) diatas dengan menggunakan rumus :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{eq}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

I 3fasa : Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

V_{ph} : Tegangan fasa – netral sistem (kV) = $\frac{\text{Tegangan yang diketahui}}{\sqrt{3}}$



Z_{eq} : Impedansi ekivalen urutan Positif (ohm/ Ω)

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel daya sumber masukan untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang (penghantar).

a) Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber, maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Z_s = \frac{(kV)^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Z_s = Impedansi Sumber (ohm/ Ω)

kV^2 = Tegangan pada suplay *Incoming* / tegangan pada sisi primer trafo daya (kV)

MVA = Kapasitas dari suplay *Incoming* (MVA)

b) Impedansi Transormator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah nilai harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena nilainya kecil. Untuk mencari reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut :

- Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo yang diketahui (kV). Yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ pada } 100\% = \frac{(kV_{sisi \text{ sekunder}})^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.4)$$



- Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya dengan menggunakan rumus:

$$X_t = \% \text{ impedansi transformator} \times X_t \text{ pada } 100\%$$

Dimana :

X_t = impedansi trafo tenaga (ohm/ Ω)

kV^2 = Tegangan pada sisi sekunder trafo daya (kV)

MVA = Kapasitas pada trafo daya (MVA)

c) Impedansi Penghantar

Untuk perhitungan impedansi penghantar, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi perunit yang diasumsikan dengan titik-titik gangguan yang terjadi, yaitu pada titik asumsi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari panjang penghantar yang akan dihitung, dimana nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya. Sehingga untuk impedansi penghantar dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$Z_{\text{penghantar}} = \% \text{ panjang penghantar} \times Z / (\text{ohm}) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$Z_{\text{penghantar}}$: Impedansi penghantar (per unit)

% panjang penghantar : Persen % x panjang penghantar

Z : Nilai Impedansi (per unit)

d) Impedansi Ekivalen Jaringan

Setelah dihitung impedansi dari setiap unit, maka perhitungan yang akan dilakukan selanjutnya adalah perhitungan besar nilai impedansi ekivalen atau total, dari titik gangguan sampai suplay masukan daya atau sumber. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan yang ingin



dicari terbentuk adalah tersambung seri. Maka perhitungannya dapat langsung dengan cara menjumlah impedansi yang telah dihitung per unit tersebut. sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Z_{eq} = Z_s + Z_t + Z \text{ (penghantar) (ohm/ } \Omega \text{)(2.6)}$$

Dimana :

- Z_{eq} : Nilai Impedansi Ekivalen Jaringan
- Z_s : Nilai Impedansi Sumber
- Z_t : Nilai Impedansi Trafo daya
- $Z \text{ (penghantar)}$: Nilai Impedansi Penghantar