



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)^[1]

Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker 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.

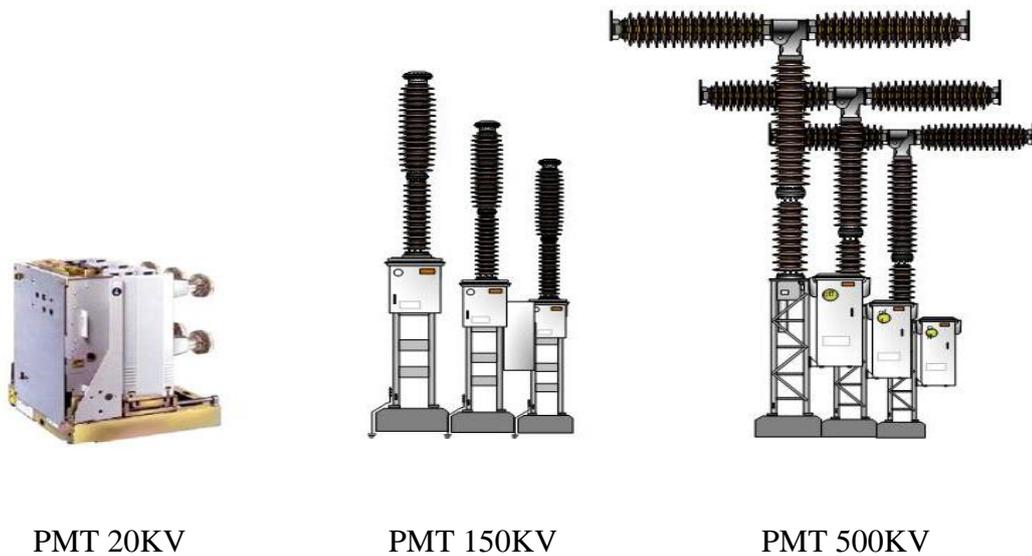
Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Pemutus Tenaga dalam system tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan sangat cepat agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, tidak membuat sistem kehilangan kestabilan, dan tidak merusak pemutus tenaga itu sendiri.



Setiap Pemutus Tenaga dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, 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.



PMT 20KV

PMT 150KV

PMT 500KV

Gambar 2.1 Macam-macam Pemutus Tenaga (PMT)

2.2. Fungsi Bagian Utama PMT^[2]

Ruangan pemutus tenaga ini berfungsi sebagai ruangan pemadam busur api, yang terdiri dari :

- a. Unit pemutus utama yang berfungsi sebagai pemutus utama

Unit pemutus utama ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak- kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada isolator porselen.

- b. Unit pemutus pembantu yang berfungsi sebagai pemutus arus yang melalui tahanan. Unit pemutus pembantu ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara,

kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada porselen.



c. Katup kelambatan

Berfungsi sebagai pengatur udara bertekanan dari pemutus utama ke unit pemutus pembantu, sehingga kontak pada unit pemutus pembantu akan terbuka kurang dari 25 ms (micro detik) setelah kontak-kontak pada pemutus utama terbuka. Katup kelambatan ini berupa bejana berbentuk silinder yang berongga sebagai ruang udara dan juga terdapat ruang pengatur, katup penahan, katup pengatur, rumah perapat, dan tempat katup. “

d. Tahanan.

Tahanan ini dipasang paralel dengan unit pemutus utama, yang berfungsi untuk :

- a. mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul
- b. mengurangi arus pukulan pada waktu pemutusan

e. Kapasitor

Kapasitor ini dipasang paralel dengan tahanan, unit pemutus utama dan unit pemutus pembantu, yang berfungsi untuk mendapatkan pembagian tegangan yang sama pada setiap celah kontak, sehingga kapasitas pemutusan pada setiap celah sama besarnya.



f. Kontak-kontak

1. Unit pemutus utama Kontak bergerak dilapisi dengan perak terdiri dari:
 - a. Kepala kontak bergerak
 - b. Silinder kontak
 - c. Jari-jari kontak
 - d. Batang kontak
 - e. Pegangan kontak Kontak tetap, terdiri dari :
 1. Kepala kontak
 2. Pegangan kontak
2. Unit pemutus pembantu
 - a. Kontak bergerak
 - b. Kontak tetap, yang terdiri dari:
 1. Jari-jari kontak
 2. Pegangan kontak

2.3. Prinsip Kerja PMT^[3]

2.3.1. Prinsip Kerja PMT dengan banyak menggunakan Minyak :

Untuk proses membuka dan menutup dari PMT ini adalah dengan menggerakkan batang penggerak (*Tension Rod*), turun untuk membuka kontak-kontak dan naik untuk menutup kontak-kontak. Batang penggerak digerakkan oleh mekanisme penggerak digerakkan oleh mekanisme penggerak (*Operating Mekanisme*).

2.3.2. Prinsip Kerja PMT dengan sedikit menggunakan Minyak :

Untuk membuka dan menutup PMT adalah dengan menaikkan dan menurunkan posisi dari kontak bergerak (*Moving Contact*) yang terhubung pada batang penggerak (*Operating Rod*) yang digerakkan oleh mekanisme penggerak (*Operating Mechanism*).

[3] "Himpunan Buku petunjuk operasi dan pemeliharaan peralatan penyaluran tenaga listrik"



- Pada Proses Penutupan :

Batang kontak penggerak (*Moving Contact Rod*) yang berhubungan dengan kontak bawah (*Lower Fixed Contact*) bergerak ke arah kontak tetap atas (*Upper Fixed Contact*) sehingga kontak tetap dan kontak bergerak akan terhubung yang merupakan arus dari terminal atas (*Upper Terminal*) ke terminal bawah (*Lower Terminal*).

- Pada Proses Pembukaan :

Batang kontak bergerak yang terhubung dengan kontak tetap bawah, meninggalkan kontak tetap atas, sehingga kontak tetap dan kontak bergerak akan terlepas yang merupakan terputusnya terminal atas dengan terminal bawah.

2.3.3. Prinsip Kerja PMT dengan Media Udara Hembus :

Pada keadaan PMT masuk, arus mengalir dari terminal pemutus pembantu (25) yang selanjutnya terus melewati kontak tetap pemutus pembantu (13), kontak bergerak (14), kontak jari-jari pemutus pembantu (17), penyangga pemutus pembantu (3), kontak tetap pemutus utama (10), kontak bergerak pemutus utama (9), penyangga pemutus utama (4), kemudian menuju kontak gerak, kontak tetap pemutus utama pada sisi berikutnya, terus ke penyangga pemutus pembantu, kontak jari-jari pemutus pembantu, kontak bergerak, kontak tetap pemutus pembantu dan terus ke terminal pemutus pembantu.

Seperti juga pada PMT yang lainnya, proses penutupan dan pembukaan PMT adalah dengan cara menutup dan membuka kontak-kontak pada atau dari kontak-kontak tetap dengan adanya perubahan tekanan udara didalam ruangan pemutus secara terperinci dengan pembantu sebagai berikut :



- Cara Pembukaan PMT :

Setelah kumparan pelepas bekerja, maka katub pengatur membuka dan udara bertekanan tinggi mengalir kesebelah bawah dari silinder penggerak (15). Dengan berputarnya poros penggerak (24) searah jarum jam akan menyebabkan katub kerja (20) dan katub tekan (19) membuka.

Ruangan didalam isolator penyangga (5) dan unit pemutus utama (2) akan terisi penuh dengan udara bertekanan tinggi dari tangki, sehingga kontak bergerak (9) didalam pemutus utama membuka. Busur api akibat pembukaan kontak dipadamkan oleh hembusan udara, dan gas yang timbul akibat busur api tersebut keluar bersama-sama melalui lubang pembuang udara (8). Setelah terjadi pembukaan pada pemutus utama, dengan kelambatan dua Cycle yang diatur oleh katub kelambatan (11), maka udara tekan akan masuk kedalam unit pemutus pembantu (1).

Setelah kontak pemutus pembantu membuka, serta arus sisa yang mengalir melalui tahanan yang paralel dengan pemutus utama diputuskan. Pada akhir langkah kerja pembukaan, kontak bergerak pemutus pembantu (14) menutup lubang pembuang udara (8). Ruang isolator penyangga, pemutus utama dan pemutus pembantu terisi penuh oleh udara bertekanan tinggi.

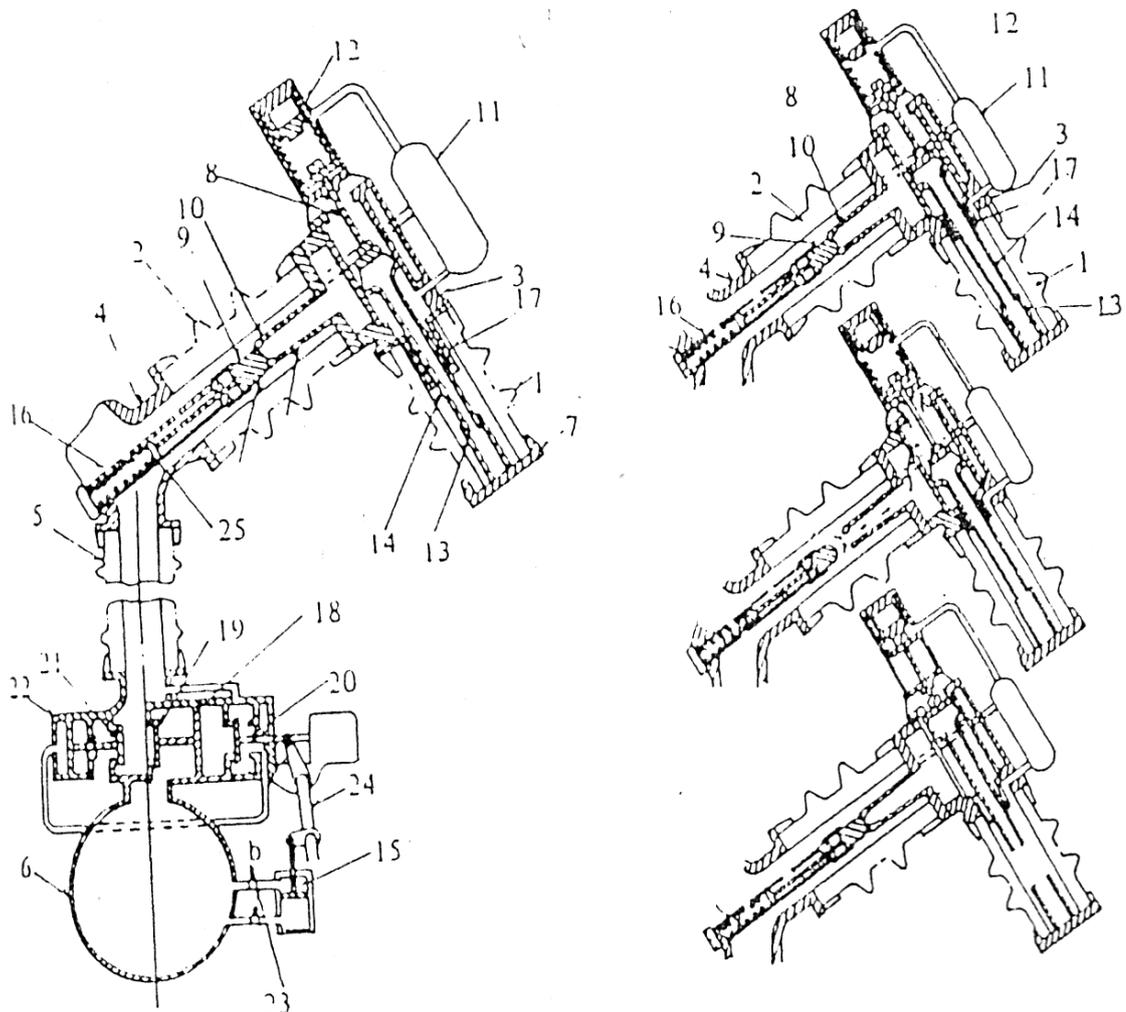
Kontak bergerak pemutus utama masuk kembali setelah pegas penuh dengan tekan. Setelah pemutus arus, pembukaan dari kontak pemutus pembantu dipertahankan membuka oleh tekanan udara dalam ruangan tersebut.

- Cara Pemasukan PMT :

Dengan bekerjanya kumparan penutup, maka katub pengatur membuka dan udara tekan mengalir ke sisi atas dari silinder penggerak (15) dan akan menyebabkan berputarnya poros penggerak (24) yang berlawanan arah dengan putaran jarum jam, maka katub pembuangan (21) terbuka.



Sehingga udara yang bertekanan tinggi didalam ruangan isolator penyangga (5) dan unit pemutus utama (2) terbangun melalui katub pembunag (21). Karena turunnya tekanan udara tersebut dengan tiba-tiba, maka katub kelambatan (11) bekerja dan udara tekan dalam ruang udara dari katub kelambatan (11) mengalir masuk kedalam silinder penutup (12) dan mendorong kontak-kontak pemutus pembantu (14) masuk.



Gambar.2.2 urutan prinsip kerja PMT dengan media udara hembus



Keterangan :

1. Unit Pemutus Pembantu
2. Unit Pemutus Utama
3. Rumah Pemutus Pembantu
4. Penyangga Pemutus Utama
5. Isolator Penyangga
6. Tangki Udara
7. Terminal Unit Pemutus Pembantu
8. Lubang Pembuang Udara
9. Kepala Kontak Bergerak Pemutus Utama
10. Kontak Tetap Pemutus Utama
11. Kutub Kelambatan
12. Silinder Penutup
13. Kontak Tetap Pemutus Pembantu
14. Kontak Bergerak Pemutus Pembantu
15. Silinder Penggerak
16. Pegas Kontak Bergerak Pemutus Utama
17. Jari-jari Kontak Pemutus Pembantu
18. Torak Katub Tekan
19. Katub Tekan
20. Katub Kerja
21. Katub Pembuang
22. Torak Katub Pembuang
23. Katub Pengatur
24. Poros Penggerak
25. Torak



2.3.4. Prinsip Kerja PMT Dengan Media Gas SF₆ :

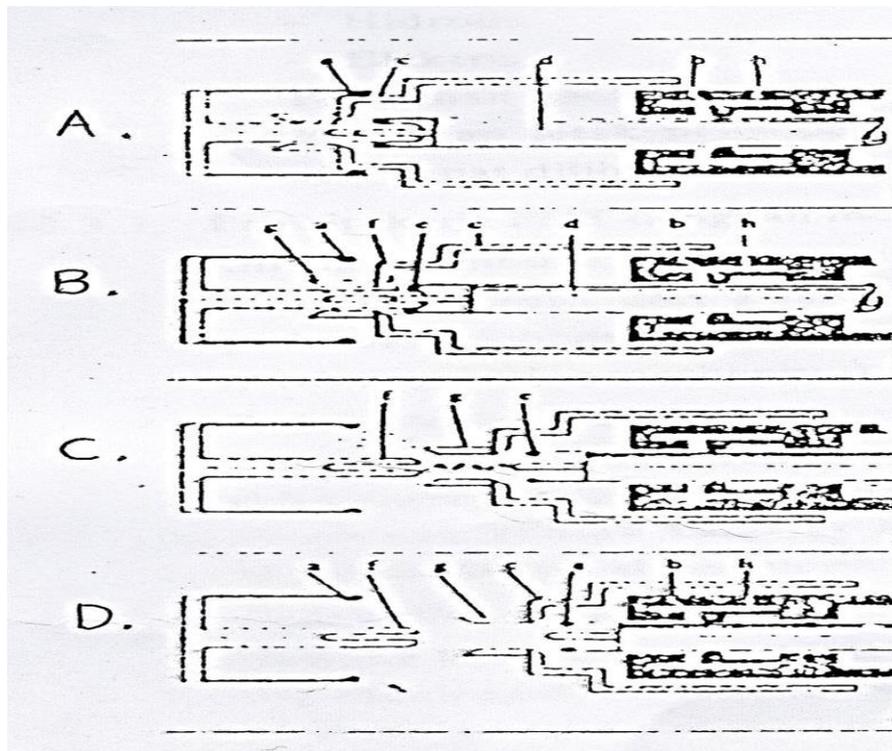
Untuk membuka dan menutup dari CB adalah dengan menaikkan posisi dari kontak bergerak yang terhubung pada batang batang penggerak yang digerakkan oleh mekanisme penggerak (Lihat Gbr.2.2. a, b, c, d).

- Pada Proses Penutupan :

Tabung kontak bergerak (d) yang berhubungan dengan kontak – tetap bawah (b) bergerak kearah bagi-bagian kontak tetap atas (a dan f) sehingga kontak tetap dan kontak bergerak akan terhubung yang merupakan penghubung arus dari terminal atas ketterminal bawah.

- Pada Proses Pembukaan :

Tabung kontak bergerak (d) yang berhubungan dengan kontak tetap bawah (b) meninggalkan kontak tetap atas. Pertama kali, silinder bergerak (c) akan terpisah dengan jari-jari kontak tetapa (a) kemudian jari-jari busur (e) akan terpisah batang busur (f) dan akhirnya ujung busur (i) akan terpisah dengan batang busur (f). pada saat ujung busur (i) terpisah dengan batang busur (f) akan terjadi loncatan busur api yang segera dipadamkan oleh hembusan gas SF₆.



Gambar 2.3 urutan prinsip kerja PMT dengan media udara hembus
Keterangan :

- a. Jari-jari kontak tetap.
- b. Kontak tetap.
- c. Silinder bergerak
- d. Tabung kontak bergerak
- e. Jari-jari kontak busur bergerak
- f. Kontak busur tetap
- g. Nozzle dari bahan isolasi
- h. Bagian Penyangga kontak
- i. Kontak busur bergerak

2.4. Klasifikasi Pemutus Tenaga (PMT)

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan rating/nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadaman busur api jenis gas SF₆.



2.4.1 Berdasarkan Besar / Kelas Tegangan^[4]

PMT dapat dibedakan menjadi :

1. PMT tegangan rendah (Low Voltage)
Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3).
2. PMT tegangan menengah (Medium Voltage)
Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4).
3. PMT tegangan tinggi (High Voltage)
Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5).
4. PMT tegangan extra tinggi (Extra High Voltage)
Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 – 3.6).

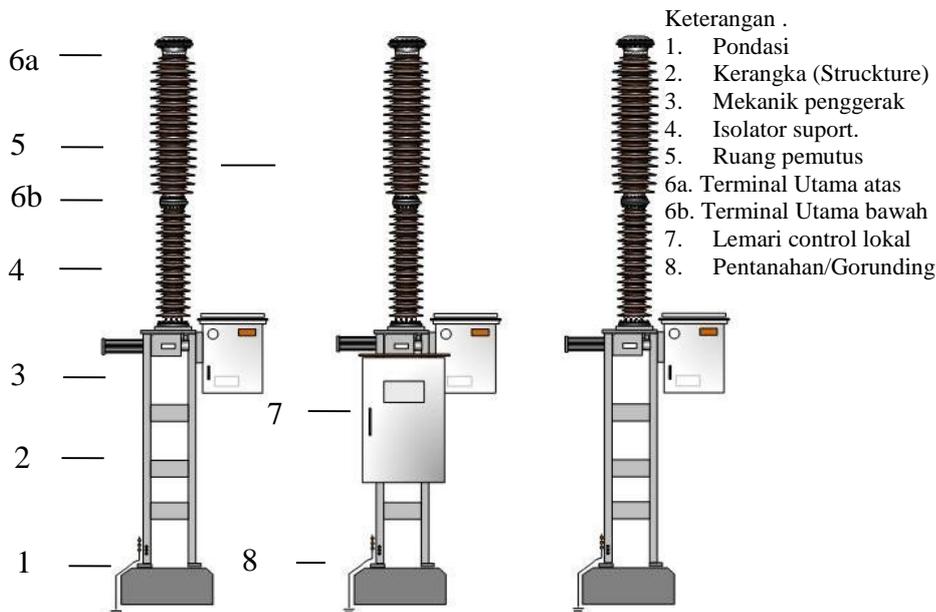
2.4.2 Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak (Tripping Coil)

PMT dapat dibedakan menjadi :

1. PMT Single Pole

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

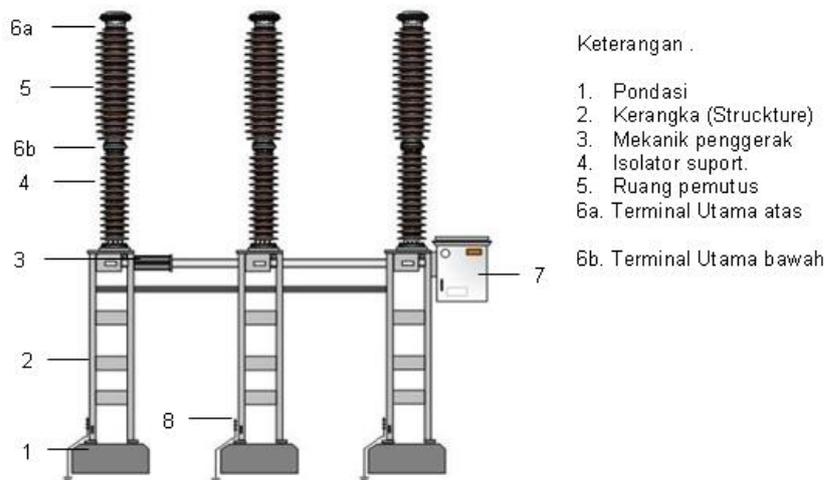
[4] SPLN 1. 1995 Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.



Gambar-2.4. PMT Single Pole

2. 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.



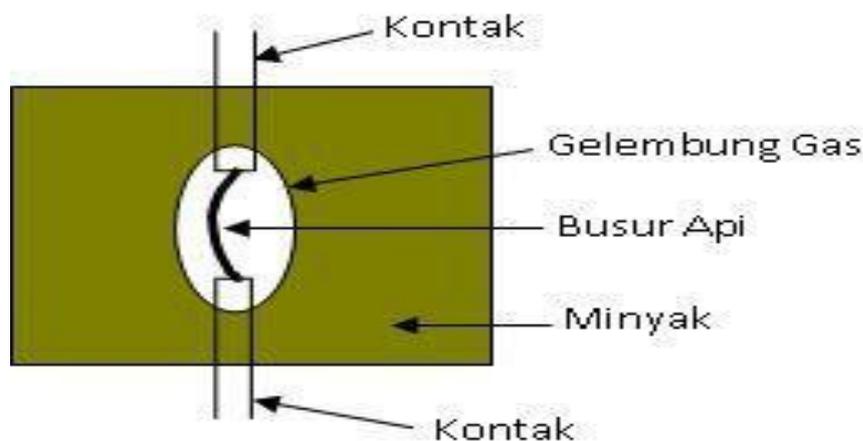
Gambar-2.5. PMT Three Pole



2.5 Media Pemadaman Busur Api listrik^[5]

1. Pemutus Tenaga (PMT) Dengan Media Minyak.

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 hydrogen 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.



Gambar-2.6. Proses Pemadaman Busur Api Media 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.

[5] Ir. Wahyudi Sarimun, N.M.T. "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik"



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.



Gambar-2.7. Oil Circuit Breaker

PMT dengan media minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. PMT dengan banyak menggunakan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker), secara umum dipergunakan pada system tegangan sampai dengan 245 kv, pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama pemutusan kontak-kontak dan sebagai bahan isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, PMT tipe ini ada yang mempunyai alat pembatas busur api listrik dan ada pula yang tidak memakai.

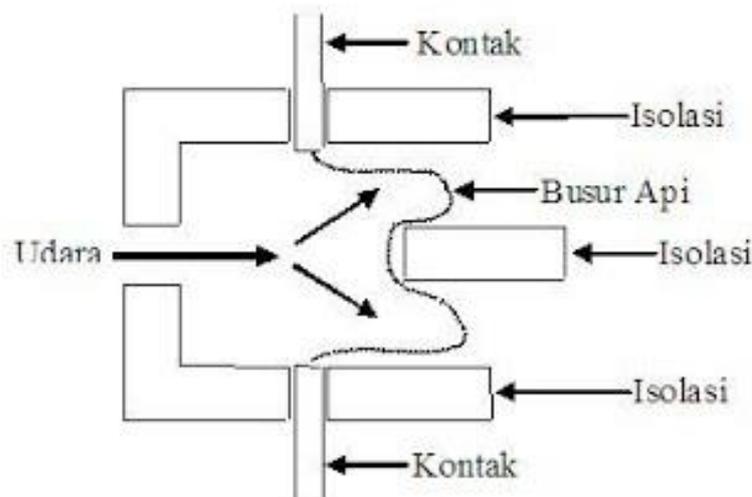


2. PMT dengan sedikit menggunakan minyak (Low oil Content Circuit Breaker), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolasi dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik.

2. PMT Dengan Media Udara (Air Blast Circuit Breaker)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat.

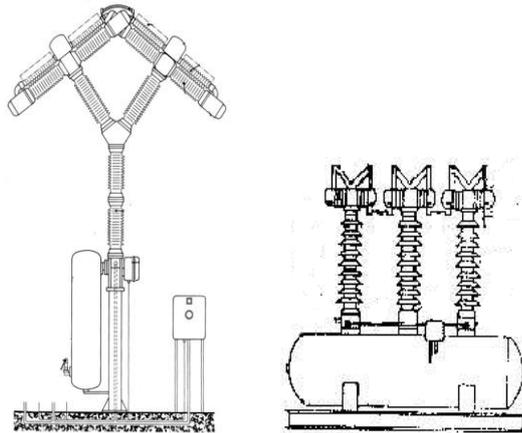
Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan kebusur api dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel-partikel bermuatan dari selak kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah restriking voltage (tegangan pukul ulang).



Gambar-2.8. Proses Pemadaman Busur Api Media Air Blast



Kontak pemutus ditempatkan didalam isolator, dan juga katup hembusan udara. Pada sakelar PMT kapasitas kecil, isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.



Gambar-2.9. Air Blast Circuit Breaker

3. PMT Media Hampa Udara (Vacuum Circuit Breaker)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Ruang hampa udara pada CB jenis ini mempunyai kekuatan dielektrik (*dielektrik strength*) yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik.

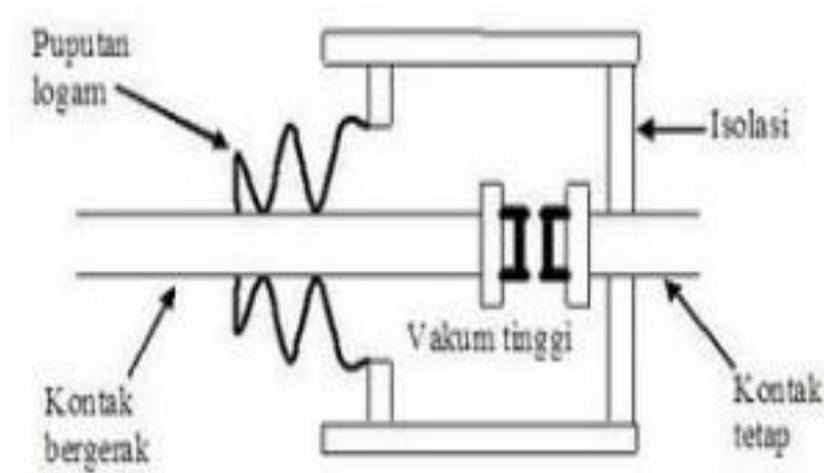
Pada vacuum circuit breaker kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam.

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, elektron-elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi proses ionisasi. Akibatnya, tidak ada



penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

Ruang kontak utama (*breaking chambers*) dibuat dari bahan antara lain porcelain, kaca atau plat baja yang kedap udara. Ruang kontak utamanya tidak dapat dipelihara dan umur kontak utama sekitar 20 tahun. Karena kemampuan ketegangan dielektrikum yang tinggi maka bentuk pisik PMT jenis ini relatif kecil.



Gambar-2.10. Proses Pemadaman Busur Api Media Vakum

Prinsip kerjanya berbeda dengan dasar prinsip lain karena 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 karena 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.



Gambar-2.11. Vacuum Circuit Breaker

4. PMT Media Gas SF₆ (SF₆ Circuit Breaker)

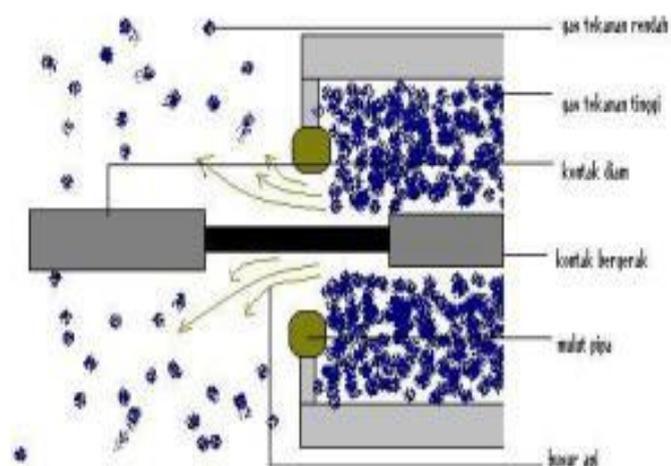
Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah gas SF₆ (Sulphur hexafluoride).

Sifa-sifat gas SF₆ murni ialah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada temperature diatas 150° C gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakandalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gasSF₆ 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.



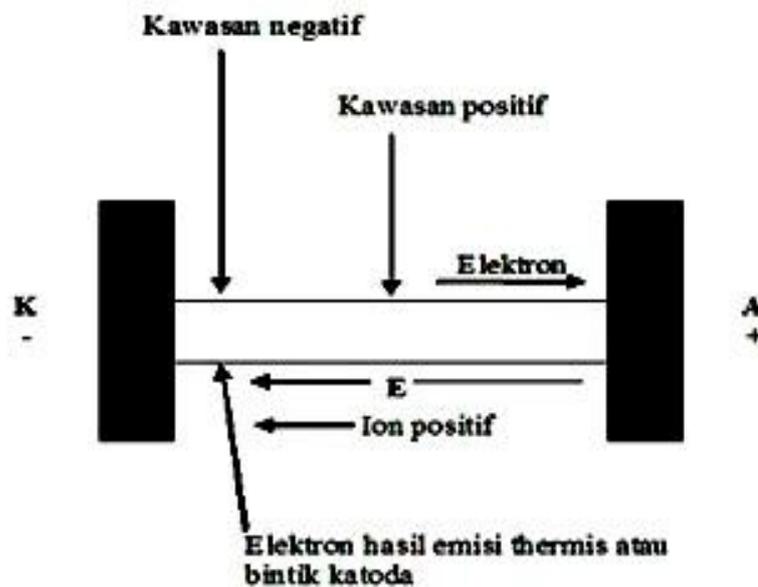
Gambar-2.12. SF6 Gas Circuit Breaker

Selama pengisian, gas SF₆ akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk pengisian ke dalam bagian/ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF₆ perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF₆ pada suhu lingkungan

Gambar 2.13 Proses pemadaman busur api pada SF₆

2.6 Proses Terjadinya Busur Api ^[6]

Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem tenaga listrik maka pada CB akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena pada saat kontak CB dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar-2.13.



Gambar-2.14. Pembentukan Busur Api

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak pemutusdaya sehingga ketika kontak membuka, pada permukaan kontak terjadi emisi termal. Medan elektrik di antara kontak menimbulkan emisi medan tinggi pada permukaan kontak yang beraksi sebagai katoda (K).

Kedua peristiwa emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A).

^[6]Bonggas L. Tobing “ Buku Peralatan Tegangan Tinggi ”



Elektron-elektron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan-benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi. Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda semakin bertambah.

Proses ionisasi juga menghasilkan ion positif yang bergerak menuju katoda, perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda.

Ion positif yang tiba di kontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan di katoda. Akibatnya, emisi termis semakin meningkat.

Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi termis ini dan emisi medan tinggi akan memperlama proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:.

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga busur api mengalami pendinginan dan partikel-partikel hasil ionisasi terdorong menjauh sela kontak
2. Menyemburkan minyak atau gas isolasi ke busur api untuk mendinginkan busur api sehingga peluang bagi proses rekombinasi semakin besar.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat media pemisah kontak dari gas elektronegatif, sehingga elektron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.



2.7 Mekanisme Kerja Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga mempunyai dua posisi kerja, membuka dan menutup. Selama operasi penutupan, kontak-kontak penutup menutup melawan gaya-gaya saling berlawanan. Selama operasi pembukaan, kontak-kontak tertutup terpisah sedini mungkin.

Mekanisme kerja pemutus tenaga harus melakukan gaya-gaya yang besar pada kecepatan yang tinggi. Waktu operasi antara saat penerimaan sinyal trip dan akhir pemisahan kontak dalam orde 0,03 detik (1,5 cycle) dalam pemutus tegangan tinggi. Pada pemutus lambat yang digunakan dalam sistem distribusi, waktu ini sekitar 3 siklus. Ketika menutup, penutupan kontak harus cepat dengan tekanan kontak yang tepat pada akhir perjalanan kontak. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, pengelasan kontak dapat terjadi. Mekanisme harus mampu memberikan tugas khusus pemutus tenaga, kerja pembukaan dan penutupan.

1. Pembukaan Jaringan^[7]

- a. PMT dioperasikan (dilepas) lebih dahulu, baru kemudian pemisah-pemisahnya
- b. Sebelum pemisah dikeluarkan/dioperasikan harus diperiksa apakah PMT sudah terbuka sempurna, apakah amperemeter menunjukkan nol.

Urutan pembukaan jaringan :

1. PMT dibuka
2. PMS busbar dibuka
3. PMS line dibuka
4. PMS tanah ditutup

Dalam operasi pembukaan, energi yang diperlukan untuk pembukaan dapat diperoleh dari salah satu metode tersebut :

1. Pegas yang terbuka
2. Minyak hidrolik tekanan tinggi yang tersimpan dalam akumulator.
3. Udara kompresif tekanan tinggi yang dalam penerima udara.

[7] "Himpunan Buku petunjuk operasi dan pemeliharaan peralatan penyaluran tenaga listrik"



2. Penutupan Jaringan

- a. PMT dioperasikan setelah pemisah-pemisahnya dimasukkan
- b. Setelah PMT dimasukkan/dihubungkan diperiksa apakah terjadi kebocoran isolasi pada PMT.

Urutan penutupan jaringan :

1. PMS tanah dibuka
2. PMS busabar ditutup
3. PMS line ditutup
4. PMT ditutup

Secara normal, penutupan kontak-kontak pemutus tenaga dalam kondisi normal tidak menimbulkan persoalan. Mekanisme kerja harus mampu mengatasi gesekan dan mempercepat kontak gerak. Tetapi ketika pemutus tenaga menutup pada kondisi hubung singkat gaya elektromagnetik akan terlibat. Kapasitas penutupan pemutus tenaga tergantung atas gaya dan kecepatan pada waktu operasi penutupan dilakukan.

2.8 Gangguan Sistem Distribusi

Untuk dapat menghitung besarnya arus gangguan yang terjadi pada saluran Distribusi perlu diketahui data mengenai trafo tenaga yang terdapat pada Gardu Induk.

Ada beberapa jenis gangguan yang terjadi pada saluran distribusi diantaranya, yaitu :

2.8.1 Gangguan hubung singkat 3 fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya semua ketiga penghantar fasa. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbang pohon kemudian menimpa kabel jaringan.



Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah :

1. Hubung singkat Tiga-Fasa^[8]

$$I_{1F} = I_F = \frac{E_{a1}}{Z_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

2.8.2 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Hubung singkat dua fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antar penghantar fasanya dengan satu penghantar fasa yang lainnya sehingga terjadi arus lebih (over current). Gangguan ini dapat diakibatkan oleh pohon-pohon yang cukup tinggi dan tertiuap oleh angin kencang. Jika terjadi gangguan hubung singkat dua fasa, arus hubung singkatnya biasanya lebih kecil dari pada arus hubung singkat fasa.

Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah :

2. Hubung singkat Dua-Fasa^[9]

$$I_{1F} = I_{2F} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_F = \sqrt{3} \cdot I_{2F} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

I_{hs} : Arus gangguan

E_{p.u.} : Tegangan Fasa

Z_T : Impedansi Total

^[8]DR. A. Arismunandar dan DR. S. Kuwahara

^[9]DR. A. Arismunandar dan DR. S. Kuwahara.



2.9 Impedansi

2.9.1 Impedansi dasar ^[10]

Dalam suatu sistem tenaga listrik terinterkoneksi yang memiliki berbagai tingkat tegangan dan macam-macam peralatan daya adalah lebih mudah untuk bekerja dan membuat perhitungan-perhitungan dengan mempergunakan besaran-besaran system per-unit (pu). Nilai pu dari suatu besaran didefinisikan sebagai:

$$\frac{\text{Nilai aktual suatu besaran}}{\text{Nilai acuan besaran yang sama}}$$

Dalam teknik tenaga listrik terdapat tiga besaran dasar, yaitu tegangan, arus, dan impedansi. Bilamana dipilih dua besaran sebagai acuan, maka besaran ketiga akan dengan sendirinya memiliki nilai acuan juga. Misalnya bilamana tegangan V dan arus I merupakan besaran dasar, maka impedansi dasar sudah jelas karena:

$$Z = V / I$$

Biasanya dari suatu mesin listrik (trafo) disebut tegangan nominal dalam besaran V dan kapasitas kVA sebagai besaran-besaran dasar. Misalkan V_d merupakan tegangan dasar dan kVA_d merupakan kapasitas dasar, maka dapat ditulis:

$$V_{pu} = \frac{V_{aktual}}{V_d}$$

$$Arus_{dasar} = \frac{kVA_d \times 1000}{V_d}$$

$$atau I_{pu} = \frac{Arus_{aktual}}{Arus_{dasar}} = \frac{Arus_{aktual}}{kVA_d \times 1000} \times V_d$$

$$Impedansi_{dasar} = \frac{Tegangan_{dasar}}{Arus_{dasar}}$$



$$Z_d = \frac{V_d^2}{kVA_{dx\ 1000}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{atau } Z_{pu} = \frac{\text{Impedansi aktual}}{\text{Impedansi dasar}}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z \cdot kVA_{dx\ 1000}}{V_d^2}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z \cdot MVA}{(kV_d)^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- Z_d : Impedansi dasar
 Z_{pu} : Impedansi per-unit
 V_d : Tegangan dasar
 kVA : Kapasitas dasar (daya trafo)

2.9.2 Impedansi Sumber ^[11]

Impedansi sumber diambil dari arus beban puncak yang mengalir dari sistem interkoneksi ke gardu induk. Dalam kasus ini diambil arus beban puncak adalah 5 kA. Besarnya nilai impedansi sumber dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{MVA_{SC}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- X_{sc} : Impedansi sumber
 kV : Tegangan pada sisi primer
 MVA_{SC} : Daya hubung singkat

^[10] Abdul Kadir, "Transmisi Tenaga Listrik"

^[11] Ir. Wahyudi Sarimun. N.MT. "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

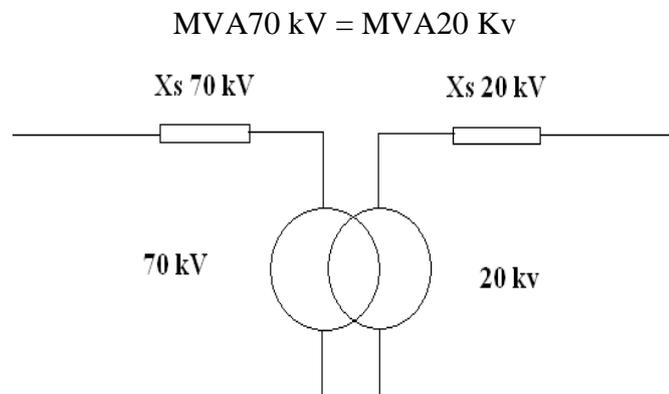


Dimana untuk daya hubung singkat menggunakan persamaan:

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (MVA)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Impedansi sumber ini merupakan nilai impedansi pada sisi primer. Untuk menghitung nilai impedansi sumber pada sisi sekunder maka harus dikonversi terlebih dahulu.

Daya trafo tenaga antara sisi primer dan sekunder sama, maka :



Gambar-2.14. Transformasi Impedansi pada Trafo Tenaga

Daya sisi 70 kV = Daya sisi 20 kV

$$\frac{kV_1^2}{Z_1} = \frac{kV_2^2}{Z_2}$$

Keterangan :

kV1 2 : Tegangan sisi primer

kV2 2 : Tegangan sisi sekunder

Z1 : Impedansi sisi primer

Z2 : Impedansi sisi sekunder



2.9.3 Impedansi Trafo Tenaga^[12]

Untuk suatu transformator impedansi dapat ditinjau dari sisi tegangan tinggi atau tegangan rendahnya. Apabila persen atau per-unit dari impedansi suatu transformator ditinjau dari sisi tegangan rendahnya, maka besarnya juga dipilih dari tegangan rendahnya.

$$Z(\%) = \frac{\text{Impedansi(ohm)} \times \text{Daya (MVA)}}{[\text{Tegangan(kV)}]^2} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Z(\text{ohm}) = \frac{\text{Impedansi}(\%) \times [\text{Tegangan(kV)}]^2}{\text{Daya(MVA)} \times 100} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.9.4 Impedansi Penyulang^[13]

Impedansi penyulang dapat diketahui melalui data teknis pada Gardu Induk. Untuk mengetahui besar impedansi penyulang pada suatu titik gangguan tertentu dapat disimulasikan pada gangguan 25%, 50%, 75% dan 100% dari panjang penyulang.

Besar nilai impedansi urutan positif dan urutan negatif penyulang untuk setiap titik gangguannya adalah sebagai berikut :

Impedansi urutan positif (Z1) = Impedansi Urutan negatif (Z2)

Misalkan, S = Panjang saluran

Untuk panjang 25% = $0,25 \times S \times (Z1) = (Z1 \text{ 25\%}) \text{ ohm}$

Dari perhitungan impedansi urutan positif dan urutan negatif diatas, maka dapat dicari pula untuk impedansi urutan positif ekuivalen (Z1 eki) dan impedansi urutan negatif ekuivalen (Z2 eki). Z1eki dan Z2eki dapat langsung dihitung sesuai dengan lokasi gangguan dengan menjumlahkan XS + XT + % ZL.

Hitungan Z1eki dan Z2eki

$$Z1 \text{ eki} = Z2 \text{ eki} = XS + XT + Z_{\text{penyulang}} \dots\dots\dots (2.9)$$



Keterangan:

XS = perhitungan impedansi sumber

XT = perhitungan impedansi trafo

Z penyulang = impedansi penyulang ($Z1 = Z2$)

[12] Ir. Wahyudi Sarimun. N.MT. "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

[13] Ir. Wahyudi Sarimun. N.MT. "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik"