



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron¹

Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin pembangkit listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator. Pergerakan relatif adalah terjadinya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator) karena pergerakan medan magnet terhadap kumparan jangkar atau sebaliknya.

Alternator ini disebut generator sinkron (sinkron=serempak) karena kecepatan perputaran medan magnet yang terjadi sama dengan kecepatan perputaran rotor generator.

Alternator atau generator sinkron ini menghasilkan energy listrik bolak balik (alternating current, AC) dan biasa diproduksi untuk menghasilkan listrik AC 1-fasa atau 3-fasa.

Kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak diantara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh tenaga air, angin dan lainnya, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau flux yang bersifat bolak-balik. Flux ini akan memotong-motong kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena dipengaruhi induksi dari flux tersebut. Gaya gerak listrik yang timbul pada kumparan stator bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

¹Kurniawan pramana. Generator sinkron.

<https://kurniawanpramana.wordpress.com/2011/09/25/generator-sinkron-1/>. Diakses pada 10 Mei 2017 pukul 21.00 WIB

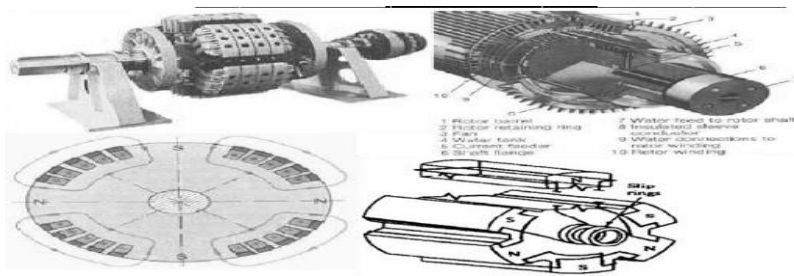


2.2 Konstruksi Generator Sinkron²

2.2.1 Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar yang mempunyai bagian terdiri dari poros, inti, kumparan, cincin geser, dan sikat-sikat. Antara rotor dan stator yang dipisahkan oleh celah udara. Rotor terdiri dari dua bagian umum yaitu :

1. Inti kutub
2. Kumparan medan



Gambar 2.1 konstruksi rotor

Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti stator yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan. Pada kumparan medan terdapat juga dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai arus pemacuan dan bagian yang diisolasi.

Untuk medan rotor yang digunakan tergantung pada kecepatan mesin, mesin dengan kecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder, sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti *hydroelectric* atau generator listrik diesel mempunyai rotor kutub menonjol.

Konstruksi rotor terdiri dari dua jenis yaitu :

Jenis kutub menonjol (*salient pole*) untuk generator kecepatan rendah dan menengah (kurang dari 1000 rpm). Kutub menonjol terdiri dari inti kutub dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub, pada sepatu kutub

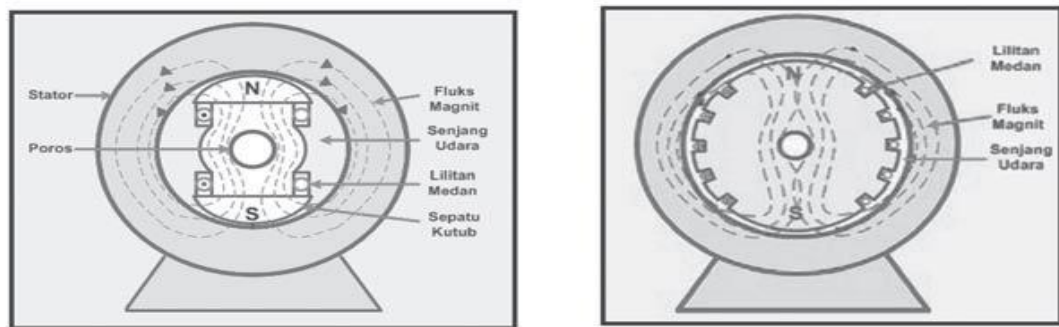
² widodo, konstruksi generator sinkron

https://www.scribd.com/document_downloads/direct/ft=149656 pada tanggal 04 juni 2017 pada pukul 14:23 WIB



terbuat dari besi lunak. Jumlah kutubnya relative sedikit (2, 4, 6). Konstruksi ini dirancang agar tahan terhadap gaya-gaya yang lebih besar akibat putaran yang tinggi.

Jenis kutub silinder untuk generator dengan kecepatan tinggi terdiri dari alur-alur sebagai tempat kumparan medan. Alur-alur tersebut terbagi atas pasangan-pasangan kutub.



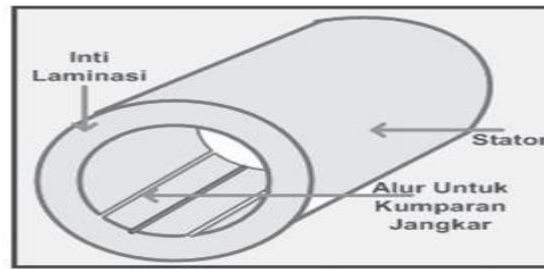
(b)

Gambar 2.2 bentuk rotor jenis silinder (a) dan silent (b)

2.2.2 Stator

Stator adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator, kutub utama beserta belitannya, kutub-kutub pembantu beserta belitannya, bantalan-bantalan poros.

Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti ferromagnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi.



Gambar 2.3 alur stator tempat kumputan jangkar.

Belitan jangkar (stator) yang umum digunakan oleh generator sinkron tiga fasa, ada dua tipe yaitu :

- Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*).
- Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*).

2.3. Karakteristik Generator Sinkron³

Jika sebuah kumputan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumputan tersebut. Medan magnet bisa dihasilkan oleh kumputan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada mesin tipe ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / external pole generator) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumputan rotor.

Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal (internal pole generator), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumputan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut 120° . kumputan 3-fasa dan

³ Zuhal, 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Hal. 231-235.



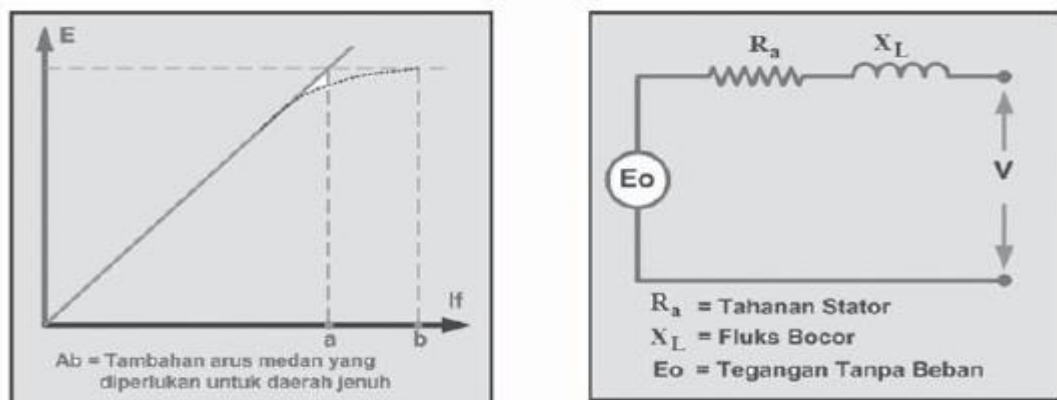
tegangan yang dibangkitkan. Pada rotor kutub sepatu, fluks terdistribusi sinusoidal didapatkan dengan mendesain bentuk sepatu kutub. Sedangkan pada rotor silinder, kumparan rotor disusun secara khusus untuk mendapatkan fluks terdistribusi secara sinusoidal.

Untuk tipe generator dengan kutub internal (internal pole generator), suplai DC yang dihubungkan ke kumparan rotor melalui slip ring dan sikat untuk menghasilkan medan magnet merupakan eksitasi daya rendah. Jika rotor menggunakan magnet permanen, maka tidak slip ring dan sikat karbon tidak begitu diperlukan.

2.3.1 Karakteristik Tak Berbeban

Apabila sebuah mesin sinkron difungsikan sebagai generator dengan diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka pada kumparan jangkar stator akan diinduksikan tegangan tanpa beban (E_o).

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh). Dapat dilihat dari gambar berikut



Gambar 2.4 Kurva pemagnetan dan rangkaian tak berbeban



2.3.2 Generator Berbeban

Bila Generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada :

- a. Resistansi jangkar R_a

Resistansi jangkar/fasa R_a menyebabkan terjadinya tegangan jatuh (Kerugian tegangan) / fasa yang sephasa dengan arus jangkar

- b. Reaktansi bocor jangkar X_L

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan

- c. Reaksi Jangkar X_a

Adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator dibebani akan menimbulkan fluks jangkar yang berintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan medan rotor sehingga dihasilkanlah suatu fluks resultan

2.4 Prinsip Kerja Generator⁴

Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu. Kemudian penggerak mula (Primer Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.

Perputaran rotor tersebut akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan menginduksi

• ⁴ Hage. [Prinsip Kerja Generator sinkron](http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/04/prinsip-kerja-generator-sinkron.html), <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/04/prinsip-kerja-generator-sinkron.html>, diakses pada 26 April 2017 pukul 23.00 WIB



tegangan tiga fasa pada kumparan jangkar sehingga akan menimbulkan medan putar pada stator. Perputaran tersebut menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

GGL induksi (E_a) pada alternator akan terinduksi pada kumparan jangkar alternator bila rotor diputar disekitar stator. Besarnya kuat medan pada rotor dapat diatur dengan cara mengatur arus medan (I_f) yang diberikan pada motor.

2.5 AVR (Automatic Voltage Regulator)

Generator arus bolak-balik dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan arus searah. Sistem penguatan digolongkan menurut cara penyediaan tenaganya. Dalam sistem penguatan mesin searah, dipergunakan sebuah generator searah untuk membangkitkan sumber tenaganya. Untuk ini dipakai sebuah penguat utama (main exciter) dan pandu(pilot exciter).

Main exciter adalah generator kecil pembangkit arus searah yang digunakan untuk mensupply arus searah kekumparan rotor generator sinkron. Pilot exciter adalah generator kecil pembangkit arus searah yang disalurkan ke main exciter untuk sistem penguatnya. Pilot exciter mempunyai penguat medan sendiri seperti magnet permanen atau baterai.

Generator arus searah dihubungkan langsung pada poros generator utama atau diputar oleh mesin lain yang terpisah, bergantung pada besarnya putaran generator utama, kemampuan penguatan dan bekerjanya sistem kontrol.

Pada sistem eksitasi dengan arus bolak-balik, arusnya disearahkan untuk penguatan. Aada tiga jenis penguatan dengan arus bolak-balik, antara lain :

Generator arus bolak-balik dengan eksitasi sendiri

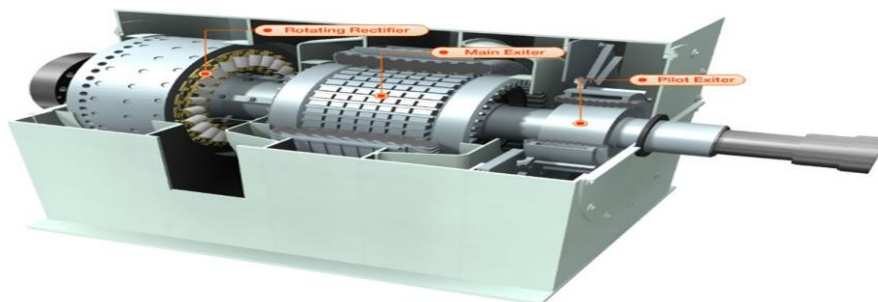
Generator arus bolak-balik tanpa sikat

Generator bolak-balik majemuk (compound)

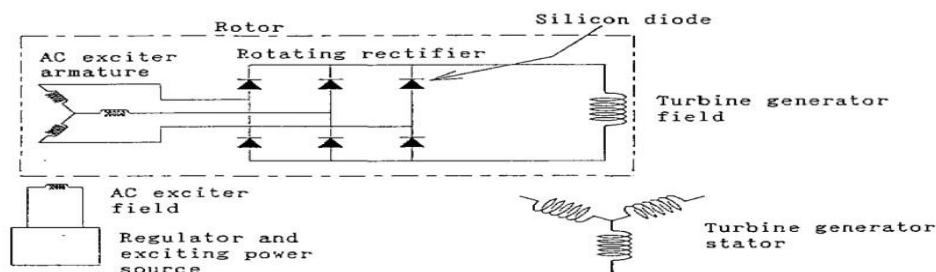


2.6 Sistem Eksitasi⁵

Untuk membangkitkan medan magnet pada rotor, maka diperlukan arus searah (DC) yang umumnya disebut penguat. Perangkat yang berfungsi untuk mensuplai arus penguat ini disebut eksiter (Exciter) / sistem eksitasi. Saat generator diputar, **Pilot Exciter** yang memiliki permanent magnet pada rotor (field) coilnya akan membangkitkan tegangan AC. Power ini kemudian akan menjadi sumber power untuk AVR (**Automatic Voltage Regulator**). Oleh AVR tegangan AC tersebut disearahkan menjadi tegangan DC dan diatur besar arusnya untuk kemudian disalurkan ke AC Exciter field (stator) coil. Arus yang mengalir di field coil membangkitkan AC 3-phase di armature coil AC Exciter. Tegangan AC itu kemudian disearahkan oleh dioda silikon yang terdapat di rangkaian rotating rectifier menjadi tegangan DC. Arus yang dihasilkan oleh rotating rectifier kemudian akan disalurkan ke field coil dari generator.



Gambar 2.5 Exciter



Gambar 2.6 Diagram sistem eksitasi

⁵ <http://rakhman.net/prinsip-kerja-sistem-eksitasi-generator/> diakses pada 5 Juni 2017 pada pukul 21.38 WIB



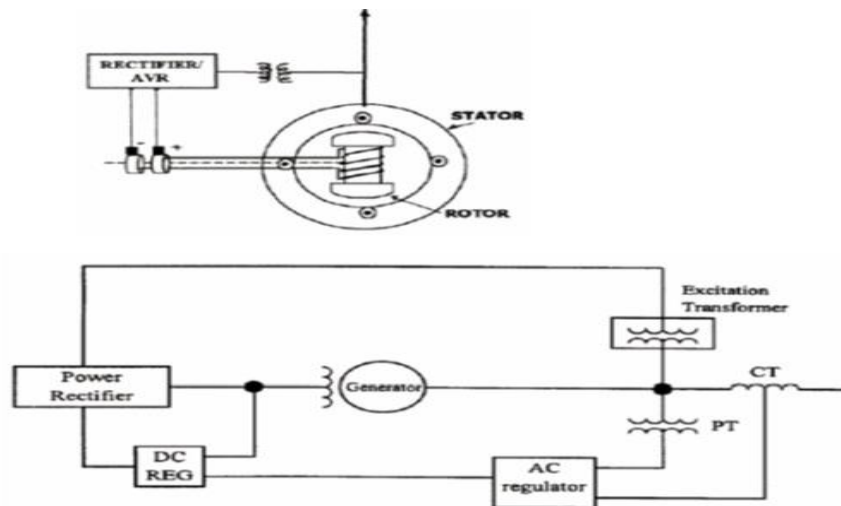
Output AC Exciter yang berupa tegangan AC kemudian disearahkan oleh **Rotating Rectifier** yang kemudian diumpankan ke field coil dari generator. Konstruksi ini tidak membutuhkan injeksi arus melalui komponen sliding yang menggunakan komutator, carbon-brush dan slip ring.

2.6.1 Jenis-jenis sistem eksitasi

Secara umum sistem eksitasi dibagi menjadi sistem eksitasi statik dan sistem eksitasi dinamik.

a. Sistem eksitasi statik

Sistem eksitasi statik adalah sistem eksitasi tersebut disuplai dari eksiter yang bukan mesin bergerak, yaitu dari sistem penyearah yang sumbernya disuplai dari output generator itu sendiri atau sumber lain yang melalui transformer.



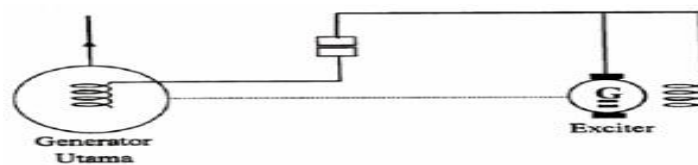
Gambar 2.7 Sistem eksitasi statik

b. Sistem eksitasi dinamik

Sistem Eksitasi dinamik adalah sistem eksitasi tersebut disuplai dari eksiter yang merupakan mesin bergerak. Sebagai eksiternya merupakan generator DC atau dapat juga menggunakan generator AC yang kemudian disearahkan menggunakan rectifier. Urutan sistem eksitasi dinamik yaitu PMG (Permanen magnet generator), menghasilkan arus eksitasi AC yang disearahkan



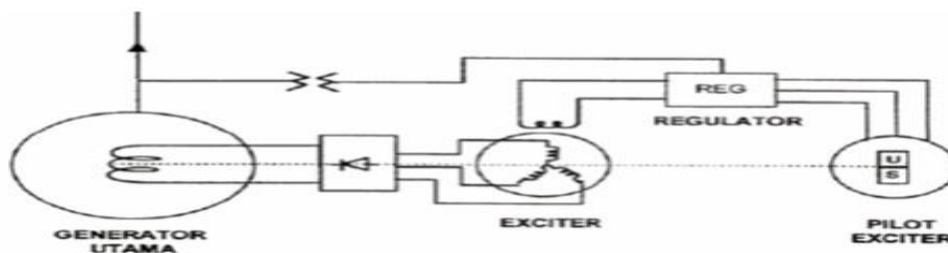
menggunakan rectifier pada stator AC eksiter kemudian arus keluaran pada generator AC eksiter di searahkan menggunakan rotating rectifier. Hasilnya digunakan untuk memberikan arus eksitasi pada generator utama. Jika tegangan sudah mencapai nilai yang diinginkan untuk menjaga tegangan agar berada pada nilai nominalnya menggunakan AVR (Automatic Voltage Regulator) yang digunakan untuk memerintahkan PMG menaikkan atau menurunkan arus eksitasinya.



Gambar 2.8 Sistem eksitasi dinamik

c. Brushless excitation

Brushless excitation adalah sistem eksitasi tanpa sikat, yang maksudnya adalah pada sistem tersebut untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator utama, maupun untuk eksitasi eksiter tanpa melalui media sikat arang. Adapun diagram prinsip kerjanya adalah sebagai berikut



Gambar 2.9 Brushless excitation

Pada gambar diatas dapat kita lihat bahwa untuk eksitasi generator disuplai dari generator AC eksiter dengan melalui penyearah (rectifier wheel) yang terpasang pada poros, sehingga arus eksitasi langsung terhubung dengan rotor generator. Kemudian untuk eksitasi eksiter disuplai dari Pilot Exciter dengan kemagnitan tetap atau biasa disebut PMG (Permanent Magnet Generator).



Output dari pilot eksiter tersebut adalah arus bolak balik 3 phasa, kemudian dengan melalui penyearah pada regulator arus eksitasi eksiter diatur besar kecilnya, sehingga dengan mengatur sistem eksitasi eksiter, maka tegangan output generator utama akan mengalami perubahan secara langsung.

2.7 Paralel Generator Sinkron⁶

Bila suatu generator bekerja dan mendapatkan pembebanan yang melebihi dari kapasitasnya, maka dapat mengakibatkan generator tersebut tidak dapat bekerja atau bahkan akan mengalami kerusakan. Sehingga dalam hal ini dapat diatasi dengan menjalankan generator lain yang kemudian dioperasikan secara paralel dengan generator utama yang telah bekerja sebelumnya pada satu jaringan listrik yang sama. Keuntungan dari dilakukannya paralel alternator ialah :

1. Mendapatkan daya yang lebih besar.
2. Untuk memudahkan penentuan kapasitas generator.
3. Untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.
4. Untuk melayani beban yang berkembang.

2.7.1. Syarat-syarat proses Sinkronisasi

Sinkronisasi atau menghubungkan paralel atau sejajar perlu dipenuhi tiga syarat untuk tegangan sistem-sistem yang akan diparalelkan yaitu :

1. Harus adanya amplitud tegangan yang sama.

Dengan adanya tegangan kerja yang sama diharapkan pada saat diparalel dengan beban kosong power faktornya 1. Dengan power factor 1 berarti tegangan antara 2 generator persisi sama jika 2 sumber tegangan itu berasal dari dua sumber yang sifatnya statis misal dari battery atau transformator maka tidak akan ada arus antara keduanya. Namun karena dua sumber merupakan sumber tegangan yang dinamis (generator) Maka power faktornya akan terjadi deviasi naik dan turun secara periodic bergantian dan berlawanan.

⁶ http://eprints.undip.ac.id/2327/1/Paralel_Generator.pdf diakses pada tanggal 14 Mei 2017 pada pukul 15.00 WIB



Hal ini terjadi karena adanya sedikit perbedaan sudut phase yang sesekali bergeser karena factor gerak dinamis dari penggerak. Itu bisa dibuktikan dengan membaca secara bersamaan Rpm dari misal dua Generator dalam keadaan sinkron Generator 1 mempunyai kecepatan putar 1500 dan generator 2. Mempunyai kecepatan putar 1501 maka terdapat selisih 1 putara /menit Dengan perhitungan $1/1500 \times 360$ derajat maka terdapat beda fase 0,24 derajat dan jika dihitung selisih tegangan sebesar $\cos \phi$ 0,24 derajat x tegangan nominal (400 V) tegangan nominal (400 V) dan selisihnya sekitar V dan selisih tegangan yang kecil cukup mengakibatkan timbulnya arus sirkulasi antara 2 buah generator tersebut dan sifatnya tarik menarik. Itu tidak membahayakan dan pada saat dibebani bersama sama maka power faktornya akan relative sama sesuai dengan power faktor beban.

Memang sebaiknya dan idealnya masing masing generator menunjukkan power factor yang sama. Namun jika terjadi power factor yang berbeda dengan selisih tidak terlalu banyak tidak terjadi akibat apa-apa. Akibatnya salah satu generator yang mempunyai nilai power.

Faktor rendah akan mempunyai nilai arus yang sedikit lebih tinggi. Yang penting diperhatikan adalah tidak melebihi arus nominal dan daya nominal dari generator. Pada generator yang akan diparalel biasanya didalam alternatornya ditambahkan peralatan yang dinamakan Droop kit . Droop kit ini berupa current transformer yang dipasang. disebagian lilitan dan outputnya disambungkan ke AVR. Droop kit ini berfungsi untuk mengatur power factor berdasarkan besarnya arus beban, Sehingga pembagian beban KVAR diharapkan sama pada KW yang sama.

2. Frekuensi harus sama (mempunyai frekuensi yang sama).

Didalam dunia industri dikenal 2 buah system frekuensi yaitu 50 hz dan 60 hz. Dalam operasionalnya sebuah generator bisa saja mempunyai frekuensi yang fluktuatif (berubah ubah) karena factor factor tertentu. Pada jaringan distribusi dipasang alat pembatas frekuensi yang membatasi frekuensi pada minimal 48,5 hz dan maksimal 51,5 Hz. Namun pada Generator pabrik over frekuensi dibatasi



sampai 55 Hz sebagai overspeed. Pada saat hendak paralel, dua buah generator tentu tidak mempunyai frekuensi yang sama persis. Jika mempunyai frekuensi yang sama persis maka generator tidak akan bisa paralel karena sudut phasanya belum Sesuai, salah satu harus dikurang sedikit atau dilebihi sedikit untuk mendapatkan sudut phase yang tepat. Setelah dapat disinkron dan berhasil sinkron baru kedua generator mempunyai frekuensi yang sama-sama persis.

3. Sefasa.

Yang dimaksud urutan phase adalah arah putaran dari ketiga phase. Arah urutan ini dalam dunia industri dikenal dengan nama CW (clock wise) yang artinya searah jarum jam dan CCW (counter clock wise) yang artinya berlawanan dengan jarum jam. Hal ini dapat diukur dengan alat phase sequence type jarum. Dimana jika pada saat mengukur jarum bergerak berputar kekanan dinamakan CW dan jika berputar kekiri dinamakan CCW. Disamping itu dikenal juga urutan phase ABC dan CBA. ABC identik dengan CW sedangkan CBA identik dengan CCW.

4. Mempunyai sudut phase yang sama.

Mempunyai sudut phase yang sama bisa diartikan, kedua phase dari 2 Generator mempunyai sudut phase yang berhimpit sama atau 0 derajat. Dalam kenyataannya tidak memungkinkan mempunyai sudut yang berhimpit karena genset yang berputar meskipun dilihat dari parameternya mempunyai frekuensi yang sama namun jika dilihat menggunakan synchronoscope pasti bergerak labil. kekiri dan kekanan, dengan kecepatan sudut radian yang ada sangat sulit untuk mendapatkan sudut berhimpit dalam jangka waktu 0,5 detik. Breaker butuh waktu tidak kurang dari 0,3 detik untuk close pada saat ada perintah close pada proses sinkron masih diperkenankan perbedaan sudut maksimal 10 derajat.

Dengan perbedaan sudut maksimal 10 derajat selisih tegangan yang terjadi berkisar 4 Volt. Peralatan modul untuk mengakomodasi kebutuhan synchrone Generator, yaitu Load sharing, Synchronizing, Dependent start stop, dan lain lain.

Dengan berkembangnya teknologi maka proses sinkronisasi dapat dilakukan secara otomatis pada synchronizing panel.

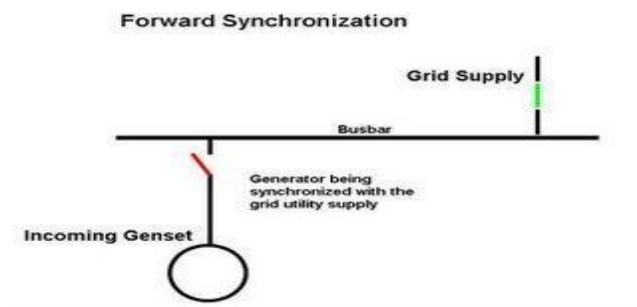


2.7.2 Jenis Sinkronisasi

Seperti telah dijelaskan diawal, bahwa sinkronisasi adalah proses untuk menyamakan tegangan, frekuensi, sudut *phase* dan *sequence phase* antara 2 sumber daya AC. Maka berdasarkan arah atau susunan peralatan pada sistem tenaga listrik, sinkronisasi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

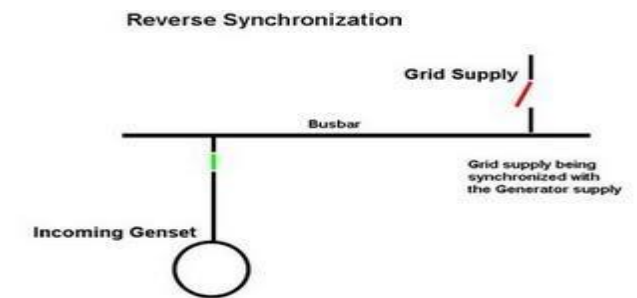
1. *Forward Synchronization* (sinkronisasi maju)

yaitu proses sinkronisasi generator kedalam sistem atau busbar.



Gambar 2.10 Sinkronisasi Maju

2. *Reverse Synchronization* atau *backward synchronization* (sinkronisasi terbalik)
Biasanya terjadi pada sistem tenaga listrik disuatu pabrik, dimana suatu jaringan suplai akan digabungkan kedalam suatu jaringan sistem atau busbar yang ada. Pada kondisi ini tidak dimungkinkan untuk mengatur parameter sinkron pada sisi incoming (jaringan yang akan disinkronkan), yang terpenting CB (PMT) dari beban-beban pada jaringan suplai (grid supply) dalam keadaan terbuka.



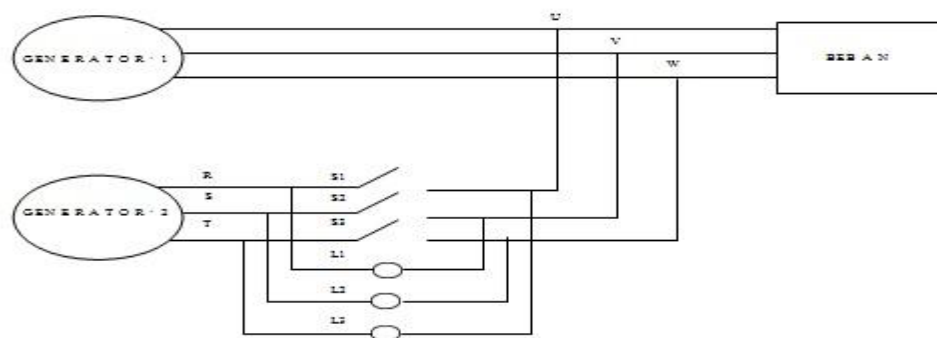
Gambar 2.11 Sinkronisasi Terbalik



2.8 Metode parallel dua generator sinkron ⁷

Dalam memparalelkan generator, metode yang sering digunakan untuk melihat apakah telah terjadi sinkronisasi ialah dengan metode lampu sinkronisasi, dimana fungsi lampu ini sebagai indikator bahwa kedua generator dapat diparalelkan dengan sistem *infinite bus*. Ada beberapa metode lampu sinkronisasi yang dapat digunakan untuk mengetahui keadaan telah sinkron pada pengoperasian paralel antar generator sinkron yaitu

2.8.1 Metode Lampu Sinkronisasi Hubungan Terang



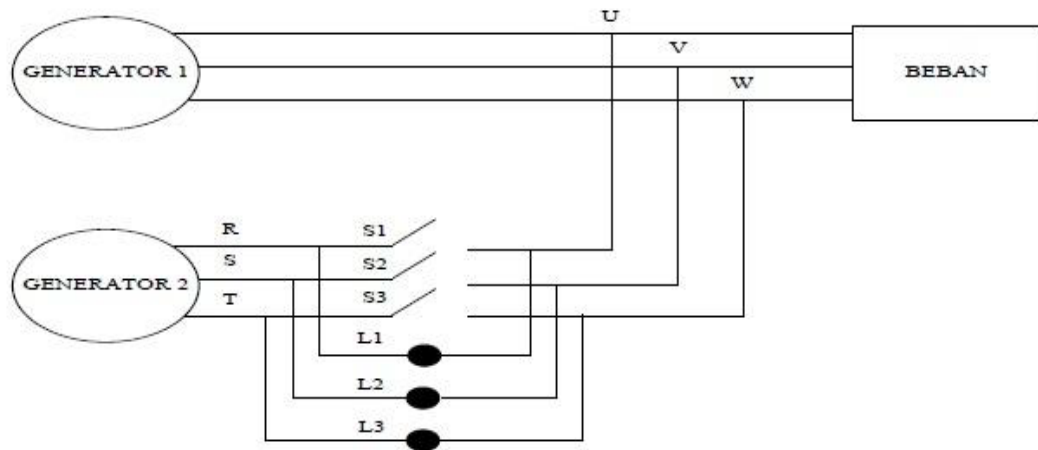
Gambar 2.12 Metode lampu sinkronisasi hubungan terang.

Dalam metode ini, prinsipnya ialah menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu R dengan V, S dengan W, T dengan U seperti yang terlihat pada gambar diatas. Jika antara fasa terdapat beda tegangan maka ketiga lampu akan menyala sama terang dan generator siap untuk diparalel.

⁷ http://eprints.undip.ac.id/2327/1/Paralel_Generator.pdf diakses pada tanggal 14 Mei 2017 pada pukul 15.00 WIB



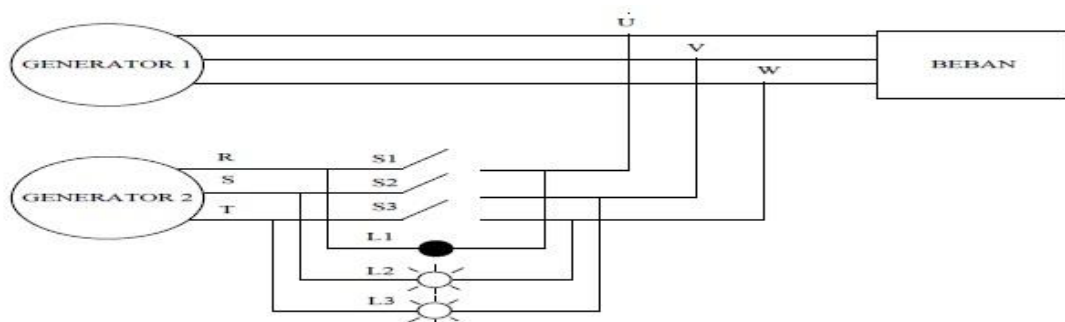
2.8.2 Metode Lampu Sinkronisasi Hubungan Gelap



Gambar 2.13 Metode lampu sinkronisasi hubungan gelap.

Dalam metode ini, prinsipnya ialah menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu R dengan U, S dengan V, T dengan W seperti yang terlihat pada gambar diatas. Jika rangkaian paralel benar (urutan fasa nya sama) maka lampu L1 ,L2 dan L3 akan gelap secara bersamaan. Pada saat lampu nyala terang maka beda phasanya besar, dan jika lampunya redup maka beda phasanya kecil.

2.8.3 Metode Lampu Sinkronisasi Hubungan Gelap Terang



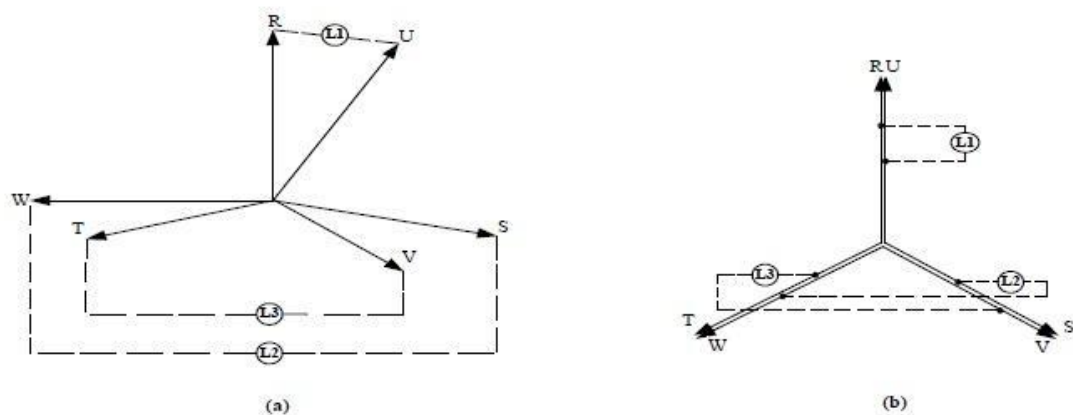
Gambar 2.14 Metode lampu sinkronisasi hubungan gelap terang.

Dalam metode ini, Prinsipnya ialah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa R dengan U, fasa S dengan W dan fasa T dengan V seperti satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang. Dengan kata lain, jika rangkaian paralel benar (urutan fasa nya sama), maka lampu L1, L2 dan



L3 akan terang gelap dengan frekuensi $FG1-FG2$. Apabila ketiga lampu sudah tidak berkedip lagi (L2 dan L3 terang) dan lampu L1 padam berarti $FG1=FG2$ dan $E1=E2$.

Dalam metode penyinkronan pada kedua generator ini menggunakan lampu sinkronisasi, bila keadaan tegangan dan putaran tiap generator dengan urutan fasa jaringan busbar dengan generator belum sama, maka kondisi lampu L1, L2 dan L3 akan berputar cepat yang menandakan fasa tiap generator belum sama seperti pada gambar 2.16.a. Namun jika frekuensi dan tegangan masing-masing generator telah sama maka kondisi lampu akan semakin lambat berputar dan kondisi L1 padam dan kondisi L2 dan L3 terang karena semua urutan fasa jaringan dengan urutan fasa generator telah saling berhimpit sehingga dikatakan telah sinkron seperti pada gambar 2.16.b. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



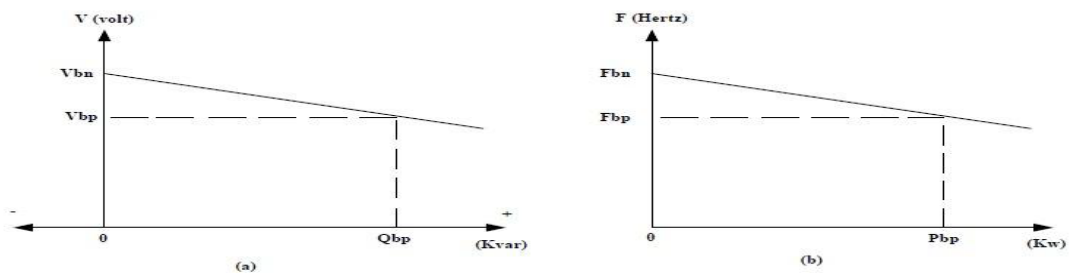
Gambar 2.15 Kondisi lampu sinkronisasi pada urutan fasa.



2.9 Sistem Kerja Paralel Generator Sinkron.

Apabila generator dihubungkan dengan sistem jaringan yang kapasitasnya besar (*infinite bus*), maka dengan mengatur putaran (n) dan arus eksitasi (I_f) maka tidak akan mempengaruhi frekuensi sistem jaringan tersebut

Pada kondisi tersebut pengaturan putaran adalah hanya mengatur pembebanan daya aktif sedangkan pengaturan arus eksitasi hanya mengatur aliran daya reaktif atau faktor daya generator tersebut. Dalam hal ini dapat lebih diperjelas melalui diagram rumah (*house diagram*) berikut :



Gambar 2.16 Karakteristik alternator pada saat bekerja paralel.

Untuk menyuplai beban yang ada pada kedua generator yang bekerja paralel, maka jumlah daya aktif dan reaktif yang disuplai generator tersebut harus sama dengan daya aktif dan reaktif yang ada pada beban.

Adapun rumus daya aktif dan reaktif yang harus disuplai oleh kedua generator adalah:

$$P_{\text{Load}} = P_{G1} + P_{G2} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Q_{\text{Load}} = Q_{G1} + Q_{G2} \dots\dots\dots (2.2)$$

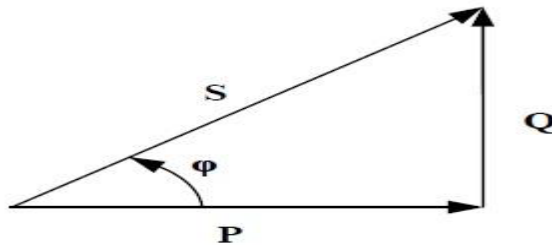
2.10 Faktor Daya⁸

Faktor daya yang sering disebut sebagai $\cos \phi$ didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Atau sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus

⁸ http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/Rangkaian_Listrik.pdf . diakses pada tanggal 12 Mei 2017



total yang masuk kedalam rangkaian. Adanya nilai faktor daya pada sistem tegangan AC disebabkan adanya beban yang mengalir dan nilainya bergantung oleh karakteristik beban tersebut.



Gambar 2.17 Segitiga daya.

Faktor daya mempunyai pengertian sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang dimiliki dalam menyalurkan daya yang bisa dimanfaatkan. Faktor daya rendah juga merugikan karena mengakibatkan arus beban akan menjadi lebih tinggi.

Daya reaktif yang tinggi mengakibatkan meningkatnya sudut segitiga daya sehingga menghasilkan faktor daya rendah, begitu juga sebaliknya.

Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energy listrik yang digunakan untuk melakukan usaha. Untuk penggunaan sistem arus AC tiga fasa, dikenal 3 daya yaitu:

2.10.1 Daya semu (*apparent power*)

Daya semu dikatakan daya total dari kapasitas daya maksimal generator atau dapat diartikan sebagai penjumlahan daya aktif dan daya reaktif.

2.10.2 Daya aktif (*Active Power*)

Daya aktif disebut juga daya nyata memiliki satuan Watt yang mempunyai pengertian merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energy sebenarnya. Daya ini sering digunakan secara umum oleh konsumen dan sebagai satuan yang digunakan untuk daya listrik dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Dimana dalam perhitungan phasa :



2.10.3 Daya Reaktif (*reactive power*)

Daya reaktif dengan satuan VAR, memiliki pengertian daya yang di suplay oleh komponen reaktif, atau disebut juga jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet.

2.11 Circuit Breaker

Circuit Breaker atau Sakelar 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. Adapun macam dari Circuit Breaker yaitu:

1. *MCB (Miniatur Circuit Breaker)*
2. *MCCB (Mold Case Circuit Breaker)*
3. *ACB (Air Circuit Breaker)*
4. *OCB (Oil Circuit Breaker)*
5. *VCB (Vacuum Circuit Breaker)*
6. *SF6CB (Sulfur Circuit Breaker)*

1. MCB (Miniatur Circuit Breaker)

MCB adalah suatu rangkaian pengaman yang dilengkapi dengan komponen thermis (bimetal) untuk pengaman beban lebih dan juga dilengkapi relay elektromagnetik untuk pengaman hubung singkat.

MCB banyak digunakan untuk pengaman sirkit satu fasa dan tiga fasa. Keuntungan menggunakan MCB, yaitu :

1. Dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya.
2. Dapat digunakan kembali setelah rangkaian diperbaiki akibat hubung singkat atau beban lebih.
3. Mempunyai respon yang baik apabila terjadi hubung singkat atau beban lebih.



Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu secara thermis dan elektromagnetis, pengaman termis berfungsi untuk mengamankan arus beban lebih sedangkan pengaman elektromagnetis berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat. Pengaman thermis pada MCB memiliki prinsip yang sama dengan thermal overload yaitu menggunakan dua buah logam yang digabungkan (bimetal), pengamanan secara thermis memiliki kelambatan, ini bergantung pada besarnya arus yang harus diamankan, sedangkan pengaman elektromagnetik menggunakan sebuah kumparan yang dapat menarik sebuah angker dari besi lunak.

MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu fasa, sedangkan untuk pengaman tiga fasa biasanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus.

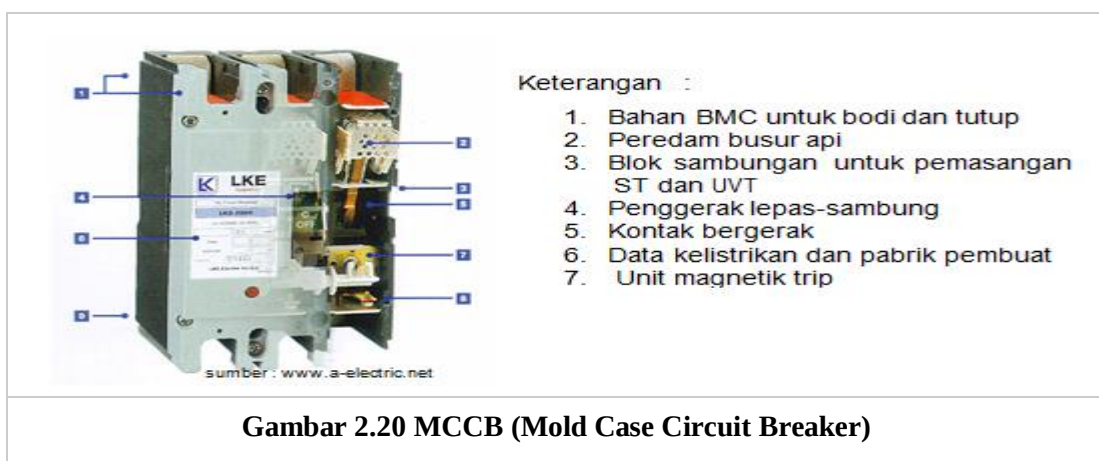
Berdasarkan penggunaan dan daerah kerjanya, MCB dapat digolongkan menjadi 5 jenis ciri yaitu :

- Tipe Z (rating dan breaking capacity kecil) Digunakan untuk pengaman rangkaian semikonduktor dan trafo-trafo yang sensitif terhadap tegangan.
- Tipe K (rating dan breaking capacity kecil) Digunakan untuk mengamankan alat-alat rumah tangga.
- Tipe G (rating besar) untuk pengaman motor.
- Tipe L (rating besar) untuk pengaman kabel atau jaringan.
- Tipe H untuk pengaman instalasi penerangan bangunan



2. MCCB (Mold Case Circuit Breaker)

MCCB merupakan salah satu alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat untuk penghubung. Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu pengaman ini, mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.



3. ACB (Air Circuit Breaker)

ACB (Air Circuit Breaker) merupakan jenis circuit breaker dengan sarana



pemadam busur api berupa udara. ACB dapat digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah. Udara pada tekanan ruang atmosfer digunakan sebagai peredam busur api yang timbul akibat proses switching maupun gangguan.

4. OCB (Oil Circuit Breaker)

Oil Circuit Breaker adalah jenis CB yang menggunakan minyak sebagai sarana pemadam busur api yang timbul saat terjadi gangguan. Bila terjadi busur api dalam minyak, maka minyak yang dekat busur api akan berubah menjadi uap minyak dan busur api akan dikelilingi oleh gelembung-gelembung uap minyak dan gas. Gas yang terbentuk tersebut mempunyai sifat thermal conductivity yang baik dengan tegangan ionisasi tinggi sehingga baik sekali digunakan sebagai bahan media pemadam loncatan bunga api.



Gambar 2.21 OCB (Oil Circuit Breaker)

5. VCB (Vacuum Circuit Breaker)

Vacuum circuit breaker memiliki ruang hampa udara untuk memadamkan busur api, pada saat circuit breaker terbuka (open), sehingga dapat mengisolir hubungan setelah bunga api terjadi, akibat gangguan atau sengaja dilepas. Salah satu tipe dari circuit breaker adalah recloser. Recloser hampa udara dibuat untuk memutuskan dan menyambung kembali arus bolak-balik pada rangkaian secara otomatis. Pada saat melakukan pengesetan besaran waktu sebelumnya atau pada saat recloser dalam keadaan terputus yang kesekian kalinya, maka recloser akan terkunci (lock out), sehingga recloser harus dikembalikan pada posisi semula secara manual.



Sumber : www.osha.gov

(a) tampak dalam



(b) tampak luar

Gambar 2.22 VCB (Vacuum Circuit Breaker)**6. SF6CB (Sulfur Circuit Breaker)**

SF6 CB adalah pemutus rangkaian yang menggunakan gas SF6 sebagai sarana pemadam busur api. Gas SF6 merupakan gas berat yang mempunyai sifat dielektrik dan sifat memadamkan busur api yang baik sekali. Prinsip pemadaman busur apinya adalah Gas SF6 ditiupkan sepanjang busur api, gas ini akan mengambil panas dari busur api tersebut dan akhirnya padam. Rating tegangan CB adalah antara 3.6 KV – 760 KV.

**Gambar 2.23 SF6CB (Sulfur CB)**