

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator). PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (Heat Recovery Steam Generator), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (baling-baling) Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (gas alam). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.

Prinsip kerja PLTG adalah sebagai berikut, mula-mula udara dimasukkan dalam kompresor dengan melalui air filter / penyaring udara agar partikel debu tidak ikut masuk ke dalam kompresor tersebut. Pada kompresor tekanan udara dinaikkan lalu dialirkan ke ruang bakar untuk dibakar bersama bahan bakar. Disini, penggunaan bahan bakar menentukan apakah bisa langsung dibakar dengan udara atau tidak. turbin uap. Jika menggunakan BBG, gas bisa langsung dicampur dengan udara untuk dibakar. Tapi jika menggunakan BBM harus dilakukan proses

pengabutan dahulu pada burner baru dicampur udara dandibakar. Pembakaran bahan bakar dan udara ini akan menghasilkan gas bersuhu dan bertekanan tinggi yang berenergi (enthalpy). Gas ini lalu disemprotkan ke turbin, hingga enthalpy gas diubah oleh turbin menjadi energi gerak yang memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Setelah melalui turbin sisas gas panas tersebut dibuang melalui cerobong/stack. Karena gas yang disemprotkan ke turbin bersuhu tinggi, maka pada saat yang sama dilakukan pendinginan turbin dengan udara generator bersuhu tinggi ini, maka bahan bakar yang digunakan tidak boleh mengandung logam Potasium, Vanadium.

2.1.1 Bagian-bagian PLTGU

Secara garis besar bagian-bagian yang terdapat pada PLTGU adalah sebagai berikut :

1. Cranking Motor

Cranking Motor adalah motor yang digunakan sebagai penggerak awal saat turbin belum menghasilkan tenaga penggerak generator ataupun compressor. Motor Cranking mendapatkan suplai listrik yang berasal dari jaringan tegangan tinggi 150 KV / 500 KV.

2. Air Filter

Air Filter merupakan filter yang berfungsi untuk menyaring udara bebas agar udara yang mengalir menuju ke compressor merupakan udara yang bersih.

3. Compressor

Compressor sebagai penghisap udara luar, dengan terlebih dahulu melalui air filter. Compressor menghisap udara atmosfer dan menaikkan tekanannya menjadi beberapa kali lipat (sampai 8 kali) tekanan semula. Udara luar ini akan diubah menjadi udara atomizing untuk sebagian kecil pembakaran dan sebagian besar sebagai pendingin turbin.



4. Combustion Chamber

Combustion chamber (ruang bakar) adalah ruang yang dipakai sebagai tempat pembakaran bahan bakar (solar) dan udara atomizing. Gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran di combustion chamber digunakan sebagai penggerak turbin gas.

5. Gas Turbine

Gas Turbine adalah turbin yang berputar dengan menggunakan energi Gas panas yang dihasilkan dari combustion chamber. Hasil putaran dari turbin inilah yang akan diubah oleh generator untuk menghasilkan listrik.

6. Selector Valve

Selector Valve merupakan valve yang berfungsi untuk mengatur gas buangan dari turbin gas, apakah akan dibuang langsung ke udara ataukah akan dialirkan menuju ke HRSG.

7. GTG (Gas Turbine Generator)

GTG (Gas Turbine Generator) berfungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang dihasilkan dari turbin gas. Pada PLTGU, satu buah generator ini menghasilkan daya 100 MW. PT. Indonesia Power Unit Bisnis pembangkitan Semarang memiliki 3 Gas Turbine generator dengan kapasitas masing-masing adalah 100 MW.

8. Steam Turbine

Steam Turbine (Turbin Uap) adalah turbin yang berputar dengan menggunakan energi uap. Uap ini diperoleh dari penguapan air yang berasal dari HRSG (Heat Recovery Steam Generator).

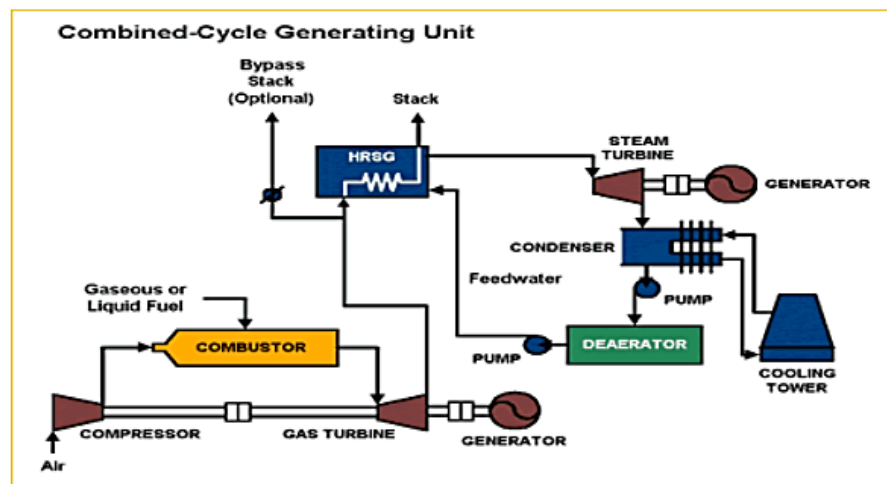
9. STG (Steam Turbine Generator)

STG (Steam Turbine Generator) merupakan generator berfungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang diperoleh dari turbin uap. Tenaga penggeraknya berasal dari uap kering yang dihasilkan oleh HRSG dengan putaran 3000 RPM, berpendingin hidrogen dan tegangan keluar 11,5 KV. Pada PLTGU, satu

buah generator ini menghasilkan daya kurang lebihnya sekitar 200 MW. PT. Indonesia Power Unit Bisnis pembangkitan Semarang memiliki 1 buah steam turbine generator untuk bagian PLTGU-nya.

10. HRSG

HRSG (Heat Recovery Steam Generator) UBP Semarang memiliki 2 blok Combine Cycle Power Plant dengan kapasitas masing-masing 1x 500 MW. Per bloknya terdiri dari 3 x 100 MW turbin gas dan 1 x 200 MW turbin uap yang merupakan combine cycle dari sisa gas buang dari GTG.100 oC tergantung dari load gas turbin dan ambien temperatur. HRSG ini didesain untuk beroperasi pada turbin gas dengan pembakaran natural gas dan destilate oil.± 514 oC (HSD) pada outlet flow gas ±Untuk masing-masing HRSG akan membangkitkan uap sebesar 194,29 ton/jam total flow, pada inlet flow gas.

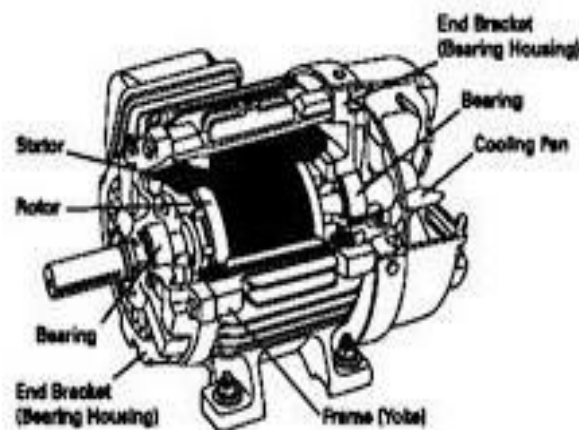


Gambar 2.1 bagian-bagian PLTGU¹

¹ <http://pembangkit-uap.blogspot.co.id/2015/03/pembangkit-listrik-tenaga-gas-pltg-nim.html>

2.2 Motor Listrik²

Motor listrik ialah alat berupa mesin yang bergerak menggunakan energi listrik. Motor listrik merupakan seperangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi putar. Motor listrik digunakan sebagai sumber penggerak berbagai macam alat yang digunakan dalam kehidupan manusia. Desain motor listrik berupa lingkaran atau silinder dari logam campuran aluminium sebagai body motor.



Gambar 2.2 Motor Listrik³

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama, arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran (loop) maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya tersebut menghasilkan tenaga putar (torque) untuk memutar kumparan. Motor listrik mempunyai beberapa jenis yang secara garis besar dibagi menjadi motor listrik arus searah (DC) dan motor listrik arus bolak balik (AC).

² F.J.Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, TEKNO SAIN, hlm 46

³ Irwan Iftadi, Kelistrikan Industri, Graha Ilmu, Yogyakarta, hlm 191



2.3 Pengerian Gas Turbin

Turbin gas merupakan suatu penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk menghasilkan energi gerak. Didalam turbin gas energi kinetik dikonvensikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan roda turbin sehingga menghasilkan daya bagian turbin yang berputar disebut rotor dan bagian turbin yang diam disebut stator rotor sendiri dapat diartikan sebagai roda turbin sedangkan stator dapat diartikan sebagai rumah turbin rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban seperti generator listrik pompa dan lain sebagainya.

2.4 Motor Induksi⁴

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Motor induksi merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatan, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Motor induksi adalah motor (AC) yang paling banyak digunakan dalam industry dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Motor induksi ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetic yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (ns). Medan magnet ini akan memotong belitan rotor, sehingga pada belitan rotor akan diinduksikan tegangan seperti halnya tegangan yang diinduksikan dalam lilitan sekunder

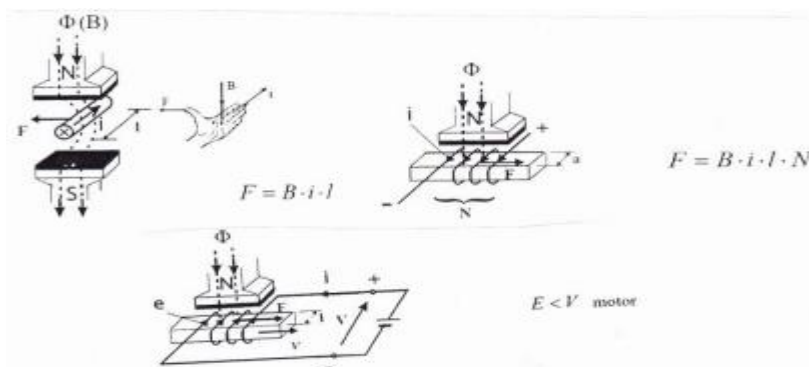
⁴ Didit Very Kuswoyo, Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa dari Gangguan Tidak Seimbang dan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroller, Universitas Lampung, 2016, hlm 6-7

transformator oleh fluksi yang dihasilkan arus pada belitan primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar. Tegangan induksi pada rotor akan menghasilkan arus yang mengalir pada belitan rotor. Arus yang mengalir pada belitan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F). gaya ini akan menghasilkan torsi (v) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan n_r yang searah dengan medan putar stator.

Macam-macam gangguan pada motor induksi yaitu kenaikan suhu, tegangan tidak seimbang, gulungan terbakar, kerusakan *bearing* pada motor induksi 3 fasa yang dikarenakan terjadinya arus lebih. Maka dari itu, perlu ada pengaman terhadap arus lebih dengan menggunakan *over current relay* pada motor induksi 3 fasa.

2.4.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip Kerja Motor Induksi¹³ Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotor. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul GGL atau tegangan induksi dan karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantaran (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Gaya Lorentz ditunjukkan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 Gaya Lorentz



Arus listrik (I) yang dialirkan di dalam suatu medan magnet dengan kerapatan fluks (B) akan menghasilkan suatu gaya sebesar :

$$F = B \cdot I \cdot L \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

F = Gaya (Newton)

B = Kerapatan fluks (Weber)

I = Arus (Amper)

L = Konduktor (Meter)

Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slotslotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi kemudian di induksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron.

Jika pada belitan stator diberi tegangan 3 phasa, maka pada stator akan dihasilkan arus 3 phasa. Arus ini akan mengalir melalui belitan yang akan menimbulkan fluks dank karena adanya perbedaan sudut phasa sebesar 120^0 antara ketiga phasanya, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron ns.

$$Ns = p \cdot 120 \cdot f / p \text{ (rpm)} \dots\dots\dots(2.2)$$

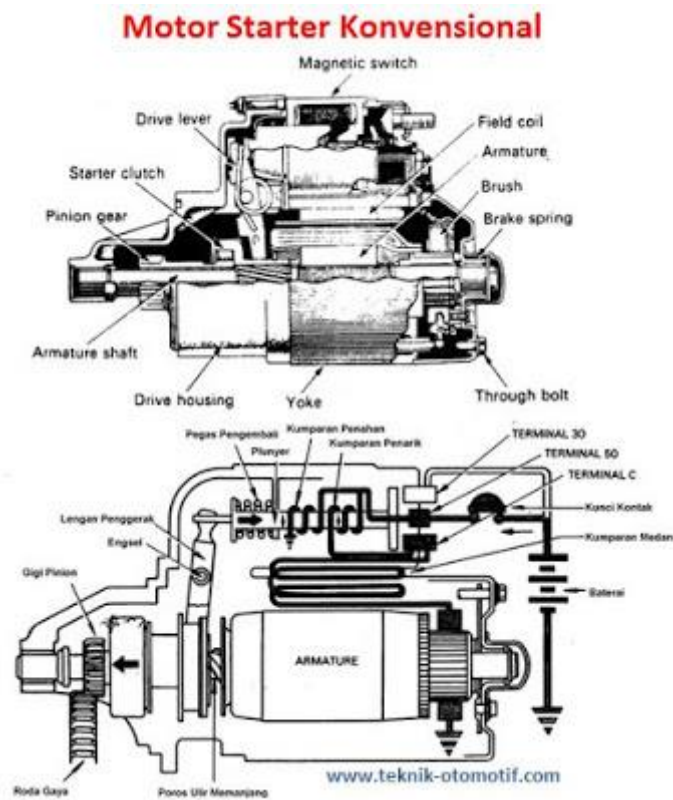
$$\text{Motor Slip (\%S)} = ((NS - NR) / NS) \times 100$$

2.5 Motor Cranking

Motor Cranking adalah Starting motor yang berfungsi untuk memutar engine pada saat start (awal menghidupkan engine) dengan prinsip merubah energi listrik menadi energi mekanis Turbin gas merupakan suatu penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk menghasilkan enegi gerak. Didalam turbin gas energi kinetik dikonvensikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan roda turbin sehingga menghasilkan daya bagian turbin yang berputar disebut rotor dan bagian turbin yang diam disebut stator rotor sendiri dapat diartikan sebagai roda turbin sedangkan stator dapat diartikan sebagai ruma turbin rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban seperti generator listrik pompa dan lain sebagainya.

2.5.1. Komponen-Komponen Motor Starter dan Fungsinya

Bagian motor starter dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu bagian motor starter yang menghasilkan gaya putar dan bagian motor starter sebagai mekanisme pemindah tenaga.



Gambar 2.4. Komponen-komponen motor starter

Bagian dari motor starter yang menghasilkan gaya putar :

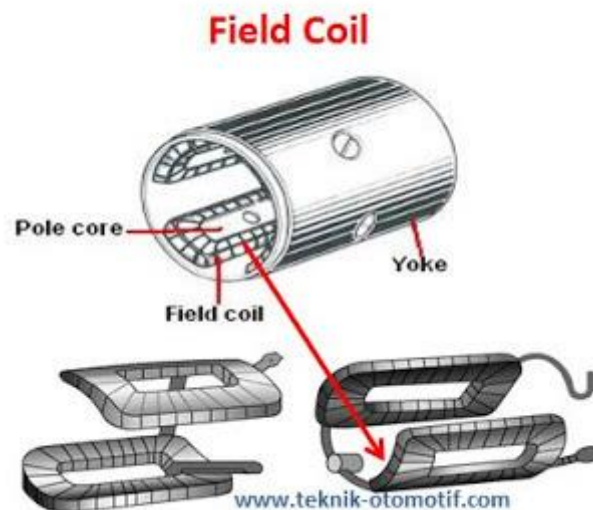
1. Yoke dan Pole Core



Gambar 2.5. Yoke dan Pole Core

Yoke pada motor starter memiliki fungsi yaitu sebagai tempat mengikat pole core. Yoke terbuat dari besi atau logam yang berbentuk silinder yang sekaligus sebagai rumah dari armature. Sedangkan pole core memiliki fungsi untuk menopang field coil dan untuk memperkuat medan magnet yang ditimbulkan field coil. Pada umumnya, motor starter memiliki empat buah pole core yang terikat pada yoke menggunakan sekrup.

2. Field Coil



Gambar. 2.5 Field Coil

Perlu diketahui, pada motor starter tidak menggunakan magnet permanen melainkan untuk menghasilkan medan magnet yang kuat maka motor starter menggunakan field coil. Field coil berbentuk kumparan dan apabila field coil dialiri arus listrik maka akan timbul medan magnet.

Field coil terbuat dari bahan tembaga dan field coil ini dihubungkan dengan armature secara seri agar arus yang mengalir melewati field coil ini nantinya juga akan mengalir ke armature coil.

3. Armature

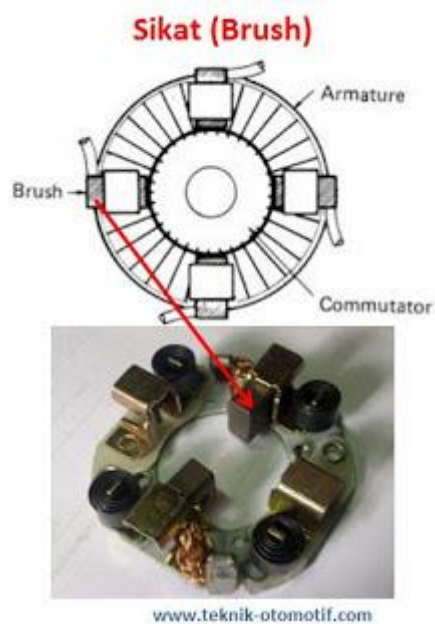


Gambar 2.6. Armature

Armature tersusun dari beberapa komponen yaitu armature core, armature coil, comutator, armature shaft dan bagian-bagian lainnya. Kedua ujung shaft armature ini, masing-masing ditopang oleh bearing yang bertujuan agar armature dapat berputar dengan stabil diantara pole core.

Armature coil disusun pada celah-celah core dan masing-masing ujung armature coil disambungkan ke segmen-segmen comutator. Dengan demikian arus yang melewati armature coil dapat membuat komponen armatur dapat berputar dan menghasilkan momen putar untuk memutar fly wheel.

4. Sikat (Brush)

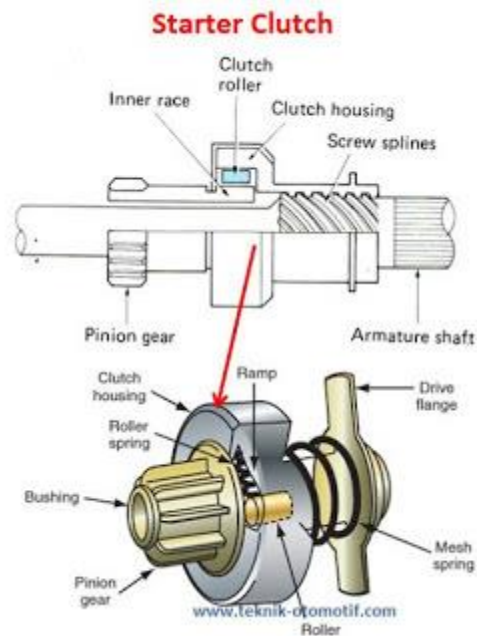


Gambar 2.7. Sikat (Brush)

Motor starter pada umumnya dilengkapi dengan empat buah sikat atau brush, dua buah sikat positif dan dua buah sikat negatif. Sikat positif diberi isolator dan dipasangkand dengan armature coil melalui comutator. Sedangkan sikat negatif dipasangkan ke pemegang yang berhubungan dengan masa body kendaraan. Sikat-sikat ini agar dapat selalu berhubungan dengan comutator maka pada sikat terdapat pegas. Pegas ini berfungsi untuk menekan sikat agar selalu dapat berhubungan dengan comutator. Jika sikat habis (tidak menekan comutator) maka momen putar yang dihasilkan motor starter menjadi lemah atau bisa juga motor starter tidak dapat berputar.

Bagian dari motor starter sebagai mekanisme pemindah tenaga :

1. Kopling starter atau starter clutch



Gambar 2.8. Starter Clutch

Kopling starter berfungsi untuk memindahkan momen putar dari armature shaft ke fly wheel dan untuk mencegah berpindahnya tenaga putar dari fly wheel (ketika mesin sudah hidup) ke motor starter.

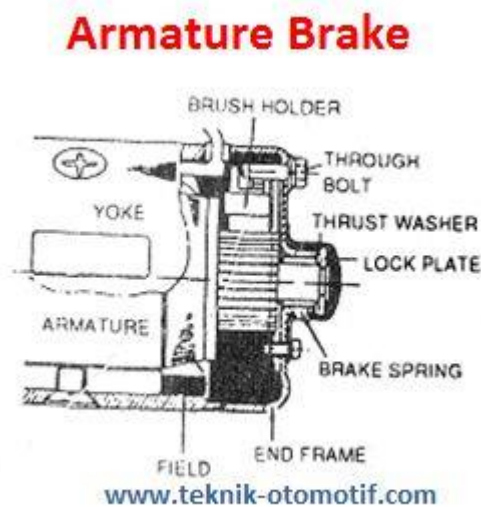
2. Drive lever



Gambar 2.9. Drive Lever

Drive lever memiliki fungsi untuk mendorong pinion gear untuk berkaitan dengan fly wheel dan menarik pinion gear untuk melepaskan kaitan dengan fly wheel

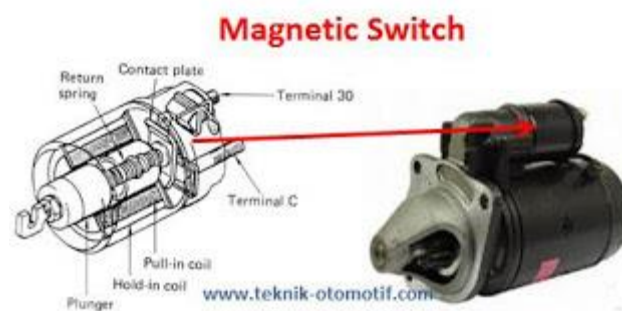
3. Armature brake



Gambar 2.10. Armature Brake

Armature brake berfungsi sebagai pengerem ketika pinion gear lepas dari kaitan fly wheel. Pertanyaannya “kenapa perlu adanya pengereman pada motor starter?”. Pengereman pada motor starter sangat penting guna menjaga umur komponen pinion gear. Pada saat anda melakukan starter pertama kali dan mesin belum hidup, tentu saja anda akan melakukan starter kembali, sehingga apabila tidak ada pengereman maka akan membuat pinion masih berputar dan ketika dilakukan starter kembali maka dapat merusak pinion gear karena pinion gear dapat menabrak gigi pada fly wheel.

4. Magnetic Switch



Gambar 2.11. Magnetic Switch

Magnetic switch atau saklar magnet terdiri dari kontak plate yang terhubung dengan plunger. Plunger pada magnetic switch digulung dengan dua kumparan, kumparan bagian dalam dibuat menjadi lebih tipis atau disebut dengan kumparan pull in coil sedangkan kumparan bagian luar dibuat lebih tebal dan disebut dengan hold in coil. Kumparan pull in coil dihubungkan ke massa melalui field coil dan armature sedangkan kumparan hold in coil dihubungkan langsung dengan massa. Kumparan pull in coil digunakan untuk menarik drive lever melalui plunger sedangkan hold in coil berfungsi sebagai penahan plunger.

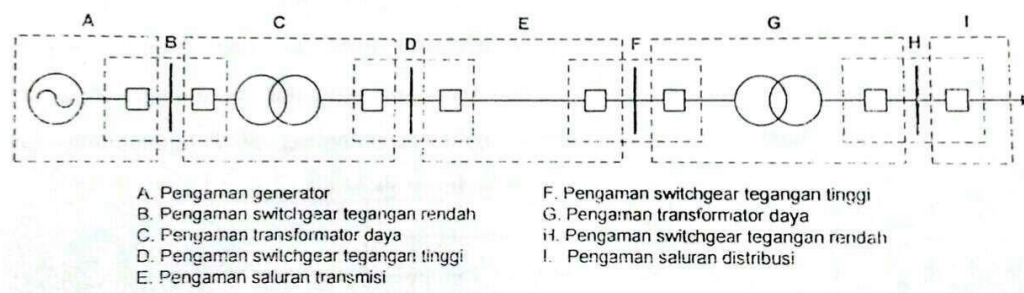
2.6 Sistem Proteksi

System merupakan beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama dengan tujuan tertentu. Sedangkan proteksi adalah pengaman. Jadi, system proteksi merupakan beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk tujuan pengamanan.

2.6.1 Pembagian Daerah Proteksi⁵

Peralatan system pengaman ini ditempatkan pada bagian-bagian system tenaga listrik yang memberikan suatu konsep daerah pengaman. Batas suatu daerah menentukan suatu bagian dari system sehingga untuk suatu gangguan dimanapun didalam daerah tersebut, system pengaman bertanggung jawab untuk memisahkan bagian yang terganggu dari system tenaga listrik.

Oleh karena pemisahan atau pemutusan daya dalam keadaan terganggu itu dilakukan oleh pemutus rangkaian, maka pada tiap titik hubung antara peralatan dengan bagian lain harus disisipkan suatu pemutus rangkaian atau pemutus tenaga, dengan kata lain pemutus tenaga akan membantu penentuan batas daerah perlindungan.



Gambar 2.12 Daerah Pengamanan

Aspek penting lain dari daerah perlindungan adalah daerah yang berdekatan selalu saling melidungi (*overlap*). Hal ini perlu karena suatu bagian system yang berada di daerah-daerah yang berdekatan betapapun kecilnya tidak boleh dibiarkan tanpa perlindungan seperti diperlihatkan pada gambar 2.5. Namun jelas pula bahwa jika terjadi gangguan dibagian yang saling melindungi tersebut, suatu bagian yang lebih besar dari system tenaga akan dipisahkan dan tidak dapat memberikan pelayanan. Untuk mengurangi kemungkinan seperti itu, bagian yang menutupi dibuat sekecil mungkin.

⁵ Carlos R. Sitompul, Praktikum Sistem Proteksi, Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2010, hlm 3

2.6.2 Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam system proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

- a) Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas system proteksi dalam melakukan proteksi terhadap system tenaga.
- b) Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
- c) Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

2.6.3 Komponen Peralatan Proteksi

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

- a) Rele Proteksi.
- b) Pemutus tenaga (PMT) : Sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkuit yang terganggu.
- c) Transformator ukur
 - Trafo Arus : Meneruskan arus ke sirkuit relay.
 - Trafo Tegangan : Meneruskan tegangan ke sirkuit relay.

2.7 Rele Proteksi⁶

Rele Proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau system tenaga listrik tidak normal. Rele pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu system tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

Rele proteksi mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan diantaranya adalah :

⁶ Hazairin Samaulah, 2004, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, Universitas Sriwijaya, hal 70

1. Bagian Perasa (*sensing element*)

Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dirasakan selanjutnya diteruskan kebagian pembanding.

2. Bagian Pembanding (*comparing element*)

Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukuran itu masih dalam keadaan normal atau tidak.

3. Bagian Kontrol

Pada bagian ini pembukaan *circuit breaker* (PMT) atau pemberi tanda/signal diatur dan dilaksanakan.

2.7.1 Rele Proteksi Pada Motor Listrik⁷⁷

Proteksi motor sangat variatif dan sedikit berbeda dengan proteksi peralatan system tenaga lainnya. Hal ini disebabkan sangat variatifnya ukuran, jenis dan aplikasi motor. Proteksi sangat tergantung dari seberapa berharganya motor tersebut, yang umumnya sangat erat kaitannya dengan ukuran motor.

Potensi-potensi bahaya yang umum diperhatikan, antara lain :

1. Gangguan – phasa dan atau tanah.
2. Kerusakan termis akibar :
 - a. Beban lebih (kontinyu atau *intermittent*)
 - b. Rotor terkunci (gagal asut atau *jamming*)
3. Kondisi tidak normal
 - a. Operasi tidak seimbang
 - b. Tegangan lebih dan tegangan kurang
 - c. Pembalikan phasa
 - d. Penutupan balik kecepatan tinggi (*re-energize* sewaktu sedang jalan)
 - e. Temperatur yang tidak lazim dan atau lingkungan (dingin, panas, damp)

⁷⁷ Aditya Erlangga Putra, Proteksi Arus Lebih Pada Motor Pompa Sentrifugal Menggunakan Rele Arus Lebih, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017, hlm 30-32

f. Urutan pengasutan yang tidak lengkap.

Potensi diatas umumnya terjadi untuk motor induksi, yang penggunaannya sangat umum dan banyak dipakai. Untuk motor-motor sinkron, potensi bahaya tambahan yang mungkin terjadi adalah :

1. Kehilangan eksitasi (kehilangan medan)
2. Operasi diluar sinkronisasi
3. Kehilangan sinkronisasi

Potensi-potensi bahaya ini dapat diklasifikasikan menurut asal, sebagai berikut :

A. Pengaruh Motor

1. Kegagalan motor
2. Kegagalan *bearing*
3. Kegagalan mekanis
4. Kehilangan medan (untuk motor sinkron)

B. Pengaruh beban

1. Beban lebih (dan beban berkurang)
2. *Jamming*
3. Inersia tinggi

C. Pengaruh lingkungan

1. Temperatur ambien yang tinggi
2. Tingkat kontaminasi yang tinggi
3. Temperature ambient yang terlalu dingin

D. Pengaruh sumber atau system

1. Kegagalan phasa (phasa terbuka)
2. Tegangan lebih
3. Tegangan kurang
4. Pembalikan phasa
5. Kondisi kehilangan sinkronisasi akibat gangguan dari system

E. Pengaruh operasi dan aplikasi

1. Sinkronisasi, penutupan atau penutupan balik phasa
2. Siklus kerja tinggi

3. *Jogging*

4. Pembalikan cepat atau plug

Mayoritas beban pemakaian sendiri pada pembangkit listrik adalah motor listrik. Motor listrik digunakan sebagai penggerak pompa, *fan*, *valve*, dan lain sebagainya. Oleh karena itu motor listrik harus dilindungi dari ancaman gangguan yang mungkin terjadi pada motor tersebut. Berikut merupakan rele proteksi pada motor listrik :

1. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan relay proteksi pada motor yang berfungsi untuk melindungi dari gangguan hubung singkat antar fasa. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada belitan motor. Relay arus lebih bersifat instant, jadi jika ada gangguan harus segera mengisolasi motor yang dilindungi tersebut. *Overload* pada motor listrik disebabkan oleh pembebanan berlebih pada motor sehingga putaran motor semakin berat. Semakin berat beban motor maka konsumsi arus listrik motor semakin besar, sehingga jika dibiarkan dalam waktu yang lama maka arus *overload* menyebabkan pemanasan pada belitan yang dapat merusak belitan tersebut.

2. Rele *Unbalance*

Unbalance pada motor terjadi apabila ada ketidakseimbangan arus pada fasa sumber. Fenomena ini akan menyebabkan timbulnya arus urutan negative (*negative sequence*) yang dapat menyebabkan pemanasan pada motor.

3. Rele Hubung Singkat ke Tanah

Rele hubung singkat ke tanah berfungsi untuk menggunakan motor dari gangguan arus hubung singkat antara fasa dengan tanah

4. Rele *Long Start*

Rele *long start current* adalah rele proteksi pada motor yang digunakan untuk mengamankan motor dari gangguan arus start yang lama. Seperti kita ketahui ketika motor listrik pertama kali dihidupkan maka akan mengkonsumsi arus yang lebih besar dari arus nominal. Arus start tersebut

bias mencapai 6 kali dari arus nominalnya. Pada kondisi normal, arus start tersebut hanya berlangsung sesaat saja dan arus kembali ke arus nominal setelah motor berputar pada putaran nominal. Rele *long start* berfungsi mengamankan motor ketika arus *start* tersebut berlangsung lebih lama dari kondisi normal agar tidak terjadi pemanasan pada belitan motor. Relay longstart bersifat *definite time* (karakteristik tunda waktu).

5. Rele Temperatur

Rele temperature merupakan rele proteksi pada motor yang digunakan untuk mengamankan motor listrik dari gangguan temperature yang berlebih. Temperatur berlebih biasa disebabkan oleh gangguan mekanik maupun gangguan elektrik. Gangguan mekanik contohnya adalah kegagalan system pendingin dan lain sebagainya sedangkan gangguan elektrik contohnya adalah *overload*, *longstart* dan lain sebagainya.

2.7.2 Fungsi Rele Proteksi

Fungsi rele proteksi pada suatu system tenaga listrik antara lain :

- a) Merasakan, mengukur dan menentukan bagian system yang terganggu serta memisahkan secepatnya system lain yang tidak terganggu, sehingga dapat beroperasi secara normal
- b) Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c) Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian system lain yang tidak terganggu di dalam system tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d) Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.7.3 Syarat Rele Proteksi⁸

Rele proteksi dalam fungsinya sebagai pengaman memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu :

⁸ F.J. Tasiem, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Teknosain, 2017, hlm 151-153

1. Cepat bereaksi

Relay harus cepat bereaksi/bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi relay adalah saat relay mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *circuit breaker*.

2. Peka (sensitif)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun gangguan yang ada relative kecil.

3. Andal (*reliability*)

Maksud dari keandalan adalah bahwa sebuah rele proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan pengamanan pada daerah yang diamankan.

Keandalan memiliki 3 aspek, antara lain :

a. *Dependability*, adalah kemampuan suatu system rele untuk beroperasi dengan baik dan benar. Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain *dependability*-nya harus tinggi.

b. *Security*, adalah tingkat kepastian suatu system rele untuk tidak salah dalam bekerja. Salah kerja, misalnya lokasi gangguan berada di luar pengamannya, tetapi salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.

c. *Availability*, adalah perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.

4. Seleksifitas (*selectivity*)

Maksudnya pengaman harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di daerah proteksi utama dimana pengaman harus bekerja cepat atau terletak di luar zona proteksinya dimana pengaman harus bekerja dengan waktu tunda atau tidak bekerja sama sekali.

5. Kecepatan kerja (*Speed of Operation*)

Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian system lainnya. Selang waktu sejak dideteksinya gangguan sampai dilakukan pemisahan gangguan merupakan penjumlahan dari waktu kerja rele dan waktu kerja pemutus daya. Namun pengaman yang baik adalah pengaman yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms

6. Sederhana (*simplicity*)

Rele pengaman baru disusun sesederhana mungkin namun tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya.

7. Ekonomis (*Economic*)

Faktor ekonomi sangat mempengaruhi pengaman yang akan digunakan. Namun sebaiknya pilihlah suatu system proteksi yang memiliki perlindungan maksimum dengan biaya yang minimum.

2.8 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)⁹

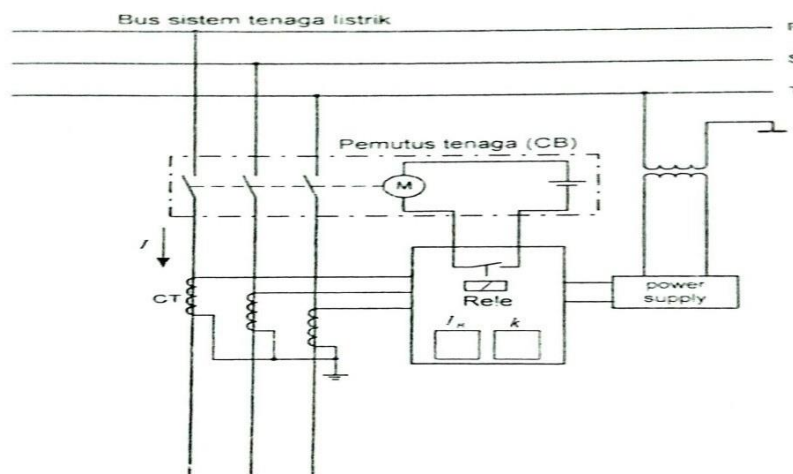
Rele arus lebih adalah suatu rele dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan. Seperti yang telah disinggung didepan, maka pengaturan waktu ini selain untuk keamanan peralatan juga sering dikaitkan dengan masalah koordinasi pengaman.

Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka rele jenis ini termasuk relay yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetelannya. Rele jenis ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih.

⁹ Muhammad Taqiyuddin Alawiy, Proteksi Sistem Tenaga Listrik : Seri Relay Electromagnetic, Universitas Islam Malang, 2006, hlm 20



Gambar 2.13 Rele Arus Lebih



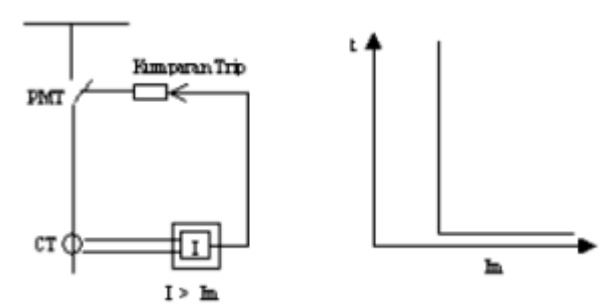
Gambar 2.14 Diagram Garis Rele Arus Lebih

Macam – macam karakteristik rele arus lebih :

- a. Rele arus lebih waktu seketika (*Instantaneous relay*)
- b. Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)
- c. Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse relay*)

2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time Relay*)

Rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10- 20 ms). Terlihat pada gambar dibawah ini.

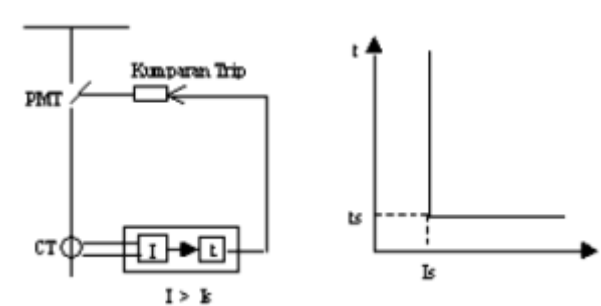


Gambar 2.15 Karakteristik Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain.

2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)

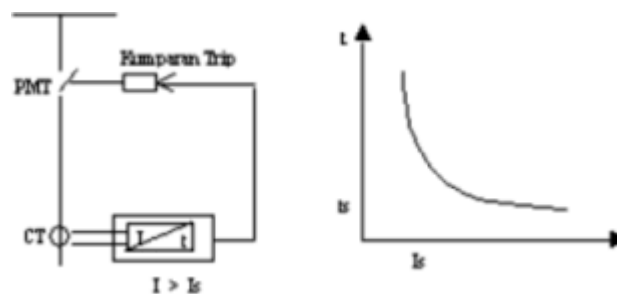
Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, lihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.16 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

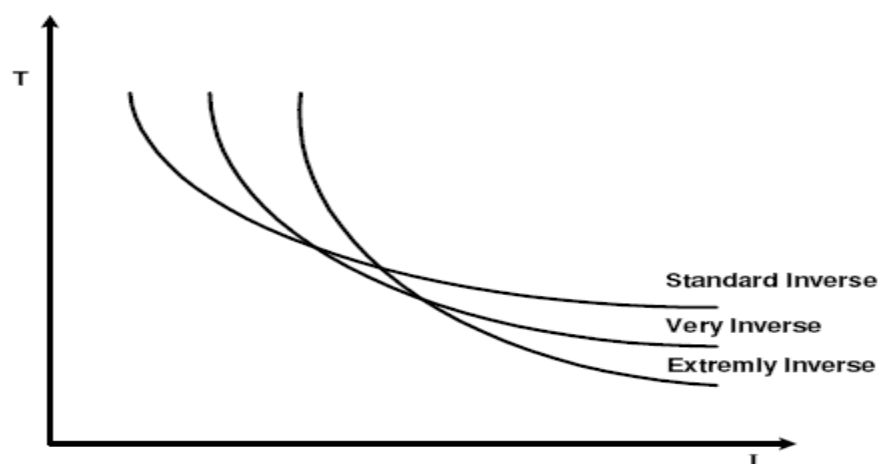
Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*Inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.



Gambar 2.17 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- *Standar inverse*
- *Very inverse*
- *Extremely inverse*



Gambar 2.18 Kurva Perbandingan Waktu dan Arus Inverse Relay



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

Rele arus lebih dengan karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) ialah jika jangka waktu rele arus mulai *pickup* sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele *pickup* dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika.

2.9 Arus Masukan Motor

Untuk mencari arus input pada motor, terlebih dahulu harus mengetahui Daya output yang terdapat pada spesifikasi ataupun *nameplate* motor dan juga harus mengetahui berapa nilai dari tegangan operasi motor, dan power factor ($\cos \phi$) motor. Untuk mengetahui daya input motor dapat menggunakan rumus :

$$I_{input} = \frac{P_{output}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

I_{input} = Arus masukan pada motor (*Ampere*) V = Tegangan operasi motor (*Volt*)

P_{output} = Daya output motor (*Watt*) $\cos \phi$ = Faktor daya motor

2.10 Daya Masukan Motor

Setelah didapatkan arus masukan motor, selanjutnya menghitung daya masukan motor. Untuk menghitung daya masukan pada motor dapat menggunakan rumus :

$$P_{input} = V \times I \times \sqrt{3} \times$$



$$\mathbf{Cos\phi} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

P input = Daya masukan motor (Watt) V = Tegangan operasi motor (Volt)

I nominal = Arus nominal motor atau *full load ampere* (Ampere) Cos φ =

Faktor daya motor

2.11 Arus Nominal Motor

Untuk mengetahui arus nominal motor dapat menggunakan rumus :

$$\mathbf{I\ nominal} = \frac{\mathbf{P\ output}}{\sqrt{3} \times \mathbf{V} \times \mathbf{Cos\phi}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

I nominal = Arus nominal motor (Ampere) P input = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt) Cos φ = Faktor daya motor

2.12 Arus Penyetelan Motor

Besar arus *setting* dapat diketahui menggunakan *set point Definite Time*.

Untuk menghitung arus *setting* relay dapat menggunakan rumus :

$$\mathbf{I\ setting} = \mathbf{range\ setpoint} \times \mathbf{I\ nominal} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

I *setting* = Arus Penyetelan (Ampere)

Range *setpoint* = batas *setpoint* arus penyetelan I nominal = Arus nominal motor (Ampere)

2.13 Penyetelan Waktu Trip Motor

Untuk penyetelan waktu *trip*, digunakan standar kurva IEC dengan kurva *long time inverse*. Berikut adalah rumus penyetelan waktu *trip* sesuai dengan standar IEC :



$$T_d = \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \right] \times \frac{T}{\beta} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

T_d = Waktu *trip* (s)

K, α = Konstanta standar IEEE

I = Arus nominal (Ampere)

I_s = Arus *setting* (Ampere)

$\frac{T}{\beta}$ = *Multiplier setpoint* atau TMS

Tabel 2.1 Konstanta Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	0.300