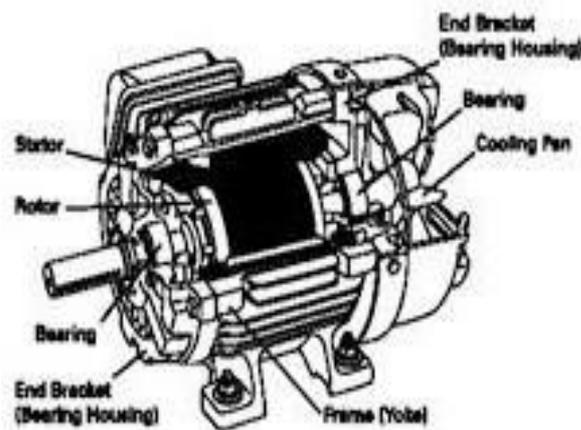


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Listrik^[7]

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 2.1 Motor Listrik^[3]

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).

^[7] F.J.Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, TEKNOSAIN, hlm 46

^[3] Irwan Iftadi, Kelistrikan Industri, Graha Ilmu, Yogyakarta, hlm 191

2.2 *Steam Turbin Generator*

Steam Turbin Generator atau generator turbin uap merupakan generator yang digerakkan oleh tenaga uap air yang dipanaskan dengan bahan bakar batu bara. Uap air yang dihasilkan dialirkan dengan tekanan yang tinggi untuk memutar turbin generator. Energy listrik yang dihasilkan disalurkan ke PUSRI IB, PUSRI II, PUSRI III, PUSRI IV dan PPU.

2.3 **Motor Induksi**^[2]

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 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

^[2] Didit Very Kuswoyo, Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa dari Gangguan Tidak Seimbang dan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroller, Universitar Lampung, 2016, hlm 6-7

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 pengamanan terhadap arus lebih dengan menggunakan *over current relay* pada motor induksi 3 fasa.

2.4 Induced Draft Fan (ID Fan)^[6]

Induced Draft Fan (ID Fan) adalah kipas (*fan*) yang menghisap udara dari dalam *boiler* keluar menuju cerobong. ID Fan dipasang di dekat *stack/chimney* (cerobong pembuangan gas hasil pembakaran batubara) dan *electrostatic precipitator* (penangkap abu batubara jenis *fly ash* yang berterbangan sehingga dapat mengurangi polusi udara yang akan dikeluarkan melalui *stack/chimney*). ID Fan berfungsi untuk mempertahankan *pressure* pada *furnace boiler* dan bekerja pada tekanan atmosfer rendah karena digunakan untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran (*flue fan*) pada boiler untuk selanjutnya dibuang melalui *stack/chimney*. Sebelum gas dan abu sisa pembakaran dibuang, terlebih dahulu dilewatkan pada *electrostatic precipitator* agar bisa mengurangi persentase polusi udara yang dihasilkan dari sisa pembakaran tersebut.

Besarnya volume *flue gas* yang dihisap oleh ID Fan diatur oleh besarnya persentase bukaan (sudut buka) *damper* yang dipasang di posisi sebelum ID Fan (inlet), semakin besar sudut bukannya maka volume *flue gas* yang dihisap IDF semakin besar. Besarnya sudut buka *damper* diatur oleh Motor Operated Valve (MOV), sedangkan besarnya kecepatan putaran *Blade pitch* ID Fan diatur oleh *Variable Fluid Coupling*. Hal-hal yang harus diperhatikan terhadap ID Fansama dengan FD Fan, tetapi yang membedakan adalah kinerja ID Fan di suhu yang tinggi karena ID Fan mensirkulasikan gas hasil pembakaran dan FD Fan hanya bekerja di suhu atmosfer biasa, sehingga ID Fan mempunyai system pendinginan dengan air dan radiator untuk mencegah *overheating*.

^[6] Sardi Bugis, Analisa Produk Blade Turbin Induced Draft Fan (IDF) Pada Proses Pengecoran, Universitas Pasundan Bandung, 2018, hlm 21-22

2.5 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 Dasar-dasar Sistem Proteksi

Sistem proteksi atau pengaman suatu tenaga listrik yang membantu suatu pola pengaman tidak hanya rele pengaman saja tetapi juga Trafo Arus (Current Transformer) dan Trafo Tegangan (Voltage Transformer) yang merupakan sumber informasi dari rele pengaman. Sumber daya (DC Supply) yang merupakan sumber untuk mengoperasikan rele pengaman dan pemutus tenaga (Circuit Breaker) yang akan menerima perintah akhir dari rele pengaman. Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik adalah suatu kesatuan antara komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama-sama untuk tujuan dalam mengatasi permasalahan yang terjadi yang disebabkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi dalam sistem operasi komponen peralatan pengaman.

Adapun macam-macam gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik seperti :

1. Gangguan beban lebih Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut.
2. Gangguan Hubung Singkat Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa), 2 fasa ketanah dan 1 fasa ketanah yang sifatnya bisa temporer atau permanen.
3. Gangguan tegangan lebih Gangguan tegangan lebih terjadi akibat adanya kelainan pada sistem tenaga listrik, seperti tegangan lebih karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik.
4. Gangguan Ketidakstabilan Gangguan ini disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik atau lepasnya pembangkit, yang dapat menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron.

2.7 Bagian Dari Suatu Sistem Proteksi

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan penyediaan dan penyaluran energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik tersebut adalah suatu kesatuan antara PMT atau CB, Transduser dan rele. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut dapat berakibat sistem proteksi tersebut tidak dapat berjaan dengan baik.

2.7.1 Rele

Rele proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidakstabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga untuk memisahkan sistem yang terganggu sehingga sistem yang lainnya dapat beroperasi secara normal. bagian dari sistem proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Bagian rele pengaman^[5]

1. Bagian perasa

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

2. Bagian pembanding

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

3. Bagian kontrol

Pada bagian ini pembukaan pemutus tenaga (PMT) atau pemberian sinyal/tanda diatur dan dilaksanakan.

2.7.2 Transformator Ukur

Sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke rele (besaran listrik sekunder), transformator arus (CT) berfungsi sebagai pengindera

^[5] Hazairin Simaulah, Dasar – Dasar istem Proteksi Tenaga Listrik, hal.70

yang apakah keadaan yang diproteksi dalam keadaan normal atau mendapatkan gangguan. Transformator arus adalah suatu transformator yang berfungsi mengubah besaran arus primer yang tinggi menjadi arus sekunder yang lebih rendah serta memisahkan sisi sekundernya dengan sisi primer secara listrik dari jaringan tegangan tinggi.

2.7.3 *Circuit breaker* (CB) / Pemutus tenaga (PMT)

PMT berfungsi untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu. PMT dapat dioperasikan yaitu ditutup atau dibuka dengan mempergunakan sistem proteksi. Dengan demikian sebuah pemutus tenaga dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana arus saluran, tegangan saluran atau frekuensi sistem melampaui batas tertentu. Jenis – jenis pemutus tenaga berdasarkan media pemutusannya yaitu:

1. Pemutus tenaga minyak (*oil circuit breaker*)

Pemutus tenaga minyak terdiri atas sebuah tangki atau bejana yang terbuat dari baja yang diisikan dengan minyak isolasi. Pada salah satu versi, isolator tembus (*bushing*) memasukkan tegangan fasa dan dihubungkan dengan suatu kontak tetap yang tidak bergerak. Kontak yang bergerak dikendalikan oleh rele yang dapat menutup atau membuka rangkaian.

Ketika rangkaian berada dalam keadaan tertutup, dan kontak tetap lalu kontak bergerak berada dalam keadaan terhubung maka arus listrik mengalir. Bilamana beban lebih sehingga arus lebih bekerja, kontak bergerak akan ditarik keluar dari kontak tetap agar hubungan jaringan menjadi terbuka. Pada saat kedua kontak membuka, terjadi suatu busur api yang sangat kuat dan juga gas – gas panas. Tekanan dari gas panas inilah yang menyebabkan terjadinya turbulensi dari minyak sekitar busur api. Hal itu mengakibatkan minyak yang dingin mengitari busur api dan memadamkannya. Pada pemutus tenaga minyak yang modern busur api dialokasikan dalam ruang pemadam sehingga tekanan gas panas menghasilkan suatu semburan minyak melintasi busur api.

2. Pemutus tenaga udara tiup (*air blast circuit breaker*)

Pemutus tenaga udara tiup tidak menggunakan minyak. Pada

pemutus jenis ini udara bertekanan tinggi dengan kecepatan supersonic melintasi busur api. Udara bertekanan tinggi itu disimpan dalam sebuah tangki dan diisi sebuah compressor, sehingga pemutus tenaga udara bertekanan dengan daya besar dapat membuka arus hubung singkat sebesar 40 kA pada tegangan 500 kV. Kebisingan yang terjadi saat pelepasan udara itu sedemikian nyaring sehingga lebih menyerupai ledakan yang dahsyat. Bilamana GI terletak dekat daerah pemukiman, perlu diatus agar kebisingan itu dikurangi.

3. Pemutus tenaga SF6 (*SF6 circuit breaker*)

Pemutus tenaga SF6 merupakan sistem yang sepenuhnya tertutup, dan diisolasi dengan gas Sulfur Hexafluorida (SF6). Jenis pemutus tenaga ini sangat baik namun mahal. Karena bentuknya yang kompak, peralatan yang berisolasi SF6 dipakai ditempat – tempat yang harga tanahnya tinggi, seperti di tengah kota besar. Kini terdapat pula GI yang berisolasi yang berisolasi gas SF6. Gas SF6 merupakan suatu terobosan sebagai bahan isolasi dan pemadaman bagi pemutus tenaga yang memiliki stabilitas termal yang tinggi, tidak beracun dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Pada tekanan yang sama, gas SF6 memiliki kekuatan dielektrik 2,5 sampai 3 kali dari udara dan juga pada tekanan yang lebih rendah, gagal isolasi masih tinggi, dan menyamai yang dari minyak atau bahan isolasi padat. Kemampuan isolasi SF6 untuk sebagian diperoleh dari sifatnya yang elektromagnetik sehingga menarik elemen – elemen bebas ke molekul.

4. Pemutus tenaga vakum (*vaccum circuit breaker*)

Pemutus tenaga vakum bekerja atas dasar prinsip lain, karena terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak – kontak terbuka. Pemutus tenaga jenis ini tertutup secara rapi, tidak boleh bocor karena tidak terdapat kebisingan atau polusi. Kemampuannya terbatas hingga kira – kira 30 kV. Untuk tegangan yang lebih tinggi pemutus ini dipasang secara seri. Pemutus tenaga vakum banyak dipakai pada sistem bawah tanah ACR (*automatic circuit recloser*).^[5]

^[5] Hazairin Simaulah, Dasar-Dasar sistem proteksi tenaga listrik, Hal 88-92

2.8 Rele Proteksi^[5]

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 :

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.

2.8.1 Rele Proteksi Pada Motor Listrik^[1]

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

^[5] Hazairin Samaulah, 2004, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, Universitas Sriwijaya, hal 70

^[1] Aditya Erlangga Putra, Proteksi Arus Lebih Pada Motor Pompa Sentrifugal Menggunakan Rele Arus Lebih, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017, hlm 30-32

- c. Pembalikan phasa
- d. Penutupan balik kecepatan tinggi (*re-energize* sewaktu sedang jalan)
- e. Temperatur yang tidak lazim dan atau lingkungan (dingin, panas, damp)
- 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 ambein 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.

2.8.2 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.

2.8.3 Syarat Rele Proteksi^[7]

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

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 :

^[7] F.J. Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Teknosain, 2017, hlm 151-153

- 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.

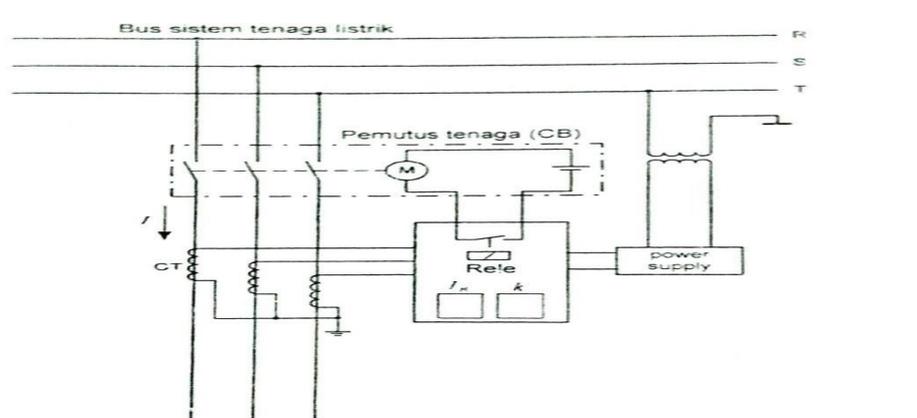
2.9 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)^[4]

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 pengamanan.

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.



Gambar 2.3 Rele Arus Lebih



Gambar 2.4 Diagram Garis Rele Arus Lebih

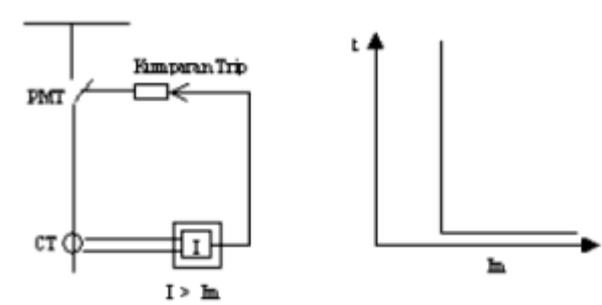
^[4] Muhammad Taqiyuddin Alawiy, Proteksi Sistem Tenaga Listrik : Seri Relay Electromagnetic, Universitas Islam Malang, 2006, hlm 20

Macam – macam karakteristik rele arus lebih :

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

2.9.1 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.

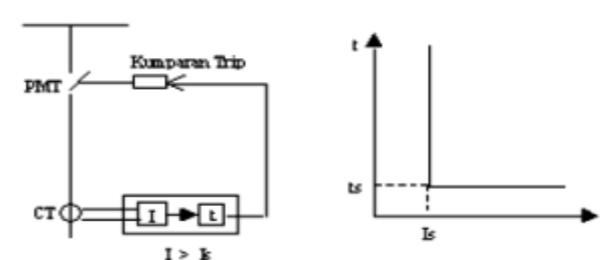


Gambar 2.5 Karakteristik Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

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

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

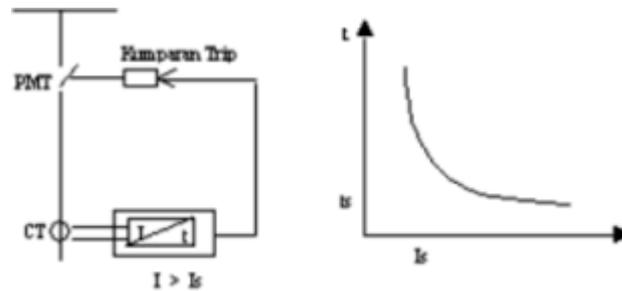
Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, lihat gambar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



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.9.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

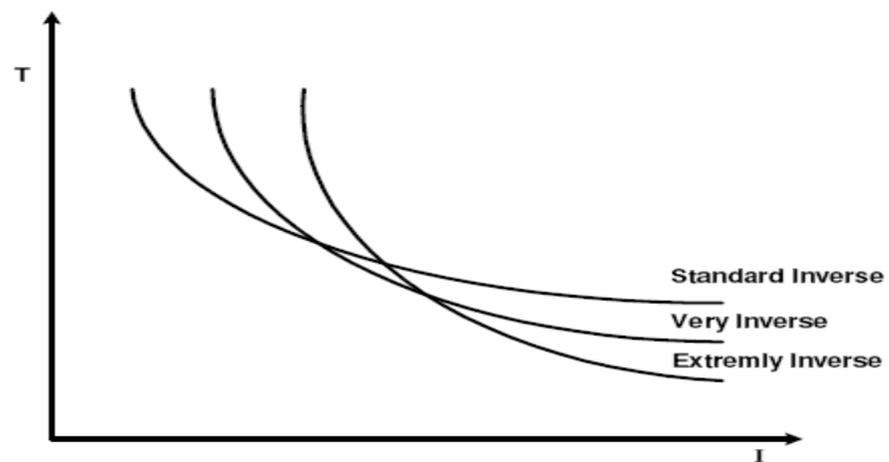
Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*Inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

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



Gambar 2.8 Kurva Perbandingan Waktu dan Arus Inverse Relay

2.9.4 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.

2.10 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 :

$$I \text{ input} = \frac{P \text{ output}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} \dots\dots\dots(2.1)^{[1]}$$

Dimana :

$I \text{ input}$ = Arus masukan pada motor (*Ampere*)

V = Tegangan operasi motor (*Volt*)

$P \text{ output}$ = Daya output motor (*Watt*)

$\cos \phi$ = Faktor daya motor

2.11 Daya Masukan Motor

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

$$P \text{ input} = V \times I \times \sqrt{3} \times \cos \phi \dots\dots\dots(2.2)$$

^[1] Aditya Erlangga Putra, Proteksi Arus Lebih Pada Motor Pompa Sentrifugal Menggunakan Rele Arus Lebih, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017, hlm 47

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

2.12 Arus Nominal Motor

Untuk mengetahui arus nominal motor dapat menggunakan rumus :

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

Dimana :

I nominal = Arus nominal motor (Ampere)

P input = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

Cos φ = Faktor daya motor

2.1 Arus Penyetelan Motor

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

Untuk menghitung arus *setting* relay dapat menggunakan rumus :

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

Dimana :

I *setting* = Arus Penyetelan (Ampere)

Range setpoint = batas *setpoint* arus penyetelan

I nominal = Arus nominal motor (Ampere)

2.2 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 :

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

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>Long Time Inverse</i>	120	1	0.200

