



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah pembangkit listrik yang mengubah energi kinetik dari uap panas bertekanan tinggi menjadi energi listrik. PLTU membutuhkan panas yang cukup untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang dapat memutar turbin sehingga menghasilkan listrik. Sehingga, secara prinsip PLTU adalah alat yang diciptakan dengan memanfaatkan panas yang dapat diubah menjadi uap bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik.

PLTU merupakan salah satu teknologi dasar bagi pembangkitan listrik. Teknologi PLTU hampir dipakai oleh semua pembangkit berbasis thermal (suhu tinggi). Bahkan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang katanya salah satu energi baru terbarukan juga memanfaatkan teknologi PLTU. Pembangkit yang tidak menggunakan teknologi PLTU adalah : Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), sebagian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO), dan beberapa pembangkit lainnya. Energi primer atau bahan bakar yang dapat digunakan untuk proses pembentukan uap adalah sebagai berikut:

1. Gas (gas alam, hidrogen, biogas dan gas lainnya)
2. Minyak bumi dan produk turunannya
3. Biomassa
4. Nuklir
5. Geothermal (panas bumi)
6. Batu bara

Ada 4 Proses utama dalam proses konversi energi di PLTU, yaitu:

1. Proses menghasilkan uap

Air yang telah melalui proses demineralisasi dan kondensasi akan disuplai ke steam drum yang ada di boiler. Kemudian dilakukan proses pemanasan dengan energi primer yang dipilih, bisa batubara atau energi primer lainnya. Pemanasan dilakukan untuk menghasilkan uap yang diinginkan.



2. Proses konversi energi panas menjadi energi kinetik

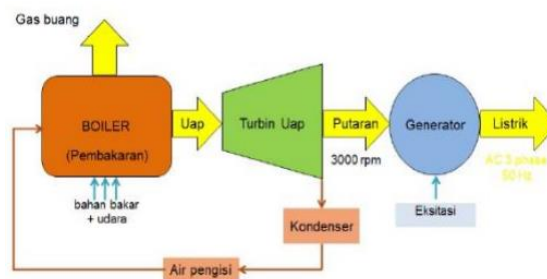
Uap hasil dari proses produksi uap, dengan tekanan dan temperatur tertentu dialirkan ke turbin. Uap terus dialirkan sehingga mampu menggerakkan turbin. Disinilah terjadi proses konversi energi panas menjadi energi kinetik.

3. Proses konversi energi kinetik menjadi energi listrik

Poros generator yang dikopel langsung dengan poros turbin akan berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, yang kemudian energi listrik tersebut dialirkan ke terminal output generator.

4. Proses kondensasi Uap

bekas penggerak turbin masuk ke pendingin atau kondensor untuk dijadikan menjadi air kembali yang disebut air kondensat. Pendinginan dapat menggunakan air dingin yang didapat dari air laut, air danau, atau waduk. Dibutuhkan air dalam jumlah besar agar proses pendinginan dapat terjadi secara efektif. Air kondensat ini kemudian digunakan lagi untuk mengisi steam drum boiler.



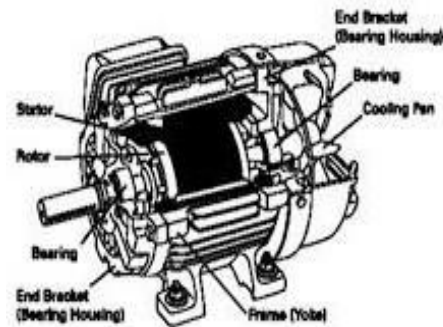
Gambar 2.1 Proses Konversi Energi di PLTU

2.2 Motor Listrik¹

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energy listrik menjadi energi gerak (mekanik). Energi mekanik ini digunakan untuk kebutuhan beban seperti, memutar *impeller pompa*, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat beban, dan lain-lain. Motor listrik merupakan motor yang paling banyak dijumpai dalam industri. Motor listrik

¹ F.J.Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, TEKNOSAIN, hal 46

sering disebut sebagai “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan motor listrik ini digunakan hingga 70% beban listrik total di industri.



Gambar 2.2 Motor Listrik²

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).

2.3 Steam Turbin Generator

Steam Turbin Generator atau generator turbin uap merupakan generator yang digerakkan² 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 Irwan Iftadi, Kelistrikan Industri, Graha Ilmu, Yogyakarta, hal 191



2.4 Motor Induksi³

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 (n_s). 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 torsi (τ) 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

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



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

2.5 Motor Boiler Feed Water Pump (BFWP)⁴

Boiler Feed Water Pump (BFWP) merupakan salah satu aplikasi penggunaan pompa sentrifugal berukuran besar pada industri pembangkit listrik tenaga uap. Pompa ini berfungsi untuk mengontrol dan mensupply air pada jumlah tertentu yang berasal dari tanki air (*Feed Water Tank*) menuju boiler dengan spesifikasi tekanan tertentu. Air tersebut sebelum masuk ke boiler biasanya mengalami pemanasan awal (*pre-heating*). Sehingga air yang dipompa oleh BFWP juga memiliki temperatur tertentu yang cukup panas.

Dua pompa dari BFWP adalah satu booster pump dan satu main pump / pompa utama. Keduanya menggunakan penggerak tunggal (turbin uap atau motor), yang sumbunya di-couple dengan atau tanpa sistem transmisi tergantung desainnya.

Booster pump memiliki spesifikasi pompa sentrifugal, single flow dan hanya satu stage pompa. Menggunakan mechanical seal serta thrust dan journal bearing untuk menahan gaya-gaya yang terjadi. Sedangkan main pump berspesifikasi pompa sentrifugal, multi-stage, dan single flow. Juga menggunakan mechanical seal serta thrust dan journal bearing. Dan untuk menahan gaya aksial yang besar, digunakan balance drum yang mengambil sebagian kecil air dari sisi outlet pompa untuk dimasukkan ke bagian inlet untuk melawan gaya aksial yang timbul.

⁴ <https://artikel-teknologi.com/pompa-4-boiler-feed-water-pump/>. Diakses pada 10 juli 2020, 23:00 WIB



2.6 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah salah satu tipe pompa yang memanfaatkan energi kecepatan yang kemudian diubah menjadi energi tekanan sehingga dapat menggerakkan fluida cair dari lokasi sumber menuju lokasi target dengan menggunakan impeller. Jadi pompa sentrifugal pada prinsipnya dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida oleh gerakan sudu – sudu yang ada dalam volute. Energi yang dihasilkan dapat menghasilkan head tekanan, head kecepatan dan head potensial pada fluida cair yang mengalir secara kontinu. .

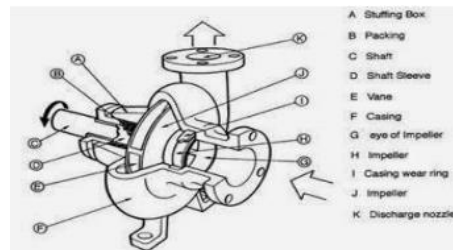


Gambar 2.3 Pompa Sentrifugal

Pompa digerakkan oleh motor. Daya dari motor diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeller yang terpasang pada poros tersebut. Zat cair yang ada didalam impeller akan ikut berputar karena dorongan sudu-sudu. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller keluar melalui saluran diantara sudu – sudu dan meninggalkan impeller dengan kecepatan tinggi. Zat cair yang keluar dari impeller dengan kecepatan tinggi ini kemudian akan keluar melalui saluran yang penampangnya makin membesar (*volute/difuser*) sehingga terjadi perubahan dari head kecepatan menjadi head tekanan. Oleh sebab itu zat cair yang keluar dari flens pompa memiliki head total yang lebih besar.



Secara umum bagian-bagian utama pompa sentrifugal dapat dilihat seperti gambar berikut :⁵



Gambar 2.4 Bagian – Bagian Pompa Sentrifugal

Tabel 2.1 Bagian – Bagian Pompa Sentrifugal dan Fungsinya

Bagian	Fungsi
Stuffing Box	Stuffing Box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.
Packing	Digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.
Shaft (poros)	Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.
Shaft sleeve	Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada stuffing box. Pada pompa multi stage dapat sebagai leakage joint, internal bearing dan interstage atau distance sleeve.
Vane	Sudu dari impeller sebagai tempat berlalunya cairan pada

⁵ <http://www.maritimeworld.web.id/2014/04/apa-yang-dimaksud-dengan-pompa-centrifugal.html>.

Diakses pada 2 agustus 2020 , 10:00 WIB



	impeller
Casing	Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffusor (guide vane), inlet dan outlet nozel serta tempat memberikan arah aliran dari impeller dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (single stage).
Eye of Impeller	Bagian sisi masuk pada arah isap impeller
Impeller	Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.
Wearing Ring	Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeller.
Bearing	Bearing (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. Bearing juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.

Motor pompa sentrifugal merupakan suatu bagian dari sistem sirkulasi yang ada di banyak pabrik atau industri. Dengan digerakkan oleh motor induksi, pompa sentrifugal dapat menjalankan kerjanya dengan cara memompa fluida dengan kecepatan putar motor sehingga fungsional dari pompa ini bermacam – macam sesuai pengaplikasiannya di setiap industri.



2.7 Gangguan Pada Motor Pompa Sentrifugal

Dalam kondisi kerja normal, temperatur motor yang pada kondisi baik cenderung konstan dan saat terjadi ketidakberesan karena pengaruh elektrik atau mekanik maka akan terjadi kenaikan temperatur. Pada beberapa tipe motor, terdapat batasan kenaikan temperatur maksimal yang boleh diijinkan, namun apabila terjadi kenaikan yang diluar diijinkan motor, harus segera berhenti atau terlepas dari sumber agar kerusakan yang lebih fatal dapat dihindari.

Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa Non-Positif Displacement Pump (Dynamic) yang berarti energi yang diberikan secara terus menerus untuk meningkatkan kecepatan cairan yang berada dipompa saat mendekati discharge kecepatan cairan tersebut diubah menjadi tekanan. Pompa sentrifugal adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan fluida yang berupa cairan dari suatu tempat ke tempat lain melalui media pipa (saluran) dan berlangsung secara kontinyu dengan cara menambah energi pada cairan yang akan dipindahkan dengan sumber tenaga (driver) motor listrik atau steam turbin. Prinsip Kerja Pompa sentrifugal merubah energi mekanis yang berasal dari penggerak menjadi energi Kinetis (kecepatan) pada cairan melalui sudu-sudu pompa, kemudian merubah energi kinetis tersebut dirubah menjadi energi potensial (dinamis). Gangguan yang sering terjadi pada motor pompa sentrifugal yaitu :

- a. Gangguan arus lebih yang terdiri dari arus lebih hubung singkat dan arus beban lebih, gangguan ini disebabkan oleh beban lebih.
- b. Gangguan dari komponen mekanis motor, gangguan ini lebih bersifat kepada gangguan pada bearingnya, fan pendingin dan lain – lain, jika dibiarkan dalam waktu yang lama sangat berbahaya bagi motor tersebut.



2.8 Rele Proteksi⁷

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 Listrik⁸

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 :

⁷ Hazairin Samaulah, 2004, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, Universitas Sriwijaya, hal 70

⁸ Aditya Erlangga Putra, Proteksi Arus Lebih Pada Motor Pompa Sentrifugal Menggunakan Rele Arus Lebih, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017, hal 30-32



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)
 - 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.

2.8.2 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 Proteksi⁹

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

1. Kepekaan (*sensitivitas*)

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

2. Keandalan (*reliability*)

Maksud dari keandalan adalah bahwa sebuah rele proteksi harus selalu

⁹ F.J. Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Teknosain, 2017, hal 151-153



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.

3. 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.

4. 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

5. Sederhana (*simplicity*)

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



6. 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 Lebih¹⁰

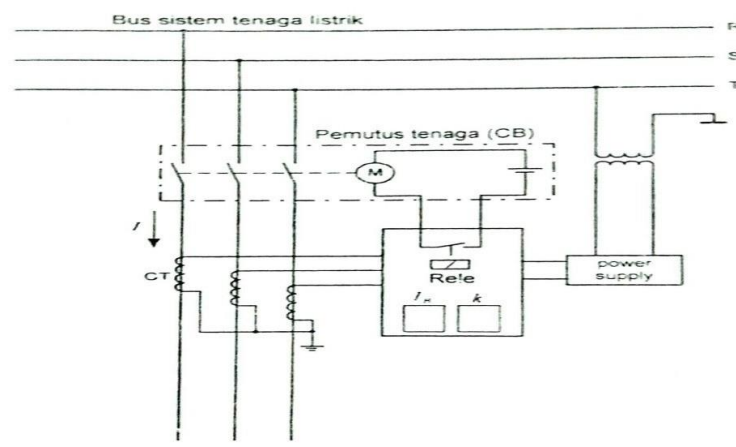
Rele arus lebih adalah suatu rele dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu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



Gambar 2.5 Rele Arus Lebih

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.

¹⁰ Muhammad Taqiyyuddin Alawiy, Proteksi Sistem Tenaga Listrik : Seri Relay Electromagnetic, Universitas Islam Malang, 2006, hal 20



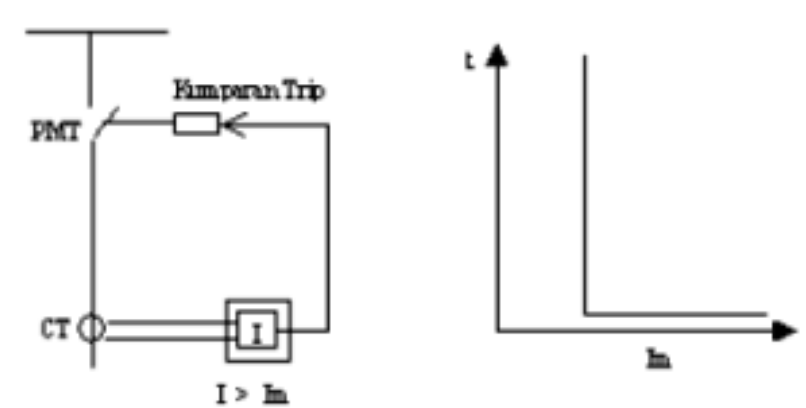
Gambar 2.6 Diagram Garis Rele Arus Lebih

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

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). Dapat kita lihat pada gambar berikut ini.



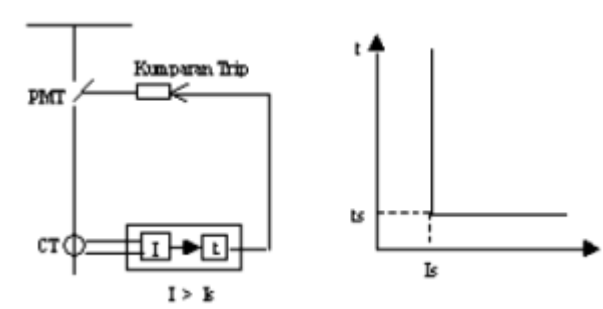
Gambar 2.7 Karakteristik Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)



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*)

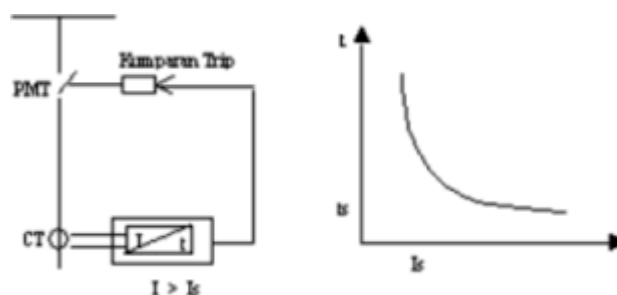
Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, lihat gambar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



Gambar 2.8 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.

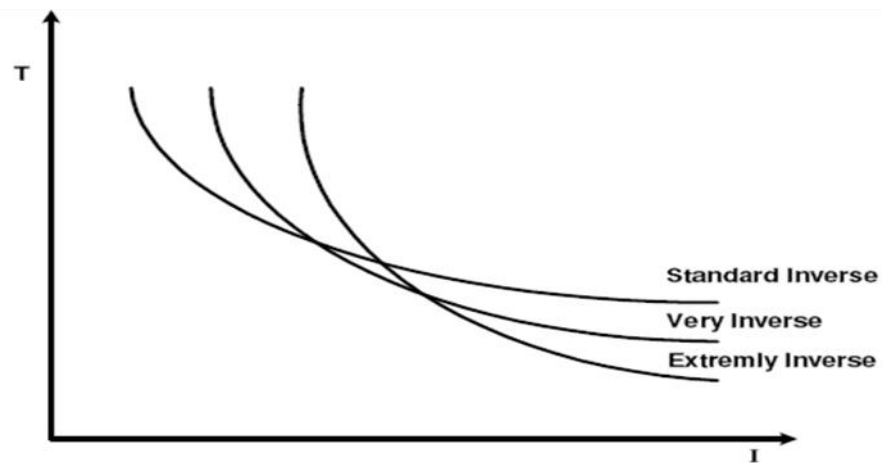


Gambar 2.9 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik



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 2.10 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 nominal yang terdapat pada spesifikasi ataupun *nameplate* motor dan juga harus mengetahui berapa nilai dari tegangan operasi motor, dan power factor ($\text{Cos } \varphi$) motor. Untuk mengetahui daya input motor dapat menggunakan rumus :

$$I_{\text{input}} = \frac{P_{\text{nominal}}}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos } \varphi} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- I_{input} = Arus masukan pada motor (*Ampere*)
 V = Tegangan operasi motor (*Volt*)
 P_{output} = Daya output motor (*Watt*)
 $\text{Cos } \varphi$ = 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 :

$$P_{\text{input}} = V \times I_{\text{nominal}} \times \sqrt{3} \times \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- P_{input} = Daya masukan motor (*Watt*)
 V = Tegangan operasi motor (*Volt*)
 I_{nominal} = Arus nominal motor atau *full load ampere* (*Ampere*)
 $\text{Cos } \varphi$ = Faktor daya motor



2.12 Efisiensi Motor

Untuk mencari arus nominal dengan menggunakan daya output perlu diketahui juga efisiensi dari motor tersebut menggunakan rumus :

$$eff = \frac{P_{input}}{P_{nominal}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Eff = efisiensi motor

P_{input} = daya masukan motor (Watt)

$P_{nominal}$ = daya pada nameplate motor (Watt)

2.13 Arus Nominal Motor

Untuk mengetahui arus nominal motor dapat menggunakan rumus :

$$I_{nominal} = \frac{P_{output}}{\sqrt{3} \times V \times eff \times \cos\phi} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$I_{nominal}$ = Arus nominal pada motor (*Ampere*)

V = Tegangan operasi motor (*Volt*)

P_{output} = Daya output motor (Watt)

eff = efisiensi motor

$\cos\phi$ = Faktor daya motor

2.14 Arus Penyetelan Motor

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

Untuk menghitung arus *setting* relay dapat menggunakan rumus :

$$I_{setting} = range\ setpoint \times I_{nominal} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :



$I_{setting}$ = Arus Penyetelan (Ampere)

Range setpoint t = batas setpoint arus penyetelan

$I_{nominal}$ = Arus nominal motor (Ampere)

2.15 Penyetelan Waktu Trip Motor

Untuk penyetelan waktu *trip*, digunakan standar kurva IEEE. Berikut adalah rumus penyetelan waktu *trip* sesuai dengan standar IEEE :

$$T_d = \left[\frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} + B \right] \times \frac{T}{\beta} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

T_d = Waktu *trip* (s)

A, B, p = Konstanta standar IEEE

I = Arus nominal (Ampere)

I_s = Arus *setting* (Ampere)

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

Tabel 2.2 Konstanta Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Long Time Inverse</i>	120	1	0.200