

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam keadaan operasi suatu sistem tenaga listrik kadang-kadang mengalami gangguan yang dapat merusak peralatan dalam sistem tenaga itu sendiri, sehingga perlu dilakukan pemasangan sistem proteksi. Tujuan proteksi adalah untuk mengamankan suatu peralatan dan manusia serta pengisolasian gangguan dari sistem kelistrikan yang menyeluruh (jaringan), sehingga tidak merambat sampai pada jaringan yang tidak mengalami gangguan, sehingga kerugian atau kerusakan dapat diminimalisir.

2.2 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah suatu alat yang mendeteksi kondisi tidak normal yang mungkin terjadi dalam sistem dengan cara mengukur besaran listrik yang berbeda pada keadaan normal dan pada keadaan gangguan. Jadi, rele proteksi akan bekerja pada sistem yang mengalami gangguan untuk mencegah kerusakan peralatan pada sistem dengan cara melokalisir daerah gangguan sekecil mungkin.

Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi agar rele proteksi dapat bekerja dengan baik adalah sebagai berikut :

a. Andal (*reliability*)

Relay proteksi harus selalu ada dalam kondisi yang “**dapat diandalkan**”. Andal adalah bahwa sebuah rele proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan proteksi pada alat. Disadari bahwa relay hanya bekerja pada saat-saat tertentu saja. Jangan sampai terjadi bahwa rele proteksi tidak dapat bekerja pada saat gangguan terjadi atau bahkan sudah bekerja walau tidak terdapat suatu gangguan sekalipun.

Keandalan suatu rele proteksi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Trafo arus atau trafo tegangan yang tidak bekerja dengan baik. Juga sumber DC (batere) sebagai penggerak circuit breaker (CB).
- Faktor manusia yang mempengaruhinya antara lain pemeliharaan, sistem instalasi, perencanaan dan lain-lain.

b. Selektif

Rele proteksi diharapkan mempunyai selektivitas yang tinggi. Selektivitas itu sendiri dapat diartikan secara harfiah, dapat dinyatakan sebagai kemampuan untuk memilih. Kemampuan memilih di sini adalah kemampuan untuk mengisolir daerah gangguan dan mengamankan sistem yang masih bekerja. juga diharapkan dapat membedakan keadaan gangguan secara teliti, apakah gangguan itu masih dalam keadaan normal atau sudah melampaui batas yang telah ditetapkan. Secara keseluruhan, rele proteksi diharapkan hanya mengisolir daerah gangguan dan pada saat yang tidak normal saja.

c. Waktu Kerja Rele Cepat (*Speed Of Operation*)

Waktu kerja yang dimaksud di sini adalah waktu yang diperlukan dari mulai gangguan terjadi, hingga bekerjanya circuit breaker untuk mengisolir daerah gangguan. Waktu operasi ini biasanya mempunyai satuan detik atau lebih kecil dari itu.

Rele yang memiliki kecepatan tinggi adalah rele yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms (3 cycle pada sistem 60 Hz). Sedang waktu operasi yang cepat diharapkan karena :

- Waktu yang cepat dapat menghindari kerusakan yang lebih fatal.
- Waktu yang cepat dapat mengamankan sistem dari pengaruh-pengaruh gangguan.

d. Sensitifitas (*Sensitivity*)

Sebuah relay proteksi yang baik diharapkan mempunyai kepekaan kerja yang tinggi. Rele tersebut diharapkan dapat bekerja sedini mungkin, pada saat arus gangguan yang paling kecil (minimum fault current) mengalir pada daerah yang hendak diamankan. Kepekaan ini ditentukan oleh faktor kepekaan (kap) dengan besarnya faktor kepekaan ini adalah tidak boleh kurang dari 1.5 sampai 2.0.

e. Sederhana (*Simplicity*)

Rele proteksi harus disusun sesederhana mungkin dan tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya. Penambahan unit atau komponen yang mungkin meningkatkan proses namun tidak terlalu penting dalam sistem harus dipertimbangkan dengan seksama karena setiap penambahan akan meningkatkan sumber masalah dan tambahan pemeliharaan.

Sangat penting untuk menghasilkan suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maximum dengan harga yang minimum. Sistem proteksi akan terlihat mahal bila dilihat sebagai sesuatu yang berdiri sendiri, namun bila pertimbangannya adalah besar biaya dari sistem peralatan yang dilindungi, dan biaya yang harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

2.3 Fungsi Rele

Rele proteksi merupakan suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan penting, yaitu :

- a. Memberikan sinyal alarm atau melepas PMT / CB dengan tujuan mengisolir gangguan pada kondisi abnormal seperti adanya beban lebih, tegangan rendah, kenaikan suhu, beban yang tidak seimbang, frekuensi rendah, hubung singkat, dan kondisi abnormal lainnya.
- b. Melepas atau mentrip peralatan yang tidak berfungsi normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.

- c. Melepas atau mentrip peralatan yang mengalami gangguan dengan tujuan menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan unjuk kerja sistem.
- d. Melokalisir penyebaran terjadinya gangguan pada peralatan yang lain di sekitarnya.

Jadi secara umum, fungsi dari rele proteksi adalah :

- Mengamankan peralatan beserta manusianya.
- Mencegah terjadinya kerusakan pada alat atau sistem.
- Melokalisir meluasnya gangguan pada sistem.

2.4 Thermal Overload Relay

Thermal Overload Relay adalah proteksi beban lebih (arus lebih) dimaksudkan untuk melindungi motor dan perlengkapan kendali motor, terhadap pemanasan berlebihan sebagai akibat beban lebih. Rele ini digunakan baik sebagai peralatan pengaman utama maupun sebagai cadangan, dan digunakan disetiap zona proteksi sistem tenaga. Rele ini berfungsi mendeteksi adanya beban lebih yang mengalir pada jaringan yang diamankan. Rele akan bekerja apabila ada temperatur yang dirasakan rele proteksi melebihi nilai setting, Temperatur lebih bisa terjadi karena adanya beban lebih.

Rele ini dihubungkan dengan kontaktor pada kontak utama 2, 4, 6 sebelum ke beban (motor listrik). Gunanya untuk mengamankan motor listrik atau memberi perlindungan kepada motor listrik dari kerusakan akibat beban lebih.

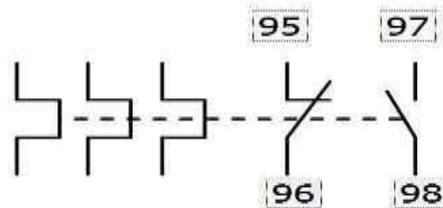
Beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain:

- Arus start yang tertalu besar atau motor listrik berhenti secara mendadak
- Terjadinya hubung singkat
- Terbukanya salah satu fasa dari motor listrik 3 fasa.

2.4.1 Prinsip Kerja Thermal Overload Relay

Thermal Overload Relay bekerja saat arus pada beban melebihi dari batas penggunaannya dan TOR mengamankan/memutuskan beban tersebut apabila mengakibatkan panas yang melebihi batas, jadi TOR ini terdapat sebuah setingan berapa maksimum ampere untuk melakukan trip jika *ampere* tersebut sudah terpenuhi. Didalam TOR tersebut ada sebuah Bimetal Element yang menjadi panas saat *ampere* beban sudah melebihi *ampere* setingan TOR.

Disebut *Thermal* yaitu suhu, sama seperti kabel yang hanya mampu dilewati arus 5A tetapi bebanya 10A maka kabel tersebut akan panas. seperti halnya TOR ini prinsip kerjanya sama tetapi bedanya ketika suhu tersebut terpenuhi maka akan menggerakkan sebuah *coil* untuk menutup atau membuka kontak yang ada di TOR tersebut.

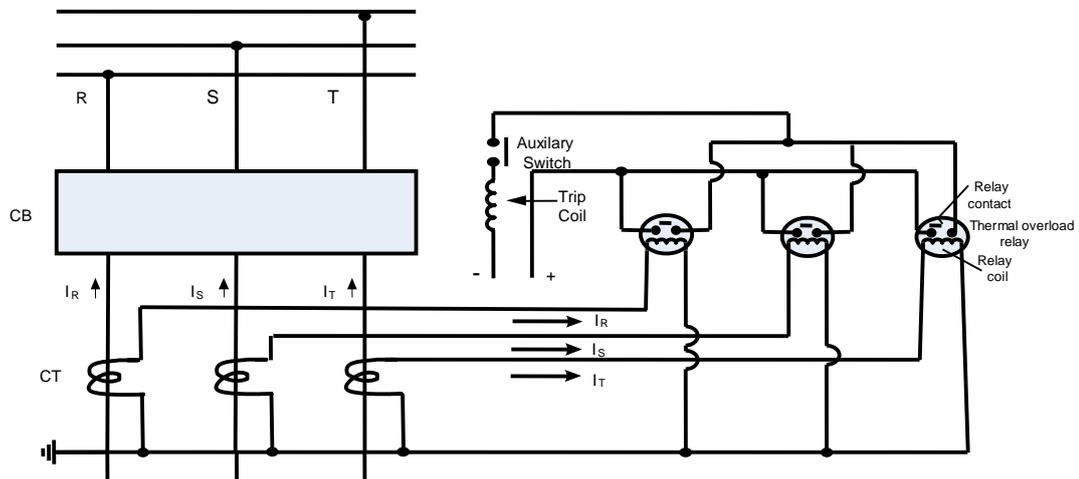


Gambar 2.1 Simbol Thermal Over Load

Terminal	Kontak
95-96	NC
97-98	NO

Gambar 2.2 Kontak Thermal Overload

Secara umum prinsip kerja dari rele thermal overload dapat dijelaskan menurut gambar berikut :



Gambar 2.3 Prinsip kerja rele thermal overload

Pada saat normal, arus sekunder (I_R, I_S, I_T) mengalir pada kumparan rele. Rele belum bekerja karena arus sekunder itu masih ada dibawah harga arus mula rele. Pada saat gangguan terjadi, misalnya pada phasa R maka arus sekunder I_R akan naik. Jika harga kenaikan ini melebihi batas (arus mula) dari rele maka rele pada phasa R akan bekerja untuk menggerakkan circuit breaker.

Salah satu syarat dari kerja rele pengaman termasuk rele thermal overload lebih adalah cepat dan sensitive. Kecepatan berhubungan dengan waktu kerja rele. Semakin cepat rele bekerja semakin baik. Sensitivity berhubungan dengan ketelitian rele dalam mengukur besaran yang diukur.

2.4.2 Karakteristik Thermal Overload Relay

- a. Terdapat konstruksi yang berhubungan langsung dengan terminal kontaktor magnet.
- b. Full automatic function, Manual reset, dan memiliki pengaturan batas arus yang dikehendaki untuk digunakan.
- c. Tombol trip dan tombol reset trip, dan semua sekerup terminal berada di bagian depan.
- d. Indikator trip.
- e. Mampu bekerja pada suhu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau $(-13\text{ }^{\circ}\text{F}$ hingga $+131\text{ }^{\circ}\text{F})$.

Thermal overload relay (TOR) mempunyai tingkat proteksi yang lebih efektif dan ekonomis, yaitu:

- Pelindung beban lebih / Overload
- Melindungi dari ketidakseimbangan fasa / Phase failure imbalance
- Melindungi dari kerugian / kehilangan tegangan fasa / Phase Loss.

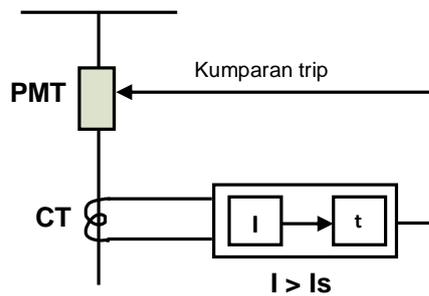
Dalam hubungannya dengan kecepatan dan sensitivitas dari rele ada beberapa karakteristik dari rele tersebut, yaitu :

a. Karakteristik waktu Definite

Karakteristik waktu kerja rele ini adalah tidak tergantung besarnya arus gangguan. Apabila arus dan temperatur telah mencapai atau melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dengan waktu sesuai setting waktunya, yang diseting dalam jenis rele ini adalah arus dan waktu tundanya.

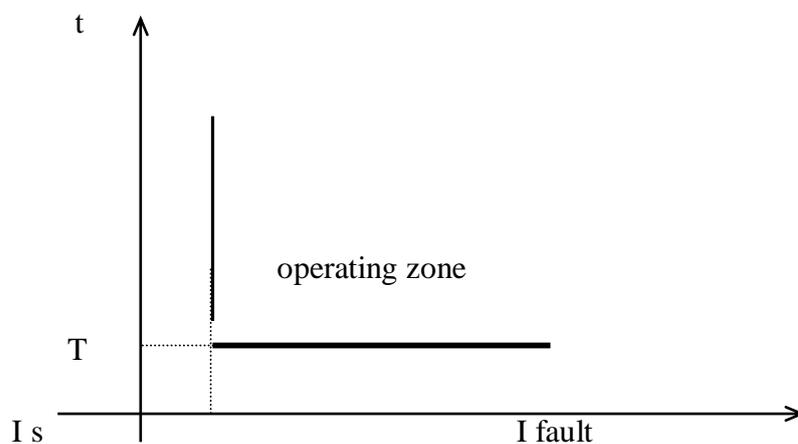
Keuntungan dan kerugian karakteristik ini adalah :

- Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu (grading time).
- Tidak terpengaruh perubahan kapasitas pembangkit.
- Semakin dekat ke sumber waktu kerja semakin panjang.



Gambar 2.4 Diagram satu garis karakteristik waktu definite

Secara grafis dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2.5 Grafik karakteristik waktu tripping definite

Dimana :

I_s : Thershold Arus pada saat bekerja

T : Proteksi Waktu Tunda saat bekerja

I_{fault} : Kegagalan arus

Misalkan suatu rele dengan setting arus 5 ampere dan setting waktu 1 second, maka apabila ada arus yang mengalir kurang dari 5 Ampere, rele tidak bekerja. Apabila arus lebih dari 5 ampere tetapi waktu kurang dari 1 second rele.

Pick up tetapi tidak trip. Arus lebih dari 5 ampere dan waktu lebih dari 1 second rele akan trip.

Keuntungan dan kerugian karakteristik ini adalah :

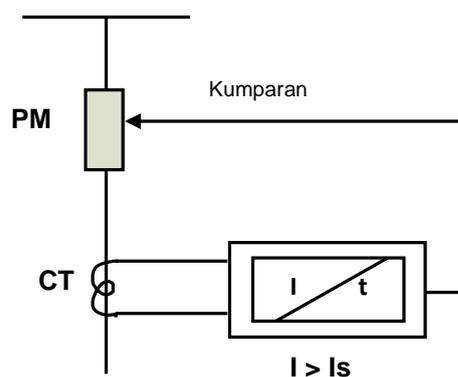
- Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu (grading time).
- Tidak terpengaruh perubahan kapasitas pembangkit.
- Semakin dekat ke sumber waktu kerja semakin panjang.

b. Karakteristik waktu Inverse

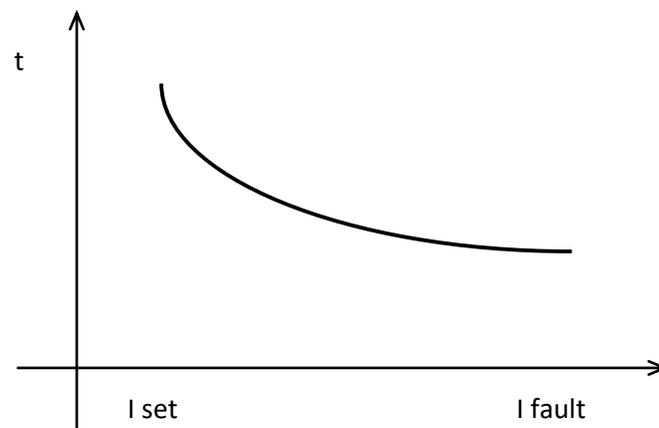
Rele ini mempunyai karakteristik semakin besar arus gangguan semakin cepat rele bekerja. Semakin kecil arus gangguan semakin lambat rele bekerja, dengan catatan arus gangguan telah melampaui seting arusnya.

Keuntungan dan kerugian karakteristik ini adalah :

- Sebagai pengaman banyak saluran, inverse time dapat menekan akumulasi waktu, yang berarti dapat memberi pengaman yang cepat baik diujung saluran maupun dekat sumber.
- Sensitif terhadap perubahan pembangkit.
- Perlu perhitungan yang teliti terutama untuk kapasitas pembangkit yang berubah-ubah.



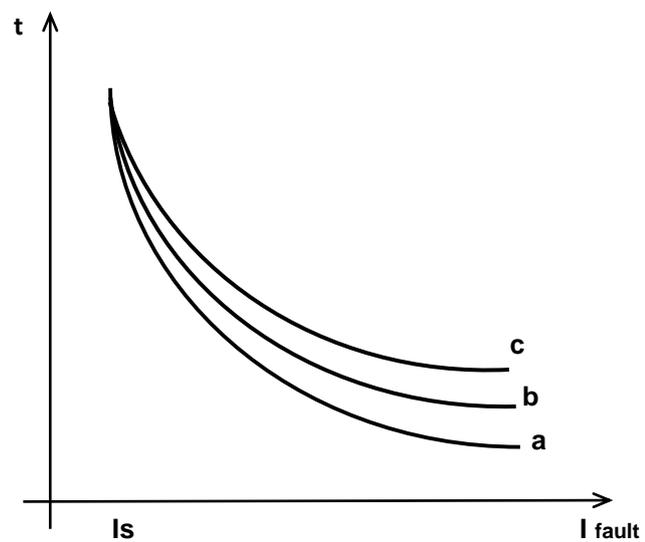
Gambar 2.6 Diagram satu garis karakteristik Thermal Overload Relay waktu inverse



Gambar 2.7 Grafik karakteristik waktu inverse

Karakteristik inverse ini mempunyai 4 macam yaitu (Standard IEC) :

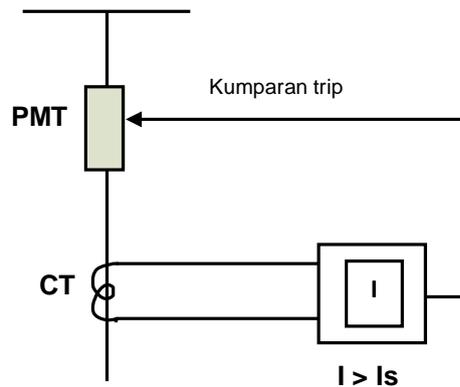
- a. Standard Inverse (SI)
- b. Very Inverse (VI)
- c. Extremely Inverse (EI)



Gambar 2.8 Grafik karakteristik waktu

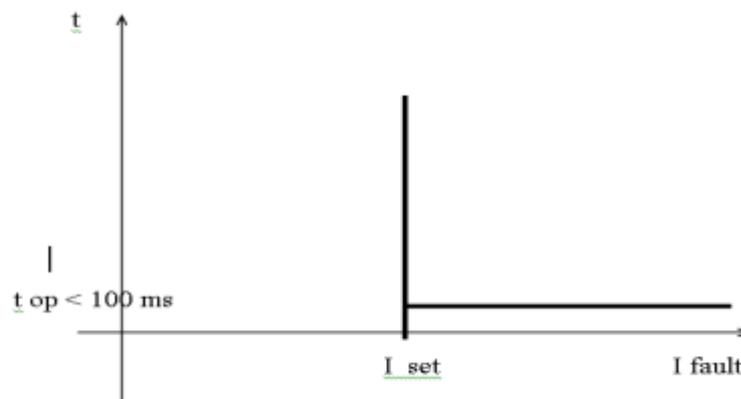
c. Karakteristik waktu Instant

Karakteristik waktu kerja dari rele ini adalah tanpa tunda waktu. Berapapun besarnya arus, bilamana sudah melampaui settingnya, maka relay akan trip dengan waktu mendekati nol detik (di bawah 100 ms). Biasanya rele ini digunakan untuk arus gangguan yang besar atau untuk rele yang tidak membutuhkan koordiansi waktu dengan rele yang lain.



Gambar 2.9 Diagram satu garis karakteristik Thermal Overload Relay waktu Instant

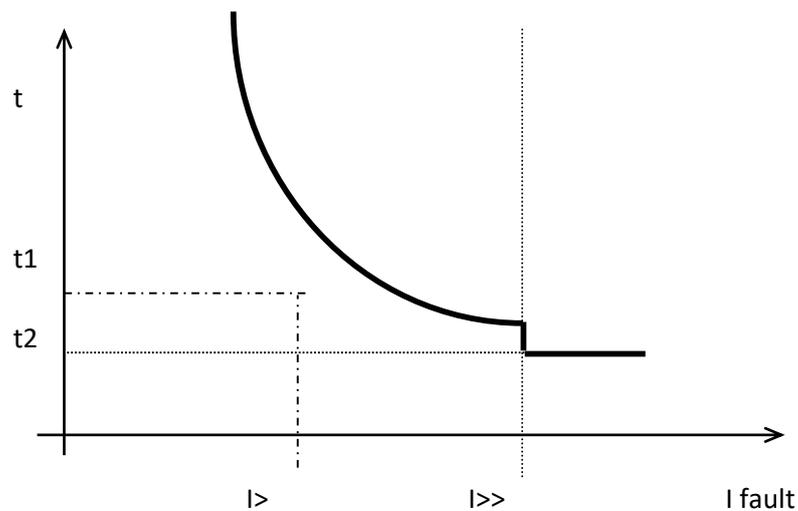
Grafik dari karakteristik ini adalah seperti gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Grafik karakteristik Thermal overload waktu Instant

d. Karakteristik IDMT (Inverse Definite Minimum Time Rele)

Karakteristik rele ini adalah mempunyai bagian inverse untuk arus yang kecil dan karakteristik definite untuk arus yang besar. Jadi makin besar arus makin cepat rele bekerja tetapi mempunyai waktu tunda minimum yang tidak lagi tergantung pada arus gangguan.



Gambar 2.11 Grafik karakteristik IDMT

2.5 Perhitungan Setting Rele Thermal Overload

Untuk mencari setting Arus:

$$I = I_b \cdot \sqrt{E S_2} \quad \dots\dots\dots (2.1)^1$$

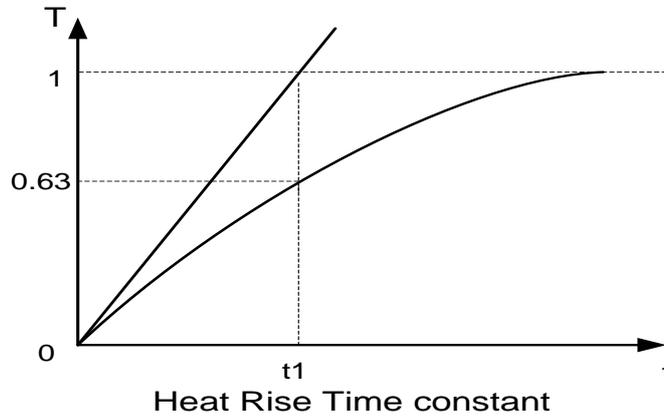
Pada settingan kenaikan temperature ada dua set point yang ada :

- Es₁ : Alarm set point
- Es₂ : Tripping set point
- Ib : Arus base

¹ Tri Ompu Arisikam, "Analisa Sistem Kerja Tripping Time Rele Thermal Overload Sebagai Proteksi pada Motor Propane Compressor Di Petrochina International Jabung Ltd", Skripsi S1 Kearsipan Fakultas Teknik, Universitas Tridnanti Palembang, 2012, hlm.18.

- I : Arus

Gangguan thermal overload berhubungan dengan kenaikan temperatur (heat rise) pada saat motor dibebani lebih :



Gambar 2.12 Grafik Kenaikan Temperatur

Dimana:

$$\frac{t}{T_1} = K \dots\dots\dots (2.2)^2$$

Keterangan :

- t : Waktu trip pada saat hot curve
- T₁ : Waktu tripping time
- K : konstanta
- I_{eq} : Arus overload terus menerus sebesar 10% dari I_b
- I_b : Arus Base
- ts₂ : Tripping Set Point

² Tri Ompu Arisikam, "Analisa Sistem Kerja Tripping Time Rele Thermal Overload Sebagai Proteksi pada Motor Propane Compressor Di Petrochina International Jabung Ltd", Skripsi S1 Kearsipan Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang, 2012,hlm.19.

Beberapa hal perlu diperhatikan misalnya tidak menghiraukan berapa nilai arusnya pada name plate. Ada dua hal penting yang perlu kita perhatikan yaitu daya dalam KW (Kilowatt) maupun HP (Horse power) dan Tegangannya dalam Volt.

Untuk mencari arus nominalnya dengan rumus turunan daya semu 3 fasa yaitu :

$$I = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.3)^3$$

Dan juga untuk mencari arus beban, dapat menggunakan rumus :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\alpha} \dots\dots\dots (2.4)^4$$

Arus yang terlalu besar yang timbul pada beban motor listrik akan mengalir pada beban motor listrik akan mengalir pada belitan motor listrik yang dapat menyebabkan kerusakan dan terbakarnya belitan motor listrik. Untuk menghindari hal itu dipasang termal beban lebih pada alat pengontrol.

TOR bekerja berdasarkan prinsip pemuaian dan benda bimetal. Apabila benda terkena arus yang tinggi, maka benda akan memuai sehingga akan melengkung dan memutuskan.

Untuk mengatur besarnya arus maksimum yang dapat melewati TOR, dapat diatur dengan memutar penentu arus dengan menggunakan obeng sampai didapat harga yang diinginkan.

Besarnya arus yang diperlukan untuk mengerjakan bimetal sebanding dengan besarnya arus yang diperlukan untuk membuat alat pengaman terputus.

³ William H.Hayt,Jr.,Jack E. Kemmerly, dan Steven M.Durbin,"Rangkaian Listrik" Edisi Keenam,hlm.378.

⁴ William H.Hayt,Jr.,Jack E. Kemmerly, dan Steven M.Durbin,"Rangkaian Listrik"Edisi Keenam,hlm.377.

2.6 Peralatan dan perlengkapan Motor IDF (KM – 84 – 002) Furnace CDU IV Di PT.Pertamina RU III Plaju

a. Stator (Bagian Motor Yang Diam)

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

$$N_s = \frac{120 f}{P} \dots\dots\dots (2.1)^5$$

Dimana :

N_s = Kecepatan Sinkron (rpm)

f = Besarnya Frekuensi (Hz)

P = Jumlah Kutub Konstruksi

stator motor induksi sendiri terdiri atas beberapa bagian yaitu :

1. Bodi Motor
2. Inti Kutub magnet dan lilitan penguat magnet
3. Slip ring

Bentuk konstruksi stator motor induksi dapat kita lihat pada gambar 2.13

⁵ F.Suryatmo, "Dasar-dasar teknik listrik" (Penerbit: Rineka Cipta) ,hlm.267.



Gambar 2.13 Stator

- Bodi Motor

Fungsi utama dari bodi atau gandar motor adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub – kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat – alat tertentu dan melindungi bagian – bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

- Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

- Sikat-sikat dan Pemegang Sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber dan biasanya terbuat dari bahan arang. Dibawah ini menunjukkan kelompokkelompok tingkatan sikat, antara lain :

- a. Sikat grafit alam
- b. Sikat karbon keras
- c. Sikat elektrografit
- d. Sikat grafit logam
- e. Sikat karbon logam

Sikat-sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang. Aus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang – sikat). Bagian puncak dari sikat diberi pelat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Satu atau dua pengantar yang fleksibel dibenamkan ke dalam sikat untuk menghantarkan arus dari sikat ke jepitan dari pemegang sikat bila sikat – sikat terdapat pada kedudukan yang benar, maka baut harus dieratkan sepenuhnya. Ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Gagang sikat (pemegang sikat) berguna untuk menimbulkan tekanan yang diperlukan antara sikat. Ketiadaan bunga api pada komutator banyak tergantung pada perakitan dan pemasangan gagang sikat. Tiap – tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan pada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

b. Rotor (Bagian Motor yang Bergerak)

Berdasarkan hukum faraday tentang induksi magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan menginduksikan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi ggl induksi ini sama dengan frekuensi jala-jala. Besar ggl induksi ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar – penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian laju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz. Arahnya melawan fluksi yang menginduksi, dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator, untuk mengurangi beda kecepatan diatas. Jika rotor dibebani, maka putaran rotor akan turun sehingga terjadi perbedaan kecepatan putaran antara rotor dan stator, perbedaan kecepatan putaran ini disebut slip.

2.7 Perhitungan Kenaikan Temperatur Motor Induksi

2.7.1 Perhitungan Impedansi motor

Untuk menentukan resistansi motor, maka terlebih dahulu ditentukan impedansi motor induksi dengan menggunakan persamaan dasar sebagai berikut :

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.5)^6$$

dan juga bisa didapat

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2.6)^7$$

Keterangan :

- Z : Impedansi motor
- V : Tegangan per phasa
- I : Arus motor
- R : Resistansi
- X : Reaktansi

2.7.2 Perhitungan temperatur kerja motor.

$$C_{ki} = C_2 - C_1 \dots\dots\dots (2.7)^8$$

Keterangan :

- C_{ki} : Temperatur kerja motor
- C_1 : Temperatur Ambien
- C_2 : Temperatur kelas isolasi kumparan motor

⁶Trevor Linsley, "Instalasi listrik tingkat lanjut ", hlm.113.

⁷ Trevor Linsley, "Instalasi listrik tingkat lanjut ", hlm.113.

⁸ Tri Ompu Arisikam, "Analisa Sistem Kerja Tripping Time Rele Thermal Overload Sebagai Proteksi pada Motor Propane Compressor Di Petrochina International Jabung Ltd", Skripsi S1 Kearsipan Fakultas Teknik, Universitas Tridnanti Palembang, 2012, hlm.60.

$$C_{km} = C_{hs} - C_1 \quad \dots\dots\dots (2.8)^9$$

Keterangan :

- C_{km} : Temperatur rugi-rugi daya pada kumparan
- C_{hs} : Temperatur Hot-spot kumparan motor
- C_1 : Temperatur Ambien

2.8 Hubung Singkat Pada Motor Induksi

Pengukuran hubung singkat pada motor induksi hampir sama dengan pengukuran hubung singkat pada transformator. Pada kondisi hubung singkat arus input (I_{SC}) hanya dibatasi oleh Z_{ek} dari belitan stator. Sehingga bila diberi V_n , maka I_{SC} akan besar sekali (3 s.d. 7 X I_n) untuk itu hanya dihitung dalam teori.

Daya yang diserap pada percobaan hubung singkat adalah:

- rugi daya pada belitan stator
- rugi daya pada belitan rotor
- rugi daya tambahan pada tembaga rotor.

Daya hubung singkat dapat dihitung dengan rumus:

$$P_{sc} = V_{sc} \cdot I_{sc} \cdot \cos\phi \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk Menghitung arus hubung singkat pada motor dapat menggunakan rumus:

$$SCA_m = 5 \times \frac{\text{Motor rated kW(kVA)}}{\sqrt{3} \times \text{motor rated V}} \quad \dots\dots\dots (2.10)^{10}$$

Hasil dari test hubung singkat ditranfer ke suhu kerja (75 °C)

⁹ Tri Ompu Arisikam, "Analisa Sistem Kerja Tripping Time Rele Thermal Overload Sebagai Proteksi pada Motor Propane Compressor Di Petrochina International Jabung Ltd", Skripsi S1 Kearsipan Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang, 2012,hlm.60.

¹⁰ Gunawan Ara, "Studi Evaluasi Sistem Proteksi Cooling Tower Pump pada Instalasi Kelistrikan PT.Pertamina Refinery Unit III Palembang", Skripsi S1 Kearsipan Fakultas Teknik,Unand,hlm.44.

