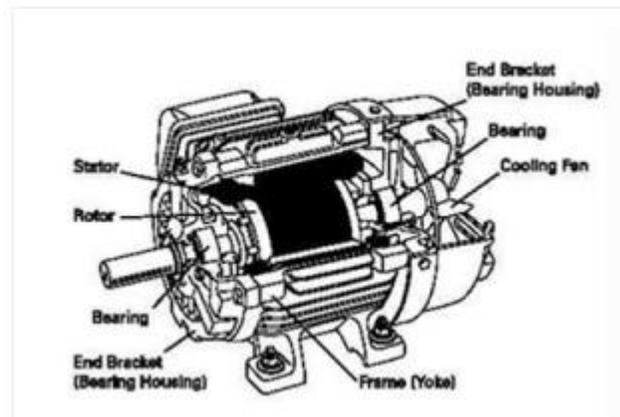

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum⁶

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industry.



Gambar 2.1 Motor Listrik

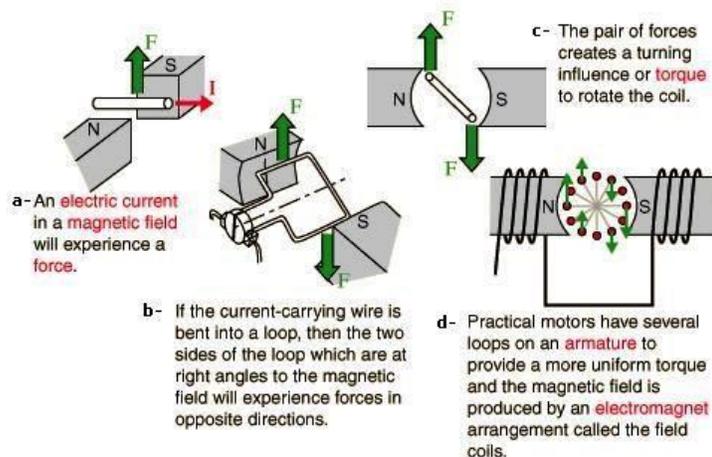
2.2 Prinsip Kerja Motor Listrik

Prinsip kerja motor listrik pada dasarnya sama untuk semua jenis motor secara umum :

⁶ <http://libratama.com/pengertian-motor-listrik/>



- 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 menghasilkan tenaga putar/ torque untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Motor Listrik

2.3 Bagian Motor Listrik dan Fungsinya ⁷

2.3.1. Stator

Stator ini termasuk dalam komponen utama dari motor listrik. Karena komponen tersebut akan langsung bersinggungan dengan sebuah kinerja motor. Stator

⁷ <https://www.otoflik.com/komponen-motor-listrik-fungsinya/>



ini merupakan sebuah lilitan tembaga statis dan biasanya terletak untuk mengelilingi sebuah poros utama. Fungsi dari stator ini yaitu untuk bisa membangkitkan sebuah medan magnet yang terdapat di sekitar rotor.

Komponen ini diketahui terdiri dari beberapa lempengan besi. Lempengan tersebut terlihat dililit oleh sebuah tembaga. Tembaga ini nantinya juga akan dihubungkan dengan sebuah sumber arus. Jadi untuk lilitan tersebut nantinya akan dialiri oleh sebuah arus listrik, sehingga akan menghadirkan kemagnetan di stator. Sebuah motor pada umumnya mempunyai 3 buah stator coil. Hal tersebut tergantung dengan kapasitas motor tersebut. Semakin banyak jumlah lilitan yang ada di kumparan maka akan pastinya akan semakin besar pula medan kemagnetan yang nantinya akan dihasilkan. Hal tersebut tentunya akan sangat mempengaruhi dari kecepatan motor.



Gambar 2.3 Stator Motor Listrik

2.3.2. Rotor

Bagian ini juga terlihat sangat menyerupai stator. Untuk bedanya rotor ini merupakan sebuah lilitan tembaga yang mempunyai sifat dinamis. Hal ini dikarenakan



lilitan tersebut terlihat menempel secara bersama main shaft ataupun ada poros utama sebuah motor yang nantinya akan berputar.

Maka sama halnya dengan sebuah stator coil, maka semakin banyak dari jumlah lilitan di rotor maka pasti akan semakin besar pula sebuah putaran yang nantinya akan dihasilkan. Pada umumnya akan digunakan sebuah tembaga dengan sebuah diameter yang sangat kecil. Ujung lilitannya pasti akan terhubung langsung dengan sebuah rotor yang lainnya yang terletak di bagian ujung dari poros utama.



Gambar 2.4 Rotor Motor Listrik

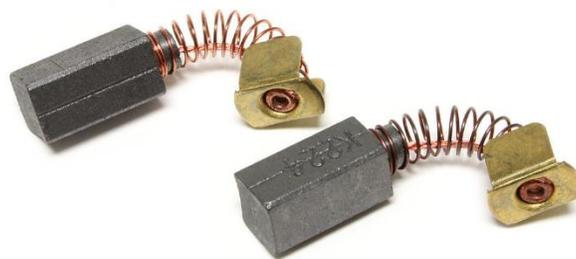
2.3.3. Brush

Brush merupakan sikat tembaga yang fungsinya untuk menghubungkan arus listrik dengan rotor. Rotor utama kecil yang letaknya berada di ujung rotor utama akan menempel dengan sikat (brush) ini. Nah, gesekan yang timbul tersebut akan menghantarkan arus listrik dengan arah yang sama secara berkelanjutan, sehingga menyebabkan putaran motor menjadi sinkron.



Politeknik Negeri Sriwijaya

Bila brush atau sikat ini aus, maka persinggungannya dengan komutator akan kurang baik, menyebabkan tahanan semakin besar dan tahanan yang dihantarkan tidak maksimal. Arus yang kurang maksimal ini akan membuat momen putar yang dihasilkan menjadi kurang maksimal juga.



Gambar 2.5 Brush Motor Listrik

2.3.4. Main Shaft

Main Shaft atau sering disebut juga dengan poros utama memang menjadi salah satu komponen motor listrik paling penting. Pasalnya komponen ini merupakan sebuah loga memanjang dan dijadikan tempat untuk menempel beberapa komponen lainnya.



Untuk penggunaan babat dari poros utama biasanya menggunakan material alumuniumu, karena bahan ini anti karat. Sehingga akan awet dan tahan lama, selain itu juga memiliki kualitas tahan dengan suhu panas.



Gambar 2.6 Main Shaft Motor

2.3.5. Bearing

Bearing atau bantalan. Memiliki definisi yaitu suatu bagian yang berfungsi untuk membatasi gerak relative antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. Bearing menjaga poros (shaft) rotor agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu berada pada jalurnya.

Bearing adalah hal yang sangat penting untuk menjamin kinerja motor listrik tersebut dapat berfungsi dengan baik, dan untuk menjamin agar setiap bearing tetap dalam kondisi baik dan prima, digunakan pelumas atau grease pada bearing tersebut.



Gambar 2.7 Bearing Motor Listrik

2.3.6. Driver Pulley

Kumpulan komponen ini diketahui terletak pada ujung bagian dari luar poros utama. Fungsinya yaitu untuk bisa mentransfer sebuah putaran motor untuk bisa menuju komponen yang lainnya. Komponen ini pada umumnya diketahui berbentuk seperti gear ataupun pulley. Siap untuk dihubungkan dengan sebuah komponen yang memang perlu untuk digerakkan dengan menggunakan motor ini.



Gambar 2.8 Driver Pulley Motor Listrik



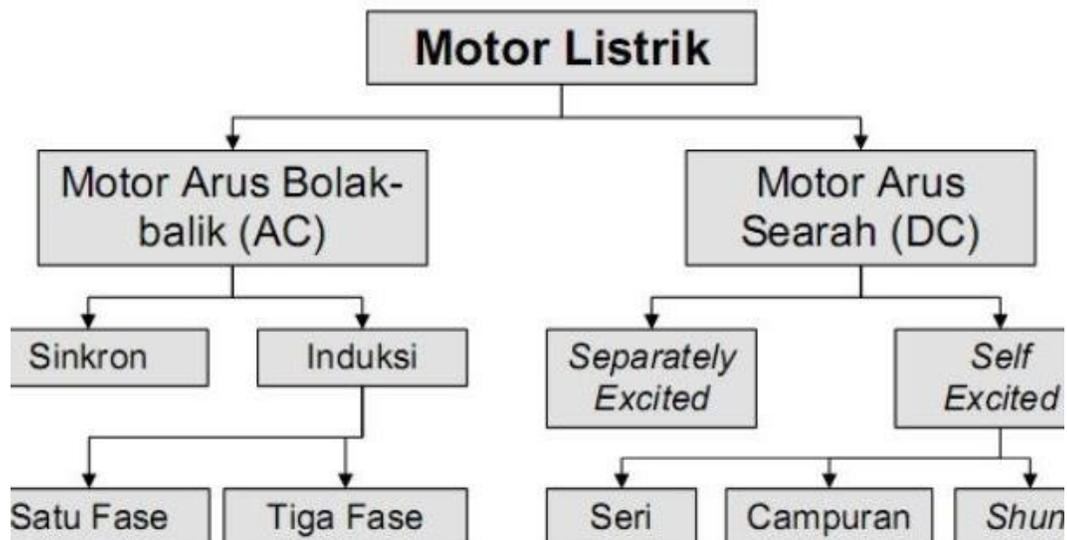
2.3.7. Motor Housing

Motor Housing atau sering disebut juga sebagai rumah motor listrik berfungsi untuk melindungi semua bagian motor listrik dan berada dibagian luar. Bisa dikatakan Motor Housing merupakan bagian terluar dari komponen motor listrik sehingga bisa melindungi semua komponen yang ada didalamnya.



Gambar 2.9 Motor Housing

2.4 Jenis Motor Listrik⁵



Gambar 2.10 Jenis Motor Listrik

⁵ <https://elektronika-dasar.web.id/jenis-jenis-motor-listrik/>



2.4.1. Motor Listrik DC

Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC. Berikut Jenis-jenis dari motor DC :

I. Motor DC sumber daya terpisah/ Separately Excited

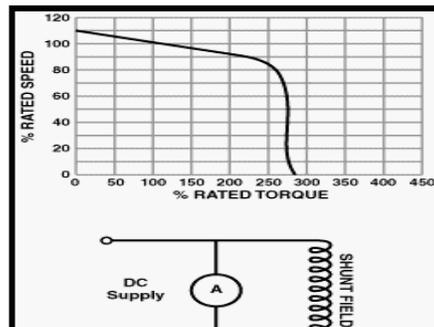
Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/separately excited.

II. Motor DC sumber daya sendiri/ Self Excited



Motor sumber daya sendiri adalah jenis motor DC yang sumber arus medannya disupply dari sumber yang sama dengan kumparan motor listrik. Motor jenis ini terbagi atas tiga macam, yakni motor DC shunt, DC seri, dan campuran/kompon.

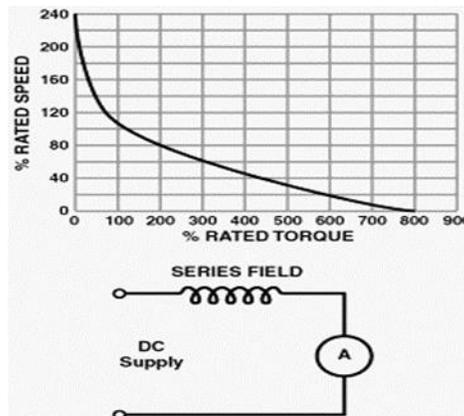
- Motor DC Shunt adalah motor listrik DC yang medan gulungannya disambung dengan gulungan motor listrik secara parallel, sehingga arus total dalam jalur merupakan penjumlahan antara arus medan dengan arus dynamo.



Gambar 2.10 Karakteristik Motor DC Shunt

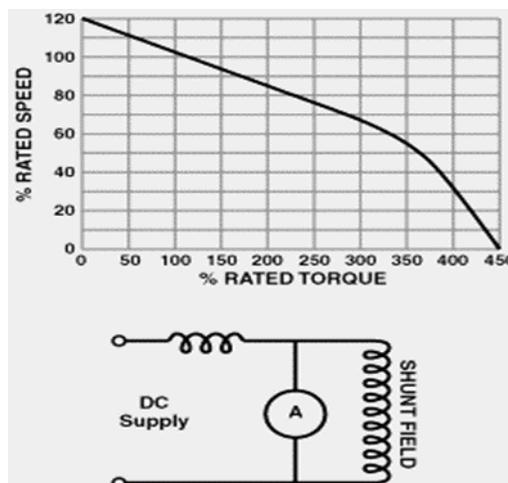


- Motor DC Seri adalah motor listrik DC yang medan gulungannya disambung dengan gulungan motor listrik secara seri, sehingga arus medan listrik sama dengan arus dynamo.



Gambar 2.11 Karakteristik motor DC seri

- Motor DC kompon adalah motor listrik DC yang medan gulungannya disambung dengan gulungan motor listrik secara seri dan parallel, sehingga memiliki torque penyalaan awal yang bagus dengan kecepatan yang stabil.



Gambar 2.12 Karakteristik Motor DC Shunt



2.4.2. Motor Listrik AC

Motor listrik arus bolak-balik adalah jenis motor listrik yang beroperasi dengan sumber tegangan arus listrik bolak balik (AC, Alternating Current).

Biasanya motor ini memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan motor DC. Motor Listrik AC dibedakan menjadi dua macam yaitu motor sinkron dan motor induksi. Berikut penjelasannya:

- **Motor sinkron**, adalah motor AC bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekuensi tertentu. Meskipun motor ini merupakan motor AC, namun Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistem, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik.
- **Motor Induksi**, merupakan motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi meda magnet antara rotor dan stator. Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama sebagai berikut :
 - **Motor induksi satu fasa**. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya.
 - **Motor induksi tiga fasa**. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalan sendiri.

2.5 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 Fasa adalah motor yang bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa pada sumber untuk menimbulkan gaya putar pada bagian



rotornya. Perbedaan fasa pada motor induksi 3 fasa dapat dilihat langsung dari sumber. Secara Umum, motor induksi 3 fasa memiliki dua bagian utama yaitu rotor dan stator.

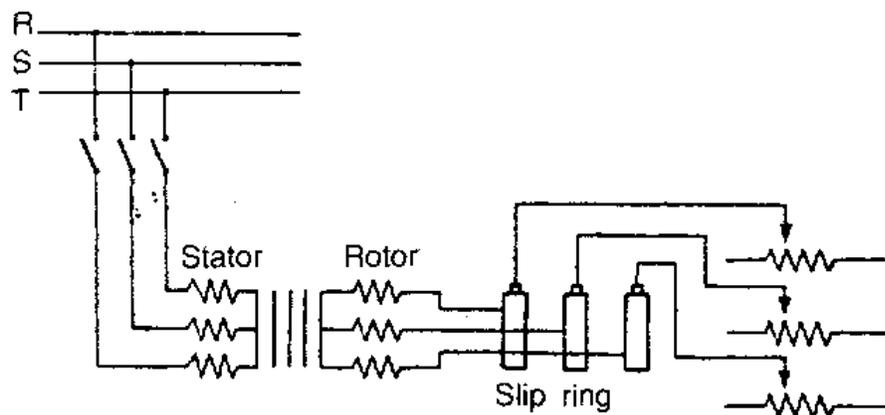
Terdapat 2 jenis motor induksi 3 fasa yang apabila dilihat dari lilitan rotornya, yakni motor induksi 3 fasa rotor belitan dan motor induksi 3 fasa rotor sangkat tupai.

2.5.1. Motor Induksi 3 Fasa Rotor Belitan

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama.

Kopel mula yang besar memang diperlukan pada waktu start motor jenis ini. Motor jenis ini memungkinkan penambahan tahanan luar. Tahanan luar ini dapat diatur yang dihubungkan ke rotor melalui cincin.

Selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar, tahanan luar tadi diperlukan untuk membatasi arus mula yang besar pada saat start up. Selain itu juga dengan menambah tahanan luar kecepatan motor ini dapat diatur.



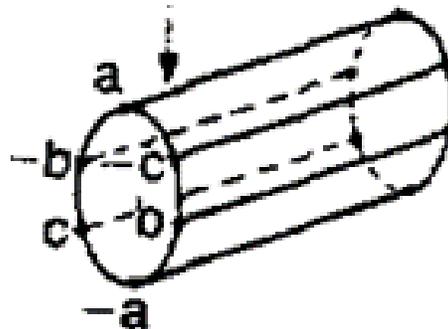
Gambar 2.13 Penambahan tahanan luar motor induksi rotor belitan



2.5.2. Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar Tupai

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Konstruksi rotor ini sangat sederhana jika dibandingkan dengan rotor belitan. Dengan demikian harganya pun relative lebih murah.

Karena konstruksinya yang demikian, motor induksi jenis ini tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti motor induksi dengan rotor belitan. Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan ototransformer atau saklar Y- Δ , tetapi berkurangnya arus dapat menyebabkan berkurangnya kopel mula.



Gambar 2.14 Batang konduktor yang disusun seperti sangkar tupai

2.6 Gangguan Pada Motor Induksi⁹

Secara teknis, masalah yang terjadi pada setiap motor dapat berbeda. Berikut ini masalah yang paling sering terjadi pada motor :

⁹ <https://www.indotara.co.id/masalah-yang-sering-terjadi-pada-electric-motor&id=615.html>



- **Mechanical failure (kerusakan mekanis)**

Kerusakan mekanis bisa disebabkan oleh banyak hal, termasuk karena kurang pelumasan, vibrasi yang berlebihan dan tidakimbang, atau karena misalignment. Dan semua penyebab-penyebab itu memiliki kesamaan, yaitu mereka terjadi secara bertahap dan menunjukkan tanda-tanda peringatan. Bunyi gangguan (noise) dapat mengindikasikan adanya awal dari kerusakan mekanis. Analisa terhadap sampel oli dapat pula menunjukkan hal yang sama. Tindakan korektif segera dapat mencegah kerusakan pada motor yang selain akan berbiaya besar juga membutuhkan waktu yang relatif lebih lama. Secara praktis, kerusakan mekanis masih bisa dicegah lewat kegiatan preventive maintenance regular, misalnya penggantian oli teratur, pemantauan tekanan oli dan lain-lain.

- **Over-current (arus lebih)**

Over-current terjadi seringkali karena kondisi operasi yang mengakibatkan motor menarik arus lebih besar dari kemampuannya (rated capacity). Biasanya terjadi tiba-tiba dan sulit diprediksi kapan akan terjadi. Namun untungnya, seperti disebutkan di awal tadi, ada banyak piranti yang mampu membatasi atau mencegah over-current ini. Sebut saja seperti overload, phase failure relay, under voltage relay, fuse dan sebagainya. Piranti ini sekarang menjadi hal yang wajib ada di setiap instalasi motor. Bahkan ada piranti pengaman yang didesain khusus untuk motor-motor tertentu, misalnya INT69 untuk motor yang digunakan kompresor refrigerasi.

- **Low insulation resistance (tahanan isolasi yang rendah)**

Tahanan isolasi dari lilitan motor listrik akan menurun (degradasi) seiring dengan waktu. Misalnya, sebuah motor baru atau baru digulung biasanya memiliki tahanan isolasi (diukur dengan megger) diatas 1000



megohm. Selama motor itu bekerja maka nilai tahanan isolasi akan menurun hingga batas terendah yang tidak memungkinkan motor bekerja (short). Secara umum disepakati bahwa nilai tahanan isolasi kurang dari 1 megohm adalah batas aman dimana motor harus segera direfurbish. Banyak faktor yang mempengaruhi laju penurunan tahanan isolasi ini, sebagian bisa kita kendalikan dan sebagiannya lagi tidak. Yang paling jelas tentu saja adalah suhu motor itu sendiri. Suhu motor dapat tergantung dari lingkungan (ambient) atau dari beban. Sebagairule of thumb adalah setiap kenaikan 10 derajat celcius maka nilai tahanan isolasi akan turun 50%.

2.7 Circulating Water Pump

Pada suatu industri pembangkitan (PLTU) Circulating Water Pump (CWP) adalah pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan air air laut guna mendingkan uap menjadi air kembali di dalam kondensor. Apabila performa pompa pendingin mengalami penurunan maka volume perubahan phase uap menjadi cair pada kondensor akan mengalami penurunan. Hal ini mengakibatkan biaya produksi akan meningkat akibat jumlah air kondensat yang ditambahkan semakin bertambah sehingga efisiensi siklus Rankine mengalami penurunan.

2.8 Trafo CT (Current Transformator)²

Current Transformer atau lebih dikenal dengan CT merupakan trafo arus yang berfungsi untuk mengkonversi arus yang melewatinya dari level tinggi ke level rendah yang dapat dimanfaatkan untuk input alat metering maupun alat proteksi pada suatu jaringan sistem tenaga listrik.

² <https://direktorilistrik.blogspot.com/2017/01/klasifikasi-current-transformer-ct-trafo-arus.html>



Current Transformer merupakan komponen utama dalam sistim tenaga listrik, baik pada distribusi maupun pada pembangkitan. Dengan adanya current transformer, suatu peralatan ataupun jaringan dapat dimonitoring kondisinya melalui hasil pengukuran (metering) serta dapat dilindungi melalui proteksi apabila adanya gangguan yang menimbulkan arus yang sangat besar sebagai akibat short circuit (hubungan singkat) ataupun overload (kelebihan beban) dan lain sebagainya. Dari hal diatas, pemanfaatan output dari current transformer dapat dibagi atas 2 hal, yaitu :

- Metering, output dari Current Transformer digunakan sebagai input pada alat ukur.
- Proteksi, output dari Current Transformer digunakan sebagai input untuk alat proteksi yang nantinya akan mentrigger alat proteksi untuk bekerja apabila ada gangguan.

Prinsip kerja dari CT mirip dengan prinsip kerja transformator pada umumnya, dimana terdapat belitan sisi primer dan belitan sisi sekunder yang dihubungkan melalui kopling medan magnet pada inti besi transformator. Sehingga arus yang melewati sisi primer akan menghasilkan induksi pada inti besi yang akan menimbulkan arus pada sisi sekunder.

Pada rancangannya, sebuah Current Transformer (CT) memiliki satu atau lebih gulungan pada sisi sekunder, sehingga sebuah current transformer memiliki satu atau lebih output yang masing-masingnya bisa dimanfaatkan sekaligus sesuai dengan kebutuhan, seperti untuk metering, proteksi over current, differential dan lain-lain.

2.9 Sistem Proteksi

Sistem dapat dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.



Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya.

Fungsi Proteksi adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi dengan cara sebagai berikut :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (fault detection).
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (fault clearing).
- c. Memberitahu operator adanya gangguan dan lokasinya (annunciation)

2.9.1. Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi, pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

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

2.9.2. Komponen Peralatan Listrik

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

- a. Rele Proteksi : sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya



-
-
- 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

2.10 Rele Proteksi⁸

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan ataupun mengukur adanya gangguan atau merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuat pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi syarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya. Dengan besaran yang telah ditentukan kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

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

⁸ Samaulah, Hazairin. 2004. Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Universitas Negeri Sriwijaya.



a. Bagian Perasa

Bagian ini akan meneruskan perubahan dari besaran ukur yang dirasakan ke bagian pembanding.

b. Bagian Pembanding

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

c. Bagian Kontrol

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

2.10.1. Fungsi Rele Proteksi

Rele proteksi berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal rele hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang dari gangguan atau kerusakan tersebut yang tidak membahayakan maka rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

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

2.10.2. Syarat Rele Proteksi

Adapun syarat-syarat rele proteksi yang harus dipenuhi yaitu :



- **Kepekaan (*sensitivity*)**

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan dikawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Rangsangan minimum ini, biasanya terjadi saat penghantar udara tersentuh pohon (karena tahanan pohon besar). Bila 1 fasa (fasa R) tersentuh pohon, arus gangguan 1 fasa ketanah dapat menjadi kecil (lebih kecil dari penghantar udara langsung terkena tanah).

- **Keandalan (*reliability*)**

Ada 3 aspek dalam keandalan (*reliability*) yaitu :

- *Depandability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), Tidak boleh gagal bekerja. Dengan lain perkataan *dependability*-nya harus tinggi.

- *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja).Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja,misalnya karena lokasi gangguan diluar Kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

- *Availability*

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja(*actually in service*) dan waktu total operasinya.



- **Selektifitas (*selectivity*)**

Pengaman harus dapat memisahkan bagian system yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi Kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedemikian disebut pengamanan yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya di mana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

- **Kecepatan (*speed*)**

Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian system lainnya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (*timedelay*). Antara pengaman yang terpasang namun waktu tunda itu harus secepat mungkin, setelah waktu minimum yang diset kan ke rele untuk menghindari *thermal stress*.

2.11 Rele Proteksi Pada Motor Listrik

Proteksi motor sangat variatif dan sedikit berbeda dengan proteksi peralatan sistem 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 fasa/tanah
2. Kerusakan termis akibat :



- Beban lebih (kontinyu)
- 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
- e. Temperatur yang tidak lazim dan atau lingkungan
- f. Urutan pengasutan yang tidak lengkap

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

1. Kehilangan eksitasi
2. Operasi diluar sinkronisasi
3. Kehilangan sinkronisasi

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

1. Pengaruh Motor

- a. Kegagalan isolasi
- b. Kegagalan bearing
- c. Kegagalan mekanis
- d. Kehilangan medan (untuk motor sinkron)



-
2. Pengaruh beban
 - a. Beban lebih
 - b. Jamming
 - c. Inersia tinggi
 3. Pengaruh lingkungan
 - a. Temperatur ambien yang tinggi
 - b. Tingkat konstaminasi yang tinggi
 - c. Temperatur ambient yang terlalu dingin
 4. Pengaruh sumber atau sistem
 - a. Kegagalan phasa
 - b. Tegangan lebih
 - c. Tegangan kurang
 - d. Perbaikan phasa
 - e. Kondisi kehilangan sinkronisasi akibat gangguan dari sistem
 5. Pengaruh operasi dan aplikasi
 - a. Sinkronisasi, penutupan atau penutupan balik phasa
 - b. Siklus kerja tinggi
 - c. Jogging
 - d. Pembalikan cepat atau plug

Mayoritas beban pemakaian sendiri pada pembangkit listrik (terutama PLTU) 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 :

a. Rele arus lebih

Relay 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.

b. 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.

c. Rele hubung singkat ke tanah

Relay hubung singkat ke tanah berfungsi untuk mengamankan motor dari gangguan arus hubung singkat antara fasa dengan tanah.

d. Rele Long Start

Relay long start current adalah relay proteksi pada motor yang digunakan untuk mengamankan motor dari gangguan arus start yang lama. Seperti kita ketahui ketika motor listrik pertama kali dhidupkan maka akan mengkonsumsi arus yang lebih besar dari arus nominal. Arus start tersebut bisa 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. Relay 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).

e. Rele temperature

Relay temperature merupakan relay proteksi pada motor yang digunakan untuk mengamankan motor listrik dari gangguan temperature yang berlebih. Temperature berlebih bias disebabkan oleh gangguan mekanik maupun gangguan elektrik. Gangguan mekanik contohnya adalah kegagalan sstem pendingin dan lain sebagainya. gangguan elektrik contohnya adalah overload, longstart dan lain sebagainya.

2.12 Rele Arus Lebih

OCR atau relay arus lebih adalah suatu relai yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. *Over Current Relay* (OCR) ini berfungsi untuk memproteksi peralatan listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat. Selain itu *Over Current Relay* (OCR) juga berfungsi untuk mengamankan motor dari arus yang melebihi dari arus yang dibolehkan lewat dari motor tersebut. Prinsip kerja *Over Current Relay* (OCR) yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah *trip* ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari. Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka rele jenis ini adalah rele 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.

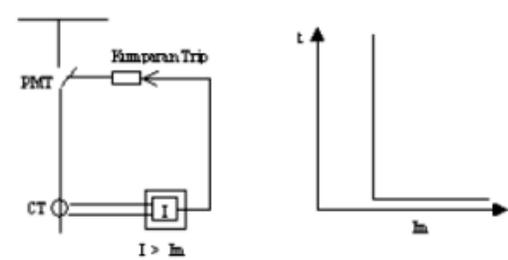


- Macam macam jenis karakteristik rele arus lebih :
 - 1) Rele arus lebih waktu seketika (instantaneous relay)
 - 2) Rele arus lebih waktu tertentu (definite time relay)
 - 3) Rele arus lebih waktu terbalik (Inverse relay)

2.12.1. Rele Arus Lebih Waktu Seketika (Instantaneous relay)

Adalah Over Current Relay (OCR) yang bekerja tanpa waktu tunda. Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu kerja mulai pick up sampai kerja sangat singkat tanpa penundaan waktu (20 – 60 mdet).

Karena rela ini tanpa perlambatan, maka koordinasi untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus. Adapun jangkauan relai ini karena bekerjanya seketika atau tanpa perlambatan waktu, supaya selektif maka tidak boleh menjangkau pada keadaan arus gangguan maksimum.



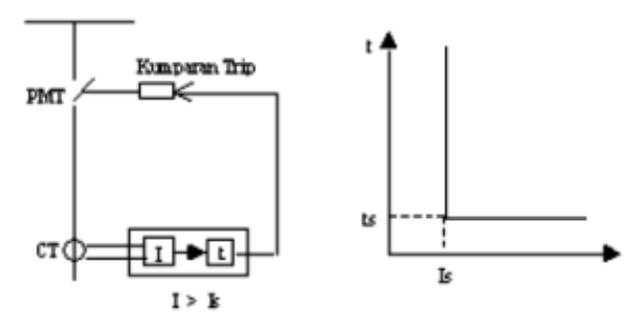
Gambar 2.15 Karakteristik Rele Waktu Seketika

2.12.2. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)

Adalah *Over Current Relay* (OCR) yang waktu kerjanya tidak tergantung dari arus gangguan. Relai ini memberikan perintah kepada PMT



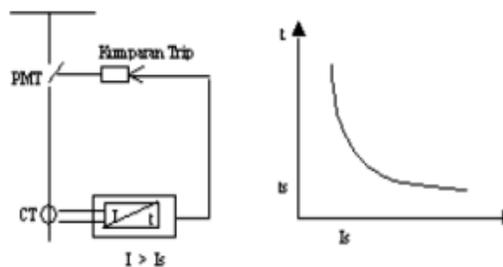
(Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu relai ini mulai pick up sampai kerja diperpanjang dengan waktu tidak tergantung besarnya arus.



Gambar 2.16 Karakteristik Rele Waktu Tertentu

2.12.3. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time Relay*)

Adalah Over Current Relay (OCR) yang waktunya kerjanya tergantung dari arus gangguan. Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya dan jangka waktu relai ini mulai pick up sampai kerja waktunya diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus.

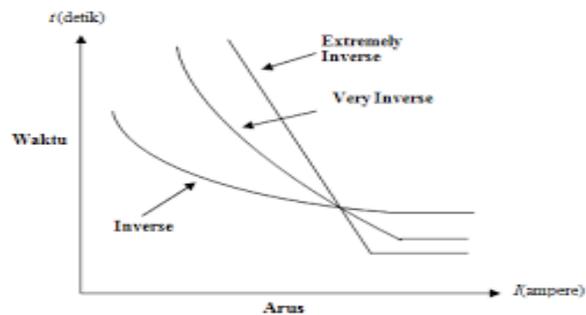


Gambar 2.17 Karakteristik Rele Waktu Terbalik



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 2.18 Kurva Perbandingan Waktu dan Arus *Inverse Relay*

2.13 MMPR 610-Hb Relay¹

Merupakan peralatan monitoring pada motor induksi 6kV yang akan memutus rangkaian apabila terjadi arus lebih pada motor dengan cepat. MMPR 610-Hb akan memutus rangkaian atau trip apabila telah mencapai setting arus yang telah disetting pada rele MMPR 610-Hb itu sendiri.

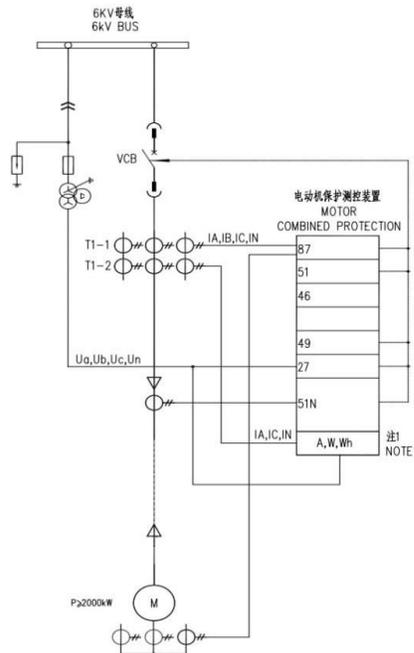
MMPR 610-Hb ini merupakan perangkat proteksi mikrokomputer yang digunakan sebagai proteksi sekaligus sebagai peralatan monitoring motor dengan tegangan antara 3kV-10kV.

¹ Zhuhai Wanlida Electric. 2010. User's manual of MMPR-610Hb microcomputer motor protection and monitoring device



Gambar 2.19 Bentuk Fisik MPR 610-Hb

MPR 610-HB ini berfungsi sebagai relay pengaman arus lebih pada motor penggerak *Circulating Water Pump*. Relay ini difungsikan Bersama dengan breaker jenis VCB (Vacuum Circuit Breaker). Dibelakang ini adalah diagram skematik dari Relay Arus Lebih untuk Motor Penggerak *Circulating Water Pump* :



Gambar 2.20 Diagram Penempatan Relay

2.14 Arus Nominal Motor⁴

Arus nominal merupakan arus yang diterima oleh motor pada saat bekerja. Untuk mengetahui arus nominal pada motor menggunakan rumus :

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

⁴ Irvan Fajriansyah, Laporan Akhir: “Analisa Proteksi Arus Lebih Pada Motor Induksi Penggerak Bucket Elevator Menggunakan Rele Arus Lebih Di PT.Semen Baturaja (Persero) Tbk. Site Palembang. (Palembang : Politeknik Sriwijaya, 2018).



Keterangan :

Inominal = Arus nominal motor (Ampere)

Pin = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

Cos ϕ = Faktor daya motor

2.15 Arus Gangguan Motor

Rele MMRP 610-Hb akan bekerja apabila terdapat gangguan berupa arus lebih pada motor. Besarnya arus gangguan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{fault} = ICT \times \text{Range maksimum setting arus} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

I_{fault} = Arus Gangguan (Ampere)

ICT = Arus nominal yang dikonversi oleh CT (Ampere)

Range Max = Range maksimum untuk setting arus pada relai

2.16 Arus Penyetelan Relai (Arus Setting)

Berdasarkan rumus yang telah didapatkan, besar arus setting dapat menggunakan parameter dari nilai arus nominal dari motor dan juga nilai factor keamanan rele serta factor arus Kembali dari rele inverse time. Oleh karena itu setting arus dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :



$$I_{setting} = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_{CT} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

$I_{setting}$: Arus Penyetelan (A)

K_{fk} : Faktor Keamanan Rele 1,0 – 1,2

K_d : Faktor Arus Kembali 1,0 (Inverse Time)

I_{CT} : Arus Nominal yang dikonversi oleh CT (Ampere)

2.17 Arus Sekunder CT

Dikarenakan rele tidak dapat menerima arus dan tegangan yang besar pada motor 6 kV, Trafo CT digunakan untuk mengkonversi arus nominal menjadi lebih kecil sehingga peralatan lebih aman. Cara menghitung arus yang keluar dari sisi sekunder CT ialah :

$$I_{CT} = \frac{I_s}{I_p} \times I_{nominal} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

I_{CT} = Arus nominal yang dikonversi oleh CT (ampere)

I_s = Rasio arus sisi sekunder (Ampere)

I_p = Rasio arus sisi primer (Ampere)

$I_{nominal}$ = Arus Nominal Motor (Ampere)



2.18 Waktu Trip Pada Relai

Untuk penyetelan waktu pada relai MMRP 610-HB disini menggunakan kurva arus lebih standar IEC. MMRP 610-HB memiliki karakteristik standar inverse time yaitu memiliki waktu tunda untuk trip apabila terjadi gangguan arus lebih.

Kurva standar IEC dibagi menjadi Standard Inverse Curve, Very Inverse Curve, Extremely Inverse Curve, Long Time Inverse Curve. Dengan rumus waktu trip sebagai berikut :

$$t (s) = \frac{k}{\left[\frac{I_f}{I_s} \right]^\alpha - 1} \times TMS \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

t (s) = Waktu trip (s)

k, α = Konstanta standar IEC

I_f = Arus Gangguan (A)

I_s = Arus Setting (A)

TMS = Time Multiple Setting / Faktor Perkalian Waktu

Nilai konstanta standar dari IEC berbeda sesuai dengan klasifikasinya.

Untuk konstanta standar IEC bisa dilihat pada tabel di bawah ini :



Tabel 2.1 Konstanta Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien	
	k	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1
<i>Extremely Inverse</i>	80	2
<i>Long Time Inverse</i>	120	1