



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Listrik

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak (mekanik). Energi mekanik ini digunakan untuk kebutuhan beban seperti, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain – lain. Motor listrik merupakan motor yang paling banyak dijumpai dalam industri. Motor listrik sering disebut sebagai “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan motor listrik ini digunakan hingga 70% beban listrik total di industri.

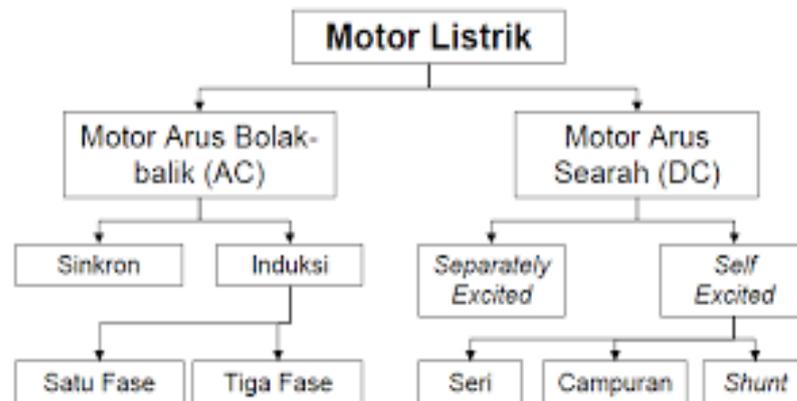
Pada motor listrik yang tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa kutub-kutub dari magnet yang senamaakan tolak menolak dan kutub yang tidak senama akan tarik menarik. Dengan terjadinya proses ini maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.

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).

2.2 Jenis-Jenis Motor Listrik

Dibawah ini adalah bagan mengenai macam-macam motor listrik berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi yang terangkum dalam klasifikasi motor listrik. Secara umum motor listrik ada 2 yaitu motor listrik AC dan motor listrik DC. Motor listrik AC dan motor listrik DC juga terbagi lagi menjadi beberapa bagian-bagian lagi, jika digambarkan maka akan

terlihat seperti pada gambar di bawah ini.^[1]



Gambar 2.1 Jenis – Jenis Motor Listrik^[1]

2.3 Motor Listrik DC

Motor arus searah atau biasa disebut motor DC adalah sebuah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah (*Direct Current*) pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak (mekanik). Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar).

Motor DC memiliki prinsip kerja yang berbeda dengan Motor AC. Pada motor DC jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor jika ada arus mengalir pada konduktor tersebut.



Gambar 2.2 Motor DC^[1]

^[1] I Nyoman Bagia dan I Made Parsa, *Motor-Motor Listrik*, (Bandung: Rasibook, 2018), hlm. 3



2.4 Motor Listrik AC

Motor arus bolak balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik yaitu "stator" dan "rotor". Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar asmotor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variable untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi sekitar dua kali motor DC.^[1]

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.

2.4.1 Motor Listrik Sinkron

Motor sinkron adalah motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekuensi tertentu. Disebut motor sinkron karena putaran motor sama dengan putaran fluks magnet stator. Motor ini memerlukan arus searah (DC)

^[1] I Nyoman Bagia dan I Made Parsa, *Motor-Motor Listrik*, (Bandung: Rasibook, 2018), hlm. 5

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 frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik. Motor sinkron terdiri dari :^[2]

1. Stator

Stator (bagian yang diam) terdiri dari belitan-belitan stator. Pada belitan stator tersebut diberi aliran listrik, untuk menghasilkan fluks magnet stator (medan putar).

2. Rotor

Rotor (bagian yang berputar) terdiri dari belitan-belitan penguat, inti magnet dan slip ring/sikat. Slip ring/sikat ini berfungsi untuk memasukkan listrik DC pada belitan penguat sehingga timbul kutub magnet pada rotor. Tipe rotor pada mesin sinkron ada 2 macam, yaitu :

- Rotor Penuh : Tipe ini rotornya diberi alur-alur sebagaimana rotor motor slip ring.
- Rotor Kutub : Rotor tipe ini terdiri dari inti-inti kutub dengan belitan-belitan penguat. Biasanya kutub banyak, untuk putaran rendah.

2.4.2 Motor Induksi

Motor Induksi merupakan motor arus bolak bali (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibatnya adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.^[3]

2.4.3 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa

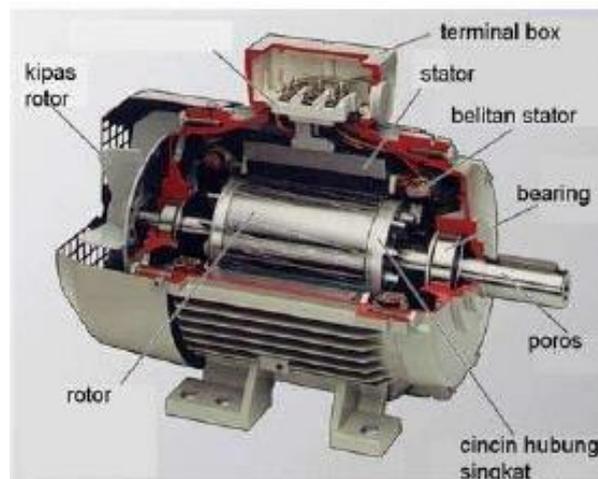
Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor gambar 2.3. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri

^[2] Drs. Sumanto M.A, *Motor Listrik Arus Bolak Balik*, (Yogyakarta: Andi Offset , 1995), hlm. 103

^[3] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, (Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1995), hlm. 101

dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, poros rotor.

Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang. Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang gambar 2.3. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.^[4]



Gambar 2.3 Fisik Motor Induksi^[4]

Rumus mengitung daya input motor induksi :

$$P_{in} = \sqrt{3} x V x I x \cos \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

P_{in} = Daya input (Watt)

V = Tegangan (Volt)

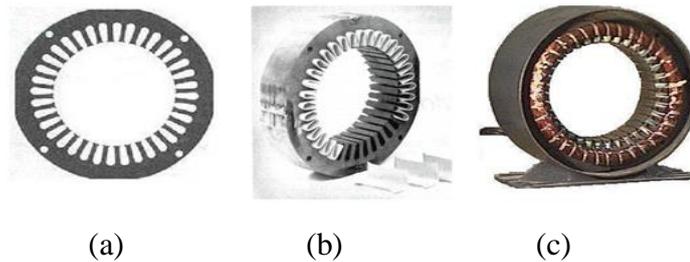
I = Arus

$\cos \phi$ = Faktor Kerja

^[4] Siswoyo, *Teknik Listrik Industri*, Jilid 2, (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008), bab. 5, hlm. 7

1. Stator^[5]

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris.



Gambar 2.4 Komponen Stator^[5]

Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa :

- (a) Lempengan Inti
- (b) Tumpukan Inti dengan Kertas Isolasi pada Beberapa Alurnya
- (c) Tumpukan Inti dan Kumparan dalam Cangkang Stator

2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor. Rotor terdiri dari inti rotor dan kumparan rotor. Adapun jenis rotor dalam motor induksi tiga fasa yaitu rotor belitan dan rotor sangkar.

2.4.4 Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu :

1. Motor Induksi Satu Fasa

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini

^[5] Asep Rachmat, S.T., M.T dan Ade Ruhama, S.T., *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Motor Listrik Induksi AC 3 Fasa Menggunakan Dinamometer Tali (Rope Brake Dynamometer)*, Universitas Majalengka, 2014, hlm. 8



motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

2. Motor Induksi Tiga Fasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder.

2.4.5 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi adalah peralatan pengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Listrik yang diubah merupakan listrik tiga fasa. Dalam motor induksi, tidak ada hubungan listrik ke rotor, arus rotor merupakan arus induksi. Tetapi ada kondisi yang sama seperti motor dc, dimana pada rotor mengalir arus. Arus ini berada dalam medan magnetik sehingga akan terjadi gaya (F) pada rotor yang akan menggerakkan rotor dalam arah tegak lurus medan.

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. Untuk memperjelas prinsip kerja motor induksi tiga fasa, maka prinsip



kerja motor induksi dapat dijabarkan dalam langkah – langkah berikut:^[2]

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan

$$n_s = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots(2.2)$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi.
4. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I)
5. Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan timbul menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti telah dijelaskan, GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s), dinyatakan dengan:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

9. Bila $n_r = n_s$, GGL induksi tidak akan timbul dan arus tidak mengalir pada batang konduktor (rotor) dengan demikian tidak dihasilkan kopel.
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.4.6 Pengasutan Motor dengan Hubung Langsung *Direct On Line* (DOL)

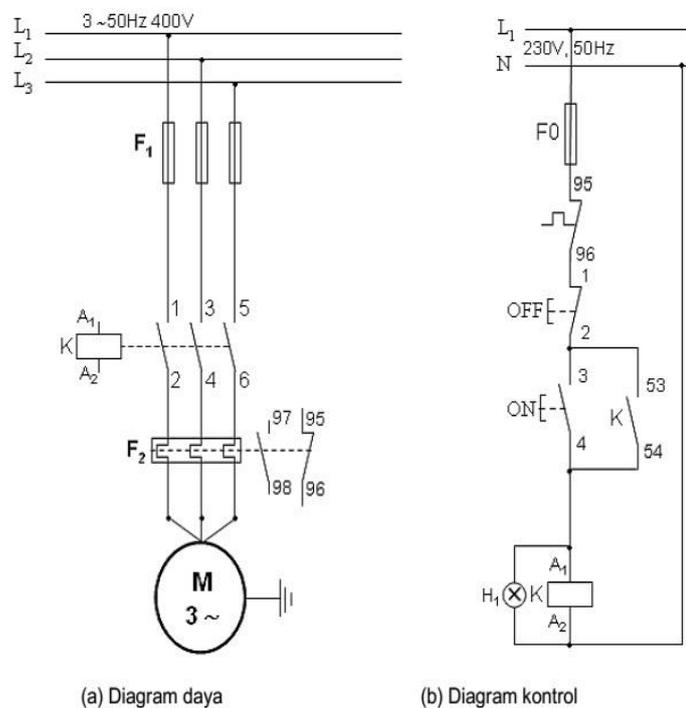
Secara umum, pengasutan motor induksi dapat dilakukan baik dengan cara menghubungkan rotor secara langsung ke rangkaian pencatu atau dengan menggunakan tegangan yang telah dikurangi ke motor selama periode

^[2] Drs. Sumanto M.A, *Motor Listrik Arus Bolak Balik*, (Yogyakarta: Andi Offset , 1995), hlm. 7-8.

pangasutan. Pengendalian yang digunakan untuk pengasutan motor pada kedua metode tersebut dapat dioperasikan secara manual atau secara magnetik.

Pengasutan ini digunakan untuk motor-motor berdaya kecil. Pada cara ini motor dapat diasut pada tegangan saluran penuh dengan menggunakan penstart saluran yang dilengkapi dengan relai termis beban lebih. Cara ini dapat menghasilkan kopel start yang lebih besar mengingat kopel motor induksi berbanding lurus dengan kuadrat tegangan yang dikenakan. Kelemahan pengasutan cara ini adalah dapat menghasilkan arus start yang besar, karena itulah hanya digunakan untuk motor-motor yang berdaya kecil.

Penghasutan secara langsung DOL (*Direct On Line*) akan menarik arus sangat besar dari jaringan (kurang lebih 6 – 7 kali arus nominal), dan torsi penghasutan 0,5 – 1,5 x arus nominal.^[6] Rangkaian kontrol penghasutan motor secara DOL dapat dilihat seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.5 Pengasutan Motor Induksi dengan Rangkaian DOL^[6]

^[6] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, *Instalasi Motor Listrik*, 2013, hlm. 11



2.5 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20.^[7] Oleh sebab itu dalam perancangan suatu sistem tenaga, perlu dipertimbangkan kondisi-kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem melalui analisa gangguan. Dari hasil analisa gangguan dapat ditentukan sistem proteksi yang akan digunakan, spesifikasi *switchgear*, rating *circuit breaker* (CB) serta penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya suatu rele (*setting rele*) untuk keperluan proteksi.

2.5.1 Prinsip Dasar Proteksi^[8]

Setelah kita membahas lebih lanjut tentang prinsip dasar proteksi tenaga listrik, maka terlebih dahulu yang kita ketahui adalah tentang :

1. Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan Kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain : hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi system rendah, asinkron dan lain-lain.
2. Proteksi itu diperlukan :
 - a. Untuk menghindari ataupun mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem), semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
 - b. Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin
 - c. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada

^[7] Bonar Pandjaitan, *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, (Yogyakarta: Andi 2012), hlm. 4

^[8] Dwi Arisandi, *Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Thermal Overload Rangkaian Direct On Line (DOL) PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2014, hlm. 22



- d. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari berbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian system proteksi secara efektif.

2.5.2 Persyaratan Kualitas Proteksi

Pada sistem tenaga listrik, sistem proteksi adalah perlindungan atau untuk mengisolir pada bagian yang memungkinkan akan terjadi gangguan atau bahaya. Tujuan utama proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi dan melokalisirnya, dan membatasi pengaruhpengaruhnya biasanya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian- bagian yang lain (Hutauruk, 1991). Sistem proteksi ini mendeteksi kondisi abnormal dalam suatu rangkaian listrik dengan mengukur besaran- besaran listrik yang berbeda antara kondisi normal dengan kondisi abnormal. Menurut Tofan aryanto (2013), Ada beberapa kriteria yang perlu diketahui pada pemasangan suatu sistem proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu:

- a. Kepekaan (Sensitifitas)

Sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya.

- b. Kecepatan

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang- kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka



rele yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (time delay).

c. Selektifitas

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila rele proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Ataupun membedakan apakah kondisi abnormal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin.

2.5.3 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarnya dengan besaran ambang-batas (threshold setting) pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi setting ambang-batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Komponen sistem proteksi antara lain terdiri dari :

1. Rele Proteksi (*Protection Relay*)^[9]

Persyaratan yang diterapkan pada suatu rele pengaman adalah untuk memonitor besaran khusus (misalnya : *tegangan, arus, frekuensi*) atau besaran yang berhubungan (misalnya : *impedans, daya, arah aliran daya*) berkenaan dengan naik atau turun di bawah harga batas pengaturannya. Sebagai tambahan terdapat pensaklaran (*switching*) rele yang hanya melaksanakan operasi logika (operasi AND/OR) dan waktu, melalui perintah

^[9] Carlos RS dan Rumiasih, *Praktikum Sistem Proteksi*, Palembang, 2010, hlm. 9-10



hubung setelah pengaturan waktu penundaan. Perintah hubung ini merupakan suatu isyarat yang diberikan rele pengaman ke pemutus tenaga.

Sebelum beberapa proses pengukuran digunakan dalam pengoperasian rele pengaman, beberapa istilah yang terdapat dalam teknologi rele antara lain:

- *Penghasutan suatu rele* : menggambarkan waktu transisi dari kondisi awal sampai kondisi mulai beroperasi (*start*), dan terjadi dengan segera setelah harga pengukuran jatuh di bawah atau melebihi harga penyetelan.
- *Pelepasan suatu rele* : mengganibarkan waktu transisi dari kondisi mulai beroperasi sampai ke kondisi awal.
- *Rasio penyetelan ulang* : merupakan hasil bagi harga pelepasan dan harga penghasutan. Untuk memastikan bahwa suatu rele beroperasi sebagaimana mestinya harga pelepasan harus jelas lebih kecil daripada harga operasi.
- *Pengoperasian (operaling)* : mulai interval waktu untuk suatu rele dengan penundaan waktu.
- *Pemutusan (tripping)* : keluaran pensaklaran untuk memcrintahkan dengan tepat circuit breaker (CB).
- *Faktor keamanan* : merupakan hasil bagi harga besaran gangguan dan harga penyetelan pada rele.
- *Waktu pengoperasian* : merupakan waktu diantara peristiwa harga operasi dan keluaran perintah pensaklaran. Waktu yang singkat ini merupakan penandaan waktu *first-zone* atau waktu dasar. Ini diberikan oleh penjumlahan komponen rele individual yang menjadi sifat waktu tunda dan merupakan waktu kerja yang singkat pada rele. Rele modern mempunyai waktu dasar 10 mdt dan 30 mdt. Pada kondisi lain waktu pengoperasian yang sangat panjang suatu rele dapat dimiliki. Dinamakan sebagai pengoperasian maksimum.
- *Waktu total* : Waktu yang berlalu diantara jangkauan harga operasi elemen pengaman untuk memutuskan kontak circuit breaker (CB) yang berhubungan.



- *Waktu tingkatan* : perbedaan diantara waktu pengoperasian dari dua rele berurutan pada suatu lokasi gangguan khusus. Waktu tingkatan 0,3 sampai 0,5 diperlukan untuk menjamin selektifitas.

Hanya sebagian kecil proses pengukuran dasar menggunakan harga tegangan dan arus yang dicatu dengan transformator ukur untuk dimanfaatkan pada rele pengaman. Pengembangan geometris atau formasi berbeda telah dibuat dalam transformator yang selanjutnya dapat menghasilkan bentuk konstruksi suatu rele.

2. Thermal Overload Relay

Thermal Overload Relay adalah suatu alat pengaman peralatan listrik terhadap Arus beban lebih. Pengaman ini bekerja berdasarkan panas yang ditimbulkan oleh adanya arus listrik yang melebihi batas harga nominalnya. Energi panas tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh logam bimetal untuk melepaskan kontak - kontakannya. Dengan terlepasnya kontak - kontak akibat arus yang mengalir di atas harga nominalnya maka akan membuka (memutuskan) suatu rangkaian kelistrikan sehingga melindungi peralatan listrik tersebut dan kerusakan yang diakibatkan oleh arus lebih tersebut. Thermal Overload Relay banyak dipergunakan sebagai pelindung dari motor - motor listrik.^[10]

Thermal overload relay memproteksi rangkaian pada ketiga fasanya (untuk rangkaian tiga fasa) baik yang menggunakan sistem bimetal maupun yang menggunakan sistem elektronik tanpa suplai terpisah (maksudnya thermal overload elektronik ini tidak membutuhkan sumber daya listrik secara khusus) dan mempunyai sensitifitas terhadap hilangnya fasa yang bekerja dengan sistem differensial (tidak langsung trip pada kasus terjadinya hilang satu fasa), namun apabila dibutuhkan rangkaian untuk trip segera saat kehilangan satu fasa, maka perlu diperlukan tambahan alat proteksi lain. Thermal overload relay ini bisa dipasangkan langsung dengan kontaktornya maupun terpisah sehingga sangat fleksibel untuk pemasangannya di dalam

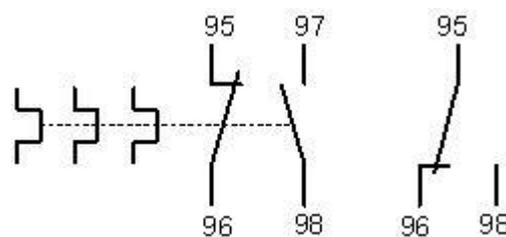
^[10] Tim Laboratorium Teknik Tenaga Listrik, *Pengaman Peralatan dan Manusia*, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2004, hlm 7

panel. Pemilihan jenis Thermal Overload Relay ditentukan oleh *rating/setting* arus sesuai dengan arus nominal rangkaian pada beban penuh dan kelas trip-nya.

a. Prinsip Kerja Thermal Overload

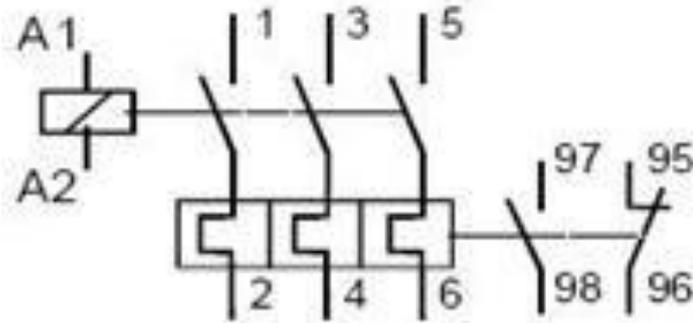
Thermal overload relay yang bekerja dengan pemutus bimetal akan bekerja sesuai dengan arus yang mengalir, arus yang mengalir akan menyebabkan panas, semakin besar perubahan arus maka akan semakin tinggi kenaikan temperatur yang menyebabkan terjadinya pembengkokan, dan akan terjadi pemutusan arus, sehingga rangkaian akan terputus. Jenis pemutus bimetal ada jenis satu fasa dan ada jenis tiga fasa, tiap fasa terdiri atas bimetal yang terpisah tetapi saling terhubung, berguna untuk memutuskan semua fasa apabila terjadi kelebihan beban. Pemutus bimetal satu fasa biasa digunakan untuk pengaman beban lebih pada rangkaian dengan daya kecil.

Prinsip kerja dari suatu TOR adalah berdasarkan panas yang timbul karena adanya arus listrik yang mengalir melewati arus nominal motor. Energi panas tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh logam bimetal. Akibat kontak NC akan terbuka sehingga operasi motor diamankan oleh pengaman TOR berhenti bekerja. Adapun kerja TOR ini tergantung kepada gangguan arus beban lebih yang terjadi dan lamanya gangguan berlangsung. Pada TOR terdapat selektor untuk memilih batasan nilai arus yang diinginkan yang biasanya disesuaikan dengan besar arus nominal beban yang akan dihubungkan.^[8]

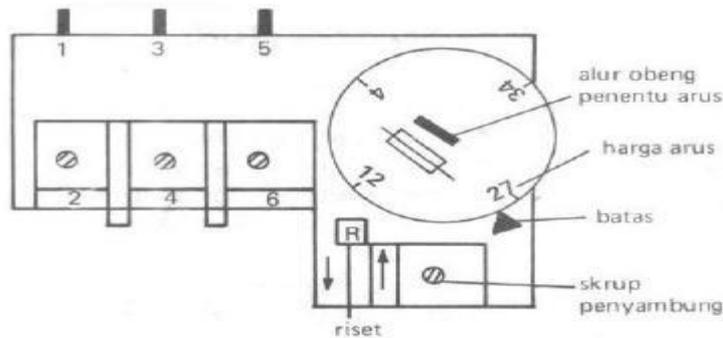


Gambar 2.6 Diagram Kontak Thermal Overload Relay^[8]

^[8] Dwi Arisandi, *Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Thermal Overload Rangkaian Direct On Line (DOL) PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2014, hlm. 43-44



Gambar 2.7 Diagram Penyambungan pada Kontaktor Magnet^[8]



Gambar 2.8 Kontruksi Thermal Overload Relay^[8]

Menurut Arthur (1996), Pengaturan / penyettingan rele beban lebih yaitu sama dengan arus nominal motor, dimana persamaan untuk menghitung besar I_n (arus nominal) adalah sebagai berikut :

$$I_n = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \times V \times \cos\theta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

V = Tegangan

P = Daya masuk

I_n = Arus nominal

Sedangkan untuk menghitung arus nominal penyetingan pada thermal overload relay maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{set} = K \times I_n \dots\dots\dots(2.5)$$



Dimana :

I_{set} = Penyetelan arus

K = Konstanta pada rele beban lebih

I_n = Arus nominal

Sedangkan untuk menghitung arus masukkan sebuah motor induksi tiga fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$I_{in} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

I_{in} = Arus masukkan

P = Daya motor

V = Tegangan

$\cos\phi$ = Faktor Kerja

b. Karakteristik Thermal Overload Relay

Overload Relay mempunyai karakteristik sesuai dengan standar-standar kelistrikan, diantaranya IEEE, NEMA, IEC, dll.

Misalnya suatu Overload Relay (TOR) tertulis IEC 947-4-1, Class 20 bernilai trip = 10 Ampere. Selang waktu trip digunakan agar TOR tidak trip bila sedang start maupun ketika ada beban kejut. Dengan berpedoman pada karakterstik tersebut, maka bisa didesain nilainya dengan memperhatikan arus start dan selang waktunya sehingga tidak trip serta nilai yang tepat untuk trip (sesuai dengan kemampuan motor listrik yang dikendalikan) jika terjadi overload sehingga jaringan listrik segera terputus dan motor listrik aman dari kerusakan/terbakar. Karakteristik motor harus diketahui karakteristik thermalnya berdasarkan informasi dari motor (name plate) tersebut.

1. Terdapat konstruksi yang berhubungan langsung dengan terminal kontaktor magnet.
2. *Full automatic function, Manual reset*, dan memiliki pengaturan batas arus yang dikehendaki untuk digunakan.



3. Tombol *trip* dan tombol *reset trip*, dan semua sekerup terminal berada di bagian depan.
4. *Indikator trip*.
5. Mampu bekerja pada suhu -25°C hingga $+55^{\circ}\text{C}$ atau (-13°F hingga $+131^{\circ}\text{F}$).

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

1. Pelindung beban lebih / Overload.
2. Melindungi dari ketidakseimbangan fasa / *Phase failure imbalance*.
3. Melindungi dari kerugian / kehilangan tegangan fasa / *Phase Loss*.

3. Sekering (*Fuse*)

Sekering adalah suatu peralatan proteksi kerusakan yang disebabkan oleh arus berlebihan yang mengalir dan memutuskan rangkaian dengan meleburkan elemen sekering. Cara kerja fuse, jika dalam sebuah sistem rangkaian elektronika atau rangkain listrik terjadi arus lebih maka sekering (fuse) akan putus sehingga arus listrik tidak lagi mengalir dalam sistem tersebut, hal ini dimaksudkan untuk mengamankan komponen elektronika lain. Kelebihan arus tersebut dapat disebabkan karena adanya hubung singkat atau karena kelebihan beban output.

Breaking Capacity adalah kemampuan fuse mengamankan arus hubung singkat. Hal yang perlu diingat adalah apabila terjadi kasus beban lebih, fuse akan putus karena panas berlebihan yang terjadi pada suatu titik elemen lebur sementara pada arus hubung singkat akan menyebabkan elemen lebur fuse akan putus semua bagiannya. Fuse bekerja dengan karakteristik waktu sebagai arus hubung singkat, dimana waktu diperlukan hingga pengaman lebur mulai meleleh sejak terjadinya hubung singkat, waktu ini dikenal sebagai "pre arcing time". Berdasarkan daerah pemakaiannya fuse dapat dibedakan atas: Fuse D (Diazed) dan Fuse HRC (*High Rupturing Capacity*)



yang biasa disebut NH (Niede Hochlestuup). Sedangkan berdasarkan konstruksi cara pemakaiannya, fuse digolongkan atas jenis ulur dan *plug in*.^[11]

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sekering (fuse), yaitu:

1. Arus nominal sekering (*current rating*) adalah arus yang mengalir secara terus menerus tanpa terjadi panas yang berlebihan dan kerusakan
2. Tegangan nominal (*voltage rating*) yaitu tegangan kerja antar konduktor yang diproteksi atau peralatan
3. *Time current protection* yaitu suatu lengkung karakteristik untuk menentukan waktu pemutusan
4. *Pre arcing time* adalah waktu yang diperlukan oleh arus yang besar untuk dapat meleburkan elemen sekering
5. *Arcing time* adalah waktu elemen sekering melebur dan memutuskan rangkaian sehingga arus jatuh menjadi nol
6. *Minimum fusing current* adalah suatu harga minimum dari arus yang akan menyebabkan elemen sekering beroperasi (melebur)
7. *Fusing factor* adalah suatu perbandingan antara minimum fusing current dengan curret rating dari sekering. Umumnya sekering yang tergolong pada semi enclosed mempunyai faktor 2 dan untuk type HRC mempunyai faktor serendah mungkin 1,2
8. *Total operating time* adalah waktu total yang diambil oleh sekering secara lengkap dapat mengisolasi dengan gangguan
9. *Cut off* ini adalah satuan fungsi yang penting sekering HRC. Jika elemen sekering melebur dan membatasi harga arus yang dicapai ini kita kenal dengan sebutan “arus cut off”
10. *Categori of duty*. Sekering diklasifikasikan pada kategori kesanggupan dalam menangani gangguan sesuai dengan harga arus *prospective* pada rangkaian.

^[11] Tim Laboratorium Teknik Tenaga Listrik, *Bahan Ajar Pengaman Peralatan dan Manusia*, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2016, hlm 4



4. Earth Leakage Relay

Earth Leakage Relay atau rele arus bocor ke tanah digunakan untuk mengamankan body panel dari arus bocor, agar apabila saat terjadi kebocoran arus dan ada manusia disekitar panel yang menyentuh body panel tersebut maka manusia tersebut akan aman. Untuk memutuskan arus bocor yang terjadi ke body, trafo ukur akan mendeteksi arus yang bocor dan membangkitkan fluksi magnet. Fluksi magnet tersebut menggerakkan kontak-kontak Earth Leakage Relay sehingga amanlah body panel. ELR dilengkapi dengan tombol pengujian (test) dan tombol penyetelan ulang (reset) .Menekan tombol pengujian (test) memungkinkan kesalahan yang akan disimulasikan dan relay output beroperasi sesuai. Menekan tombol penyetelan ulang (reset) setelah terjadi kesalahan akan mengembalikan unit kembali ke operasi normal. Lampu LED merah akan menyala setelah satuan berjalan karena kesalahan arus yang berlebihan.

5. MCCB^[11]

Arus yang mengalir melebihi kemampuan suatu peralatan atau sistem instalasi listrik akan menyebabkan timbulnya panas berlebih yang tidak dapat ditanggung oleh isolasi peralatan tersebut. Keadaan ini berbahaya dan dapat menyebabkan rusaknya isolasi serta menimbulkan bunga api yang dapat menyebabkan kebakaran. Arus lebih harus dapat dibatasi dengan cara memutuskan rangkaian sehingga arus yang telah mencapai nilai tertentu tidak akan terus naik, bahkan akan berhenti mengalir, karena sumber listrik diputuskan padanya. Oleh karena itu digunakanlah MCCB sebagai pengaman pemutus rangkaian. MCCB (Moulded Case Circuit Breaker) adalah peralatan pengaman yang berfungsi sebagai pengamanan terhadap arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada dasarnya fungsi dan kerja MCCB hampir sama dengan MCB, yang membedakannya adalah reteng arus dan breaking capacity MCCB lebih besar dari pada MCB. Oleh sebab itu pada umumnya MCCB dijadikan sebagai pengaman utama dari MCB dan sebagai

^[11] Tim Laboratorium Teknik Tenaga Listrik, *Bahan Ajar Pengaman Peralatan dan Manusia*, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2016, hlm 8-9



peralatan pengaman untuk peralatan yang memiliki daya yang besar terutama pada industri. Seperti halnya pada MCB maka MCCB terdapat beberapa jenis type pemutusan yaitu:

1. Thermal
2. Magnetic
3. Solid State atau Elektronik.

MCCB memiliki rating arus yang relatif tinggi dan dapat diseting sesuai dengan kebutuhan.