



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

Motor arus bolak balik (AC) telah digunakan secara luas, di pemukiman, kawasan perdagangan, industri, maupun di bidang lain. Motor AC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor AC bisa menjadi bagian dari pompa air, kipas angin atau disambungkan dengan beberapa bentuk peralatan mekanik lainnya seperti *blower*, *konveyer*, atau *mixer*. Motor AC ditemukan dalam berbagai aplikasi dari yang memerlukan motor tunggal sampai aplikasi yang memerlukan gabungan beberapa motor.¹ Pada motor induksi, penerimaan tegangan dan arus pada rotor dilakukan dengan jalan induksi. Jadi rotor tidak langsung menerima tegangan atau arus dari luar.

Adapun keuntungan-keuntungan dalam menggunakan motor induksi adalah sebagai berikut :

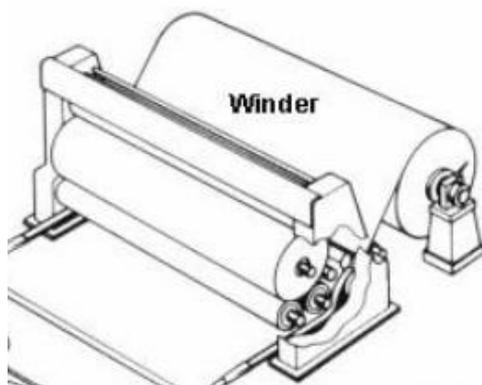
1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan handal.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi daya akibat gesekan berkurang.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

2.2 Jenis-Jenis Motor AC

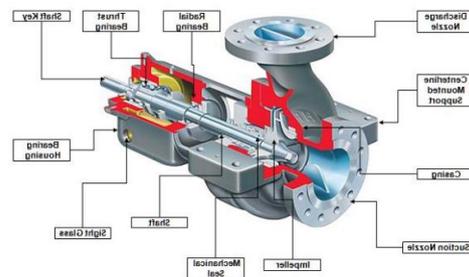
Dari segi hubungan putaran dan frekuensi atau putaran fluks magnet stator, motor AC dibedakan sebagai berikut :

¹ Iftadi, Irwan. *Kelistrikan Industri*, (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2015), hal.184.

1. Motor serempak (motor sinkron), putaran motor sama dengan putaran fluks magnet stator, motor tidak dapat berputar sendiri meski lilitan stator telah dihubungkan dengan tegangan luar, agar bergerak perlu penggerak permulaan, umumnya menggunakan mesin lain.
2. Motor asinkron (motor tak serempak), putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator, ada selisih yang disebut slip.



Gambar 2.1 Winder

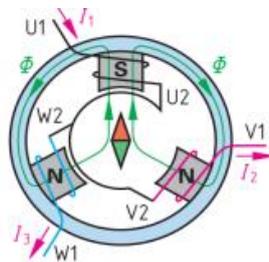


Gambar 2.2 Pump

Sumber : Kelistrikan Industri, 2015¹

2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi⁶

Prinsip kerja motor induksi lihat dari gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

¹ Iftadi, Irwan. Kelistrikan Industri, (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2015), hal.186.

⁶Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008), hlm.5-4.



Sumber : Mesin-Mesin Listrik Untuk D3

Ketika tegangan fasa U masuk ke belitan stator menjadikan kutub S (south=selatan), garis2 gaya mahnet mengalir melalui stator, sedangkan dua kutub lainnya adalah N (north=utara) untuk fasa V dan fasa W. Kompas akan saling tarik menarik dengan kutub S.

Berikutnya kutub S pindah ke fasa V, kompas berputar 1200 , dilanjutkan kutub S pindah ke fasa W, sehingga pada belitan stator timbul medan magnet putar. Buktinya kompas akan memutar lagi menjadi 2400 . Kejadian berlangsung silih berganti membentuk medan magnet putar sehingga kompas berputar dalam satu putaran penuh, proses ini berlangsung terus menerus. Dalam motor induksi kompas digantikan oleh rotor sangkar yang akan berputar pada porosnya. Karena ada perbedaan putaran antara medan putar stator dengan putaran rotor, maka disebut motor induksi tidak serempak atau motor asinkron.

Kecepatan medan magnet putar pada stator:⁶

$$n_s = \frac{f \times 120}{p} \text{ RPM} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{slip} = \frac{n_s \times nr}{n_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

n_s : kecepatan sinkron medan stator (rpm)

f : frekuensi (Hz)

nr : kecepatan poros rotor (rpm)

$slip$: selisih kecepatan stator dan rotor

⁶ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008), hlm.5-6

2.4 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa¹

Sebuah motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu rotor dan stator. Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik.



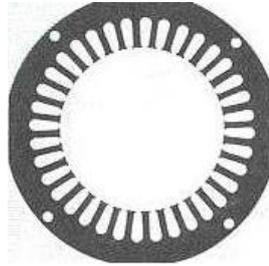
Gambar 2.4 Bagian Motor Induksi Tiga Fasa

Sumber : Kelistrikan Industri, 2015

2.4.1 Konstruksi Stator

Stator adalah bagian yang diam dari motor. Stator tersusun atas kumparan stator dan inti. Inti dari stator tersusun dari tumpukan lempengan besi tipis yang laminasi dan disatukan. Inti berfungsi sebagai dukungan mekanis sekaligus kanalisasi fluks magnet yang akan dihasilkan.

¹ Iftadi, Irwan. Kelistrikan Industri, (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2015), hal.187-188.



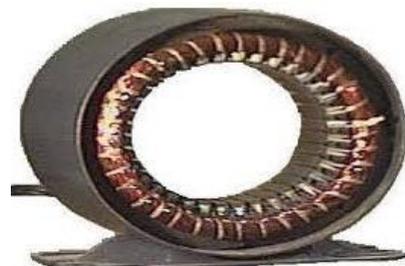
Gambar 2.5 Lempengan Tipis Pembentuk Stator

Sumber : Kelistrikan Industri, 2015

Kumparan stator merupakan kumpulan lilitan kawat penghantar yang terisolasi dan dimasukkan atau dililitkan kedalam inti stator (Gambar 2.6 dan Gambar 2.7). Setiap lilitan yang mengitari inti besi akan menghasilkan fluks magnet (elektromagnet). Dan elektromagnet adalah prinsip utama dari prinsip kerja motor. Lilitan stator dihubungkan secara langsung dengan sumber tenaga.



Gambar 2.6 Lilitan Stator



Gambar 2.7 Stator

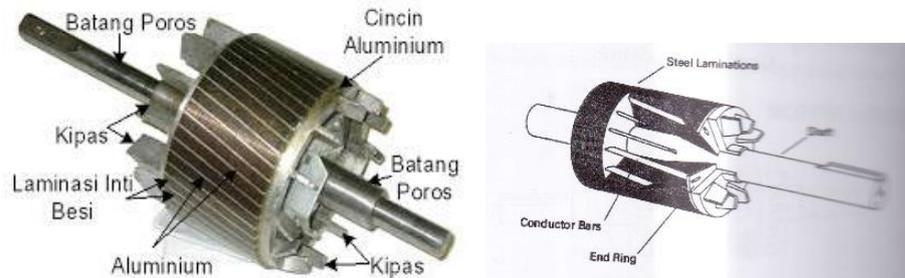
Sumber : Kelistrikan Industri, 2015

2.4.2 Konstruksi Rotor¹

Rotor adalah bagian yang berputar dari motor. Tipe rotor yang paling umum dipakai adalah rotor " *squirrel cage* " atau rotor sangkar tupai. Konstruksi rotor sangkar tupai diilhami dari putaran roda latihan

¹ Iftadi, Irwan. Kelistrikan Industri, (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2015), hal.189.

yang ditemukan pada kandang hewan peliharaan.



Gambar 2.8 Rotor

Sumber : Kelistrikan Industri, 2015

Rotor terdiri dari tumpukan lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor yang mengitarinya. Tumpukan besi yang dilaminasi disatukan untuk membentuk rotor. Aluminium (sebagai batang konduktor) dimasukkan ke dalam slot dari inti rotor untuk membentuk serangkaian konduktor yang mengelilingi inti rotor. Arus yang akan mengalir melalui konduktor akan membentuk elektromagnet. Secara mekanik dan elektrik batang-batang konduktor disambungkan ke ujung cincin. Inti rotor diletakkan menempel dari besi yang membentuk konstruksi rotor secara penuh.

2.4.3 Penutup (*Enclosure*)¹

Penutup terdiri dari suatu rangka (*frame* atau *yoke*) dan dua ujung brackets (*bearing housing*). Stator ditempatkan di dalam rangka. Rotor diletakkan di sisi dalam stator dan dipisahkan oleh rongga udara.

Sehingga tidak ada hubungan fisik secara langsung antara rotor dan stator.

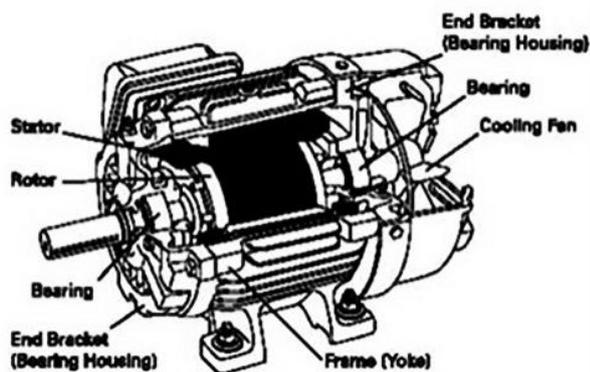
¹ Iftadi, Irwan. Kelistrikan Industri, (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2015), hal.190.



Gambar 2.9 Motor AC

Sumber : Kelistrikan Industri, 2015

Penutup juga melindungi dari bahaya listrik dan bagian motor yang bertegangan maupun berputar dari efek yang membahayakan lingkungan selama motor beroperasi. *Bearing* ditempelkan guna mendukung secara mekanis agar dapat rotor berputar. Sebuah kipas juga ditempatkan yang digunakan sebagai pendingin.¹



Gambar 2.10 Penampang dalam motor AC

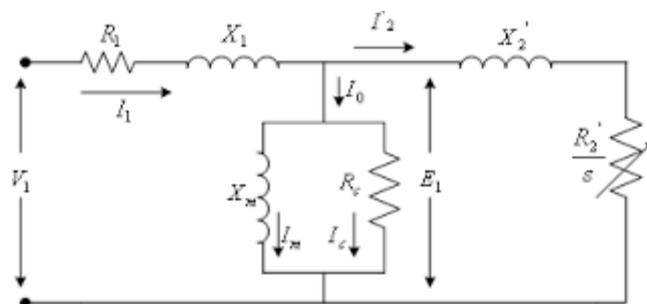
Sumber : Kelistrikan Industri, 2015

¹ Iftadi, Irwan. Kelistrikan Industri, (Yogyakarta : Graha Ilmu, 2015), hal.191.

2.5 Rangkaian Ekivalen²

Motor induksi 3 fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekivalen motor tanpa harus mengoperasikan motor.

Dari rangkaian ekivalen (Gambar 2.11) dibawah ini I_1 merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus I_m dan I_2 , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.



Gambar 2.11 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Sumber : Jurnal *Efisiensi Motor Induksi GBM-301 150 Kw*

Sebagai Fan For Dryer di Pusri IV, Palembang, 2016.

- V_p = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator
- R_1 = Resistansi kumparan stator
- X_1 = Reaktansi induktif kumparan stator
- X_m = Reaktansi magnet pada motor
- X_2 = Reaktansi induktif rotor dilihat dari sisi stator
- R_c = Tahanan inti besi
- R_2 = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator
- I_1 = Arus kumparan stator

² Marselia, Sella. Efisiensi Motor Induksi GBM-301 150 Kw Sebagai Fan For Dryer di Pusri IV Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya, hlm.13-14.

I_2 = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor distart.

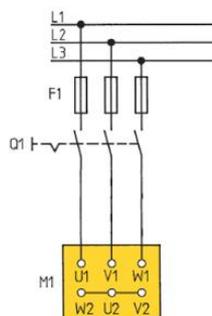
2.6 Pengasutan Motor Induksi⁶

Pengasutan motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar arus starting kecil dan drop tegangan masih dalam batas toleransi. Ada beberapa cara teknik pengasutan, diantaranya :

1. Hubungan langsung (*Direct On Line = DOL*)
2. Tahanan depan Stator (*Primary Resistor*)
3. Segitiga-Bintang (*Start-Delta*)
4. Pengasutan *Soft starting*
5. Tahanan Rotor lilit

2.6.1 *Direct On Line (DOL)*

Pengasutan hubungan langsung atau dikenal dengan istilah *Direct On Line (DOL)* gambar 2.12. Jala-jala tegangan rendah 380 V melalui pemutus rangkaian atau kontaktor Q1 langsung terhubung dengan motor induksi. Sekering berfungsi sebagai pengaman hubung singkat, jika terjadi beban lebih diamankan oleh relay pengaman beban lebih (*overloadrelay*).



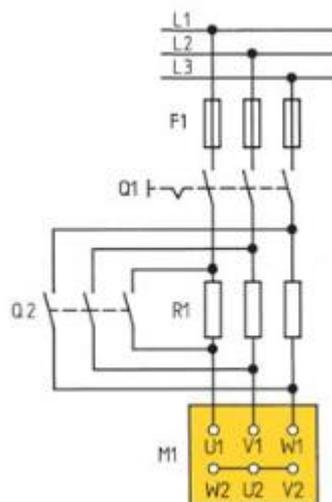
Gambar 2.12 Rangkaian DOL

⁶ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008), hlm.5-11.

Saat pemutus rangkaian/ kontaktor di ON kan motor induksi akan menarik arus starting antara 5 sampai 6 kali arus nominal motor. Untuk motor induksi dengan daya kecil 5 KW, hubungan langsung bisa dipakai. Arus starting yang besar akan menyebabkan drop tegangan disisi suply. Rangkaian jenis ini banyak dipakai untuk motor penggerak mekanik seperti mesin bubut, mesin bor, mesin freis.

2.6.2 Tahanan depan Stator (*Primary Resistor*)

Pengasutan dengan memasang resistor pada rangkaian stator gambar 2.13. Pertama kali kondisi starting kontaktor Q1 ON, maka tegangan jala-jala PLN ke rangkaian stator dengan melewati resistor R1. Fungsi resistor untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan ke stator berkurang 50%, maka arus starting ditekan menjadi 50% yang akan menyebabkan torsi menjadi 25% dari torsi nominalnya.

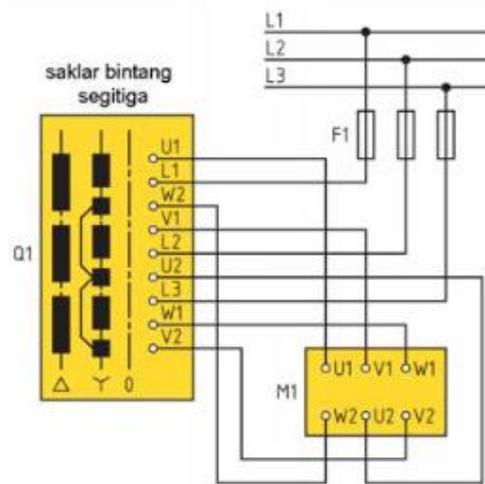


Gambar 2.13 Resistor Stator

Setelah proses starting selesai, kontaktor Q2 di ON kan sehingga stator mendapat tegangan nominal dan motor akan menarik arus nominal dan hasilnya adalah torsi nominal. Belitan stator motor induksi dalam hubungan bintang, dimana terminal W2, U2 dan V2 dihubung-singkatkan.

2.6.3 Segitiga-Bintang (*Start-Delta*)

Motor induksi dengan pengasutan segitiga-bintang dengan saklar manual gambar-5.22. Rangkaian bintang segitiga juga dapat dilaksanakan dengan menggunakan kontaktor secara elektromagnetik. Motor induksi dirangkai dengan saklar manual bintang-segitiga.



Gambar 2.14 Rangkaian *Star-Delta*

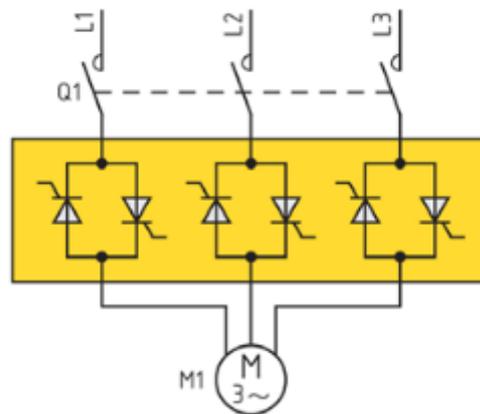
Saat saklar posisi tuas 0, semua rangkaian terbuka, sehingga motor dalam kondisi tidak bertegangan. Saat saklar posisi bintang (tanda Y), L1-U1; L2-V1 dan L3-W1, sementara W2-U2-V2 dihubungkan singkatkan.

Ketika saklar posisi segitiga, motor induksi bekerja pada tegangan normal, arus nominal dan torsi nominal. Belitan stator mendapatkan tegangan sebesar tegangan fasa ke fasa. Harus diperhatikan nameplate motor untuk hubungan segitiga bintang harus disesuaikan dengan tegangan kerja yang digunakan, jika salah menggunakan belitan akan terbakar.

2.6.4 *Soft starting*

Pengasutan *Soft starting* menggunakan komponen solid-state, yaitu enam buah Thyristor yang terhubung antiparalel gambar-5.25. Saat saklar

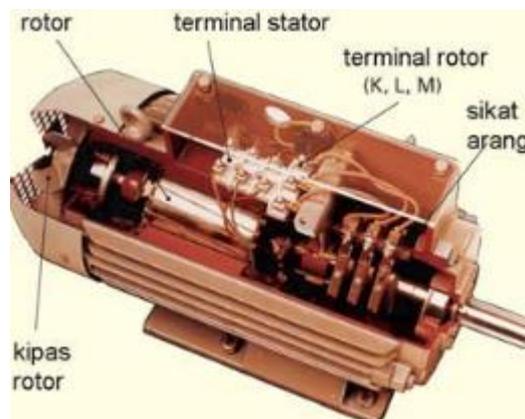
Q1 di ON kan tegangan akan dipotong gelombang sinusoidanya oleh enam buah *Thyristor* yang dikendalikan oleh rangkaian triger. Dengan mengatur sudut penyalaan triger Thyristor, sama mengatur tegangan ke belitan stator motor. Dengan k sebagai ratio tegangan asut dengan tegangan nominal besarnya torsi motor starting.



Gambar 2.15 Rangkaian Soft Starting

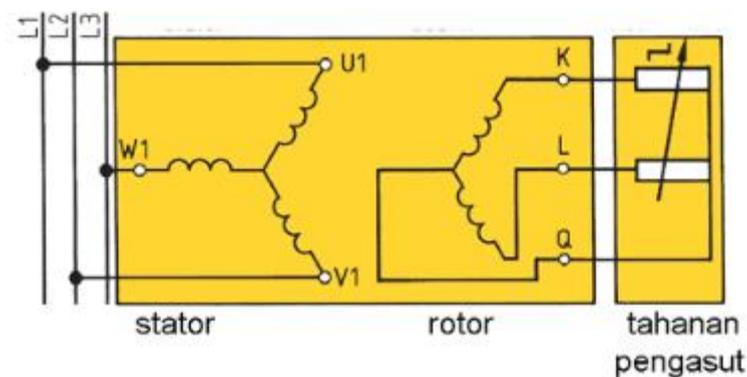
2.6.5 Tahanan Rotor lilit

Motor slipring gambar 2.16 atau sering disebut motor rotor lilit termasuk motor induksi 3 fasa dengan rotor belitan dan dilengkapi dengan slipring yang dihubungkan dengan sikat arang ke terminal. Motor slipring dirancang untuk daya besar.



Gambar 2.16 Motor Induksi Rotor Slipring

Motor slipring pada terminal box memiliki sembilan terminal, enam terminal terhubung dengan tiga belitan stator masing-masing ujungnya (U1-U2, V1-V2 dan W1-W2), tiga terminal (K-L-M) terhubung ke belitan rotor melalui slipring. Ada tiga cincing yang disebut slipring yang terhubung dengan sikat arang. Sikat arang ini secara berkala harus diganti karena akan memendek karena aus. Pengasutan rotor lilit gambar 2.17 belitan rotor yang ujungnya terminal K-L-M dihubungkan dengan resistor luar yang besarnya bisa diatur. Dengan mengatur resistor luar berarti mengatur besarnya resistor total yang merupakan jumlah resistansi rotor dan resistansi luar ($R_{\text{rotor}} + R_{\text{luar}}$), sehingga arus rotor I_2 dapat diatur.



Gambar 2.17 Belitan Stator dan Rotor Motor Slipring berikut Resistor pada Rangkaian Rotor

2.7 Sistem Proteksi⁷

Proteksi adalah suatu pengamanan atau perlindungan suatu sistem tertentu untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diharapkan atau bahkan merugikan sistem tersebut.

Suatu sistem tenaga listrik tidak selamanya berjalan ideal, karena dalam kenyataannya dapat terjadi suatu kondisi abnormal seperti adanya

⁷ Tasiam, F.J. , Proteksi Tenaga Listrik, (Yogyakarta : Teknosain, 2017), hal.12-13.



gangguan atau terjadinya (*short circuit*). Kondisi abnormal tersebut dapat membahayakan sistem secara keseluruhan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari kondisi abnormal tersebut.

Fungsi dari sistem proteksi adalah :

1. Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal) semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang di gunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.
2. Untuk mempercepat melokalisir luas/zone daerah yang terganggu sehingga menjadi sekecil mungkin.
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik
4. Untuk mengamankan manusia (terutama) terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.8 Persyaratan Kualitas Proteksi⁷

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif yaitu sebagai berikut :

1. Selektivitas dan Diskriminasi
Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja.
2. Stabilitas
Sifat yang tetap tidak beroperasi apabila gangguan-gangguan terjadi di luar zona yang melindungi (gangguan luar).
3. Kecepatan Operasi

⁷ Tasiam, F.J. Proteksi Tenaga Listrik, (Yogyakarta : Teknosain, 2017), hal.16.



Sifat ini lebih jelas, semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kerusakan peralatan. Hal yang penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu.

4. Sensitivitas (kepekaan)
5. Realiabilitas (keandalan)

2.9 Gangguan Terhadap Motor 3 Fasa

Gangguan adalah terjadinya suatu kerusakan di dalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus dibelokkan dari saluran yang sebenarnya.

Motor induksi 3 fasa tidak lepas dari gangguan - gangguan yang dapat merusaknya. Gangguan-gangguan itu dapat datang dari luar (extern) motor yaitu gangguan yang disebabkan oleh alam atau diluar sistem misalnya terputusnya saluran kabel karena angin, badai, petir, dan sebagainya. ataupun dari kondisi buruk motor itu sendiri. Gangguan juga dapat datang dari dalam (intern) yang disebabkan oleh sistem itu. Akibat gangguan yang terjadi pada sistem itu sendiri sebagai berikut:

2.9.1 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda.

Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Faktor eksternal adalah antara lain cuaca buruk, seperti badai, hujan, dingin; bencana, seperti gempa bumi, angin ribut, kecelakaan kendaraan; runtuhnya pohon; petir; aktivitas konstruksi, ulah manusia, dan lain-lain. Sebagian besar gangguan terjadi karena cuaca buruk, yaitu hujan atau badai, dan pohon. Untuk mengatasi gangguan tersebut, maka dipasang

suatu komponen proteksi yang berfungsi sebagai pemutus saat terjadi hubung singkat.

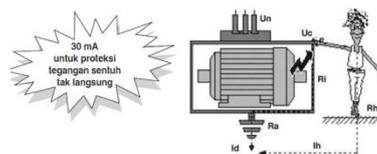
2.9.2 Gangguan Beban Lebih

Apabila motor mengangkat beban yang lebih berat, maka arus yang mengalir pada motor itu akan bertambah besar. Suatu motor listrik dikatakan mempunyai beban lebih, apabila arus yang mengalir melebihi arus nominalnya. Seperti telah dijelaskan di atas bahwa motor yang berbeban lebih akan menyerap arus yang berlebihan, sehingga timbul panas yang tinggi. Panas yang tinggi dan terus-menerus akan menyebabkan kerusakan pada lilitan motor, yang akhirnya dapat membakar lilitan motor.

Oleh karena itu, untuk melindungi atau mengamankan motor dari panas yang berlebihan, maka dipasanglah relay suhu beban lebih. Dalam perdagangan, dikenal dengan nama *Thermal Overload Relays* (TOR).

2.9.3 Gangguan Arus Bocor

Arus dikatakan bocor jika arus mengalir diluar konduktor (kabel misalnya). Bisa saja ada isolasi kabel yang terkelupas sehingga menempel pada *body* atau benda lainnya. Arus pun akan mengalir. Dengan adanya *grounding* maka arus tersebut yang berpotensi mengancam manusia dapat dibuang ke bumi.



Gambar 2.18 Tegangan tak langsung



2.10 Rele Proteksi⁵

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen.

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau dimulai merasakan adanya gangguan atau memulai merasakan ketidak normalan pada peralatan.

Dari uraian di atas maka fungsi rele proteksi pada sistem tenaga listrik sebagai berikut :

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
4. Mencegah bahaya bagi manusia sekitar.

Untuk melaksanakan fungsi di atas maka rele pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Dapat diandalkan (*reliable*)
2. Selektif

⁵ Samaulah, Hazairin, Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, (Palembang : Universitas Sriwijaya, 2000), hal.2-4



3. Waktu kerja rele cepat
4. Peka (sensitif)
5. Ekonomis dan sederhana

2.11 Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Kawat penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menghantarkan tenaga listrik pada sistem saluran udara dari Pusat Pembangkit ke Pusat-Pusat Beban (load center), baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan untuk saluran udara didasarkan pada besarnya beban yang dilayani, makin luas beban yang dilayani makin besar ukuran penampang kawat penghantar yang digunakan. Dengan penampang kawat yang besar akan membuat tahanan kawat menjadi kecil. Agar tak terjadi kehilangan daya pada jaringan dan daya guna (efisiensi) penyaluran tetap tinggi, diperlukan tegangan yang tinggi. Dengan demikian besarnya penampang kawat penghantar tidak mempengaruhi atau mengurangi penyaluran tenaga listrik. Tetapi dengan penampang kawat yang besar akan membuat kenaikan harga peralatan. Oleh sebab itu pemilihan kawat penghantar diperhitungkan seekonomis mungkin dengan konduktivitas dan kekuatan tarik yang tinggi, serta dengan beban yang rendah tentunya.

$$KHA = 125\% \times I_n \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

I_n = Arus nominal motor

Safety Factor = 125%

Berikut Daftar KHA menurut ketentuan PUIL 2000 :

Luas Penampang mm ²	Ampere	Ampere Motor	Ohm/km
0.75	11	8.8	24.7
1	14	11.2	18.5
1.5	16	12.8	12.7
2.5	23	18.4	7.6
4	33	26.4	4.71
6	40	32	3.14
10	55	44	1.82
16	74	59.2	1.16
25	97	77.6	0.743
35	122	97.6	0.527
50	151	120.8	0.368
70	186	148.8	0.259
95	225	180	0.196
120	263	210.4	0.153
150	302	241.6	0.123
185	344	275.2	0.101
240	408	326.4	0.0763

Gambar 2.19 Tabel KHA

2.12 Push Button

Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Sistem kerja unlock disini berarti saklar akan bekerja sebagai device penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali pada kondisi normal.



Gambar 2.20 Push Button



Sebagai device penghubung atau pemutus, push button switch hanya memiliki 2 kondisi, yaitu On dan Off (1 dan 0). Istilah On dan Off ini menjadi sangat penting karena semua perangkat listrik yang memerlukan sumber energi listrik pasti membutuhkan kondisi On dan Off.

Karena sistem kerjanya yang unlock dan langsung berhubungan dengan operator, push button switch menjadi device paling utama yang biasa digunakan untuk memulai dan mengakhiri kerja mesin di industri. Secanggih apapun sebuah mesin bisa dipastikan sistem kerjanya tidak terlepas dari keberadaan sebuah saklar seperti push button switch atau perangkat lain yang sejenis yang bekerja mengatur pengkondisian On dan Off.

Berdasarkan fungsi kerjanya yang menghubungkan dan memutuskan, push button switch mempunyai 2 tipe kontak yaitu NC (Normally Close) dan NO (Normally Open).

1. NO (Normally Open), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya terbuka (aliran arus listrik tidak mengalir). Dan ketika tombol saklar ditekan, kontak yang NO ini akan menjadi menutup (Close) dan mengalirkan atau menghubungkan arus listrik. Kontak NO digunakan sebagai penghubung atau menyalakan sistem circuit (Push Button ON).
2. NC (Normally Close), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya tertutup (mengalirkan arus listrik). Dan ketika tombol saklar push button ditekan, kontak NC ini akan menjadi membuka (Open), sehingga memutus aliran arus listrik. Kontak NC digunakan sebagai pemutus atau mematikan sistem circuit (Push Button Off).

2.13 Kontaktor³

Kontaktor seperti juga relai, keduanya adalah saklar yang bekerja secara elektromagnetis, dengan bantuan mekanis. Kontaktor dibedakan antara kontaktor utama dan kontaktor bantu. Fungsi kontaktor utama yaitu sebagai saklar rangkaian utama arus searah atau bolak-balik. Contoh pada pengendalian motor, kondensator dan rangkaian pemanas dan penerangan.

Prinsip kerja Kontaktor adalah ada sebuah arus yang menggerakkan coil untuk mengubah kontak dari kontaktor yang semulanya NO (Normali Open) menjadi NC (Normali Close) karena ketarik oleh coil yang sudah mendapat arus dan menjadi magnet.



Gambar 2.21 Kontaktor

Kelebihan penggunaan kontaktor sebagai berikut :

1. Pemisah antara rangkaian pengendali dengan utama
2. Tidak saling mengganggu rangkaian arus lainnya
3. Mampu pada kondisi ekstrem (suhu dan lembab)
4. Momen kontak lebih cepat dibanding saklar manual.

Selain kelebihan tetap juga ada kekurangan yang di alami dalam penggunaan kontaktor yaitu sebagai berikut :

1. Kecepatan gerak kontak terbatas

³ Prihatno, Eddy. Teknik Dasar Pengendalian Motor Listrik, (Yogyakarta : Penerbit Gava Media, 2019), hal.41



2. Kontak bersuara saat menutup
3. Bila kontak berarus dan tiba-tiba trip, maka akan timbul bunga api.
4. Harga mahal.

Untuk menghitung kontaktor (rangkaian DOL) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{\text{kontaktor}} = I_n \times 125\% \dots \dots \dots (2. 4)$$

Dimana :

I_n = arus nominal motor

dan 125% berdasarkan PUIL.

2.14 Fuse⁷

Sekring atau *fuse* adalah sebuah komponen yang di dalamnya berisi seutas kawat yang sangat tipis, terbuat dari bahan logam campuran khusus yang dapat meleleh pada suhu yang relative rendah. Sekring atau *fuse* adalah alat yang dapat memutuskan arus listrik pada saat terjadi hubung singkat (*short*) atau arus berlebih (*overcurrent*). Kelebihan arus tersebut dapat disebabkan karena adanya hubung singkat atau karena kelebihan beban output.

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. Banyak terjadi kebakaran karena hubung singkat akibat sekering tidak berfungsi, rusak, atau bahkan karena tidak dipasang sama sekali.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sekering (Syarat Sekering):

⁷ Tasiyam, F.J. Proteksi Tenaga Listrik, (Yogyakarta : Teknosain, 2017), hal.66.



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.
8. HRC mempunyai faktor serendah mungkin 1,2.
9. Total operating time adalah waktu total yang diambil oleh sekering secara lengkap dapat mengisolasi dengan gangguan.
10. *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”.
11. Categori of duty. Sekering diklasifikasikan pada kategori kesanggupan dalam menangani gangguan sesuai dengan harga arus prospective pada rangkaian. Katagori A1 dan A2 untuk arus propectif. 1.0.kA dan 4.0 kA. Sedangkan untuk kategori AC3, AC4 dan AC5 untuk arus 16,5 kA, 33 kA dan 46 kA.



Besarnya arus yang dapat meleburkan suatu pengaman lebur disebut faktor lebur.

Menghitung arus start motor sebagai berikut :

$$I_{\text{start}} = 6 \times I_n \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

I_n = Arus nominal motor

Rangkaian untuk pengasut langsung akan memutus atau menghubungkan suplai utama ke motor secara langsung. Karena arus pengasutan motor dapat mencapai 6 sampai 8 kali lebih besar dari arus kondisi normal

$$I_n = \frac{P}{v} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

P = Daya (W)

V = Tegangan motor (volt)

$$I_{rc} = I_n \times 2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

I_n = Arus nominal (A)

Agar fuse yang digunakan awet, maka ukuran fuse harus dua kali dari arus yang akan melewatinya pada saat operasi normal.

Type Sekering (fuse)

Ada dua type dasar sekering :

1. *Semi enclosed type* adalah type untuk arus dengan rating yang rendah dan category of duty yang rendah.

2. *Cartridge type* adalah merupakan type yang mempunyai kapasitas pemutusan yang tinggi (*High-Ruptring Capacity*) yang lebih dikenal dengan istilah HRC fuse.



Gambar 2.22 *Semi Enclosed FUSE*

2.15 Thermal Overload Relay

TOR adalah peralatan pengaman peralatan listrik terhadap arus beban lebih. Pengaman ini bekerja berdasarkan panas yang ditimbulkan oleh adanya arus listrik yang melebihi batas harga nominalnya. Jika arus yang melalui penghantar menuju motor listrik melebihi kapasitas atau *setting* TOR, maka TOR drop atau terputus sehingga rangkaian yang menuju motor listrik terputus. Energi panas tersebut akan di ubah menjadi energi mekanik oleh logam bimetal untuk melepaskan kontak-kontaknya, dengan terlepasnya kontak-kontak akibat arus yang mengalir melebihi batas nominalnya maka akan membuka atau memutuskan suatu rangkaian kelistrikan sehingga melindungi peralatan listrik tersebut dan kerusakan yang di akibatkan oleh arus lebih tersebut. TOR banyak di gunakan sebagai pelindung motor-motor listrik.

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

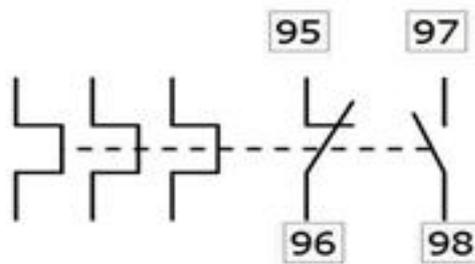
pada kasus terjadinya hilang satu fasa), namun apabila dibutuhkan rangkaian untuk trip segera saat kehilangan satu fasa, maka perlu diperlukan tambahan alat proteksi lain. Thermal overload relay ini bisa dipasangkan langsung dengan kontaktornya maupun terpisah sehingga sangat fleksibel untuk pemasangannya di dalam panel. Pemilihan jenis Thermal Overload Relay ditentukan oleh *rating/setting* arus sesuai dengan arus nominal rangkaian pada beban penuh dan kelas trip-nya. Untuk pemakaian standar digunakan kelas trip 10 yaitu thermal overload akan trip pada $7,2 I_r$ dalam waktu 4 detik.



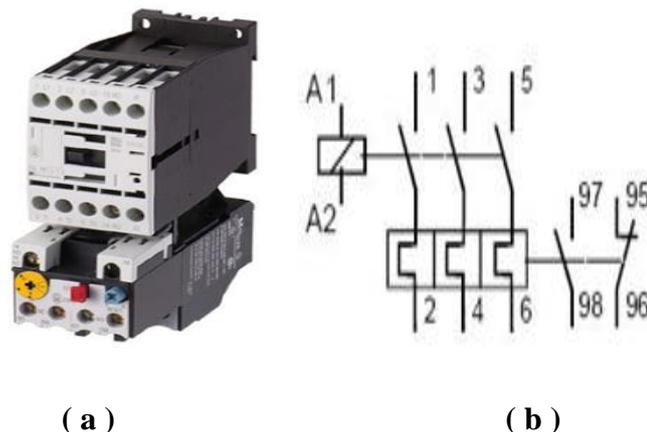
Gambar 2.23 Thermal Overload Relay

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 pengamanan beban lebih pada rangkaian dengan daya kecil.

Cara kerja *thermal overload*, apabila *resistance wire* dilewati arus lebih besar dari nominalnya, maka bimetal akan *trip*, bagian bawah akan melengkung ke kiri dan membawa *slide* ke kiri, gesekan ini akan membawa lengan kontak pada bagian bawah tertarik ke kiri dan kontak akan lepas. Selama bimetal *trip* itu masih panas, maka di bagian bawah akan tetap terbawa ke kiri, sehingga kontak-kontaknya belum dapat dikembalikan ke kondisi semula walaupun *reset button*-nya ditekan, apabila bimetal sudah dingin barulah kontaknya dapat kembali lurus dan kontak-kontaknya baru dapat di hubungkan kembali dengan menekan *reset button*.



Gambar 2.24 Diagram Kontak kontak pada TOR



(a)

(b)

Gambar 2.25 (a)Penyambungan TOR dengan *Magnetic Contactor*, (b) Diagram pemasangan TOR pada *Magnetic Contactor*



2.15.1 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 karakteristik 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 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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:

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



Untuk menghitung Iset TOR berdasarkan persamaan berikut :

$$I - Setting = I \text{ nominal} \times 110\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

In = Arus Nominal motor

2.15.2 Proteksi Terhadap Efek Thermal

Manusia perlengkapan pasangan tetap, dan bahan pasangan tetap yang berdekatan dengan perlengkapan listrik harus di beri proteksi terhadap efek panas yang berbahaya yang di hasilkan oleh perlengkapan listrik, atau radiasi thermal, terutama efek berikut ini :

1. Pembakaran atau penurunan mutu (degradasi) bahan
2. Resiko luka bakar
3. Pemburukan fungsi kesemutan dari perlengkapan yang terpasang

2.15.3 Proteksi Kebakaran

Perlengkapan listrik tidak boleh menimbulkan bahaya kebakaran pada bahan yang berada di dekatnya. Instruksi pemasangan dari pabrikan harus dipatuhi. Perlengkapan magun (pasangan tetap) yang menyebabkan pemusatan atau konsentrasi panas harus berada pada jarak yang cukup dari setiap benda atau bagian bangunan pasangan tetap, sehingga benda atau elemen bangunan tersebut dalam kondisi normal tidak dapat terkena suhu yang berbahaya.

2.15.4 Proteksi Terhadap Panas Lebih

Semua piranti yang menghasilkan air panas atau uap panas harus diberi proteksi ketika di desain atau pada pemasangan terhadap



panas lebih dalam semua kondisi pelayanan. Kecuali jika piranti secara keseluruhan memenuhi standar yang sesuai, maka pengaman harus dilaksanakan dengan sarana gawai tanpa reset sendiri yang sesuai, yang berfungsi tidak tergantung dari termostat jika piranti tidak mempunyai keluaran yang bebas, maka harus dilengkapi juga dengan gawai yang membatasi tekanan air.

2.15.5 Proteksi beban lebih dan hubung pendek

Gawai harus di siapkan untuk memutus setiap beban lebih yang mengalir pada penghantar sirkit sebelum arus tersebut dapat menyebabkan kenaikan suhu yang merusak isolasi, sambungan terminasi atau sekeliling penghantar. Gawai proteksi harus disediakan untuk memutuskan setiap arus hubung pendek yang mengalir pada penghantar sirkit sebelum hubung pendek yang mengalir pada penghantar sirkit sebelum arus tersebut dapat menyebabkan bahaya karena efek termal dan mekanik yang terjadi pada penghantar dan hubungan. Koordinasi antara penghantar dan gawai proteksi di tentukan dalam karakteristik operasi suatu gawai yang memproteksi kabel terhadap beban lebih harus memenuhi dua kondisi.

$$I_R \leq I_n \leq I_Z \leq 1,45 I_Z \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana :

- I_B = Arus yang mendasari desain sirkit
- I_Z = Kemampuan Hantar Arus (KHA) kontiniu dari kabel
- I_n = Arus nominal dari gawai proteksi
- I = Arus yang menyamai operasi efektif gawai proteksi

Gawai proteksi harus disediakan untuk memutus setiap arus hubung pendek yang mengalir pada penghantar sirkit sebelum arus tersebut dapat menyebabkan bahaya karena efek thermal dan mekanik yang terjadi pada penghantar dan hubungan.



Semua arus yang disebabkan hubung pendek yang terjadi pada setiap titik sirkit harus diputus dalam waktu yang tidak melampaui waktu yang membuat penghantar mencapai suhu batas yang dapat diterima. Untuk hubung singkat /pendek yang mendasari sampai dengan 5 detik, maka waktu (t) dapat dihitung dari rumus pendekatan sebagai berikut

$$\sqrt{t} = k \times \frac{s}{I} \dots\dots\dots (2.10)$$

Ket :

- t : Durasi dalam detik
- s : Luas penampang penghantar dalam mm
- I : Arus hubung pendek efektif dalam ampere (A)
- k : 115 untuk penghantar tembaga diisolasi dengan PVC

2.16 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. Earth Leakage Relay seperti pada gambar 2.18.

Terjadinya kebocoran arus pada panel bisa saja terjadi karena isolasi yang sudah tidak memenuhi standar nya lagi, untuk standar tahanan pada isolasi yang layak digunakan adalah :

$$R_{isolasi} = 1000\Omega \cdot v \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

V= Tegangan pada motor

Untuk menghitung penyetelan arus bocor digunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{bocor} = \frac{V}{R_{isolasi}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

V = Tegangan pada motor

Risolasi = Tahanan yang berlaku pada alat



Gambar 2.26 Earth Leakage Relay