

**ANALISIS SISTEM PENGAMAN MOTOR CHILLER  
DI GEDUNG BERTINGKAT**

**SKRIPSI**

**ISMAIL  
0405230256**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JULI 2008**

**ANALISIS SISTEM PENGAMAN MOTOR CHILLER  
DI GEDUNG BERTINGKAT**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknik**

**ISMAIL  
0405230256**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JULI 2008**

## **PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Ismail**

**NPM : 0405230256**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 14 Juli 2008**

## PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Ismail  
NPM : 0405230256  
Departemen : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Sistem Pengaman Motor Chiller di  
Gedung Bertingkat

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo MT ( ..... )

Penguji : Dr. Ir. Iwa Garniwa M K MT ( ..... )

Penguji : Budi Sudiarto ST, MT ( ..... )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2008

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuannya baik secara moril maupun materil sehingga terselesaikan skripsi ini :

- (1) Ir. Amien Rahardjo MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) PPKP Menara Sudirman yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) Sahabat dan orang-orang yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi kita semua dalam pengembangan ilmu.

Depok, 14 Juli 2008

Penulis

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ismail  
NPM : 0405230256  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“Analisis Sistem Pengaman Motor Chiller di Gedung Bertingkat”**

Dengan Hak Bebas Royalti noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 14 Juli 2008

Yang menyatakan

( Ismail )

## **ABSTRAK**

Nama : Ismail  
Departemen : Teknik Elektro  
Judul : Analisis Sistem Pengaman Motor Chiller di Gedung Bertingkat

Skripsi ini membahas mengenai sistem pengaman pada motor chiller, dimana chiller ini digunakan sebagai sistem penyejukan ruangan pada gedung bertingkat. Pengamanan terhadap chiller sangat diperlukan terutama untuk melindungi motornya dari gangguan sehingga juga dapat melindungi chiller dari kerusakan yang terjadi, selain itu untuk melindungi lingkungan disekitar maupun pada makhluk hidup (manusia). Gangguan yang timbul pada chiller dapat disebabkan oleh arus dan tegangannya, beban yang tidak stabil di motor maupun dari lingkungannya; sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada motor, kebakaran dan kematian. Peralatan pengaman yang digunakan dalam sistem pengaman motor chiller dapat berupa circuit breaker (MCCB dan ELCB) maupun Phase Failure Relay (Motor Saver). MCCB digunakan sebagai pengaman hubung singkat, beban lebih dan arus lebih; ELCB untuk arus bocor; sedangkan Motor Saver digunakan untuk pengaman tegangan kurang/lebih, asimetris tegangan, hilangnya salah satu phasa maupun tegangan balik pada Chiller yang disebabkan oleh motor.

Kata kunci :  
Sistem, pengaman, motor, chiller

## **ABSTRACT**

Name : Ismail  
Department : Electrical Engineer  
Title : Protection System Motor Chiller Analyze at High Rise Building

The focus of this study is worked through about protection system at motor chiller, which is the chiller used for air conditioner system in high rise building. Chiller protection is very important specially to protect the motor from disturbance so the chiller can be protected from damage. Also to protect the environment and human living, specially human being. The disturbance on chiller can be caused by electricity current and power supply, unstable load on motor chiller and around chiller with the result can caused damage on motor, fire or death. Protection device that is used inside motor chiller protection system are circuit breaker (MCCB and ELCB) and also Phase Failure Relay (Motor Saver). MCCB is using as protector from short circuit, overload and over current; ELCB as protector from leaked current; while Motor Saver is using as protector from under/over voltage, asymmetry voltage, lose one of voltage and reversal voltage on chiller which is cause by motor chiller.

Key words:  
System, protection, motor, chiller

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGHANTAR .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Penulisan.....	1
1.2. Permasalahan .....	2
1.3. Pembatasan masalah .....	2
1.4. Tujuan Penulisan.....	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II PENGAMANAN MAHLUK HIDUP DAN PERALATAN</b>	
<b>INSTALASI LISTRIK .....</b>	<b>5</b>
2.1. Pengamanan Mahluk Hidup.....	5
2.1.1. Tegangan Sentuh .....	7
2.1.1.1. Tegangan Sentuh Langsung.....	7
2.1.1.2. Tegangan Sentuh Tidak Langsung.....	8
2.2. Pengaman Peralatan dan Instalasi Listrik.....	8
2.2.1. Pengaman Hubung Singkat .....	9
2.2.1.1. Fuse .....	9
2.2.1.2. MCB .....	10
2.2.2. Pengaman Beban Lebih dan Arus Lebih .....	14
2.2.2.1. Pengertian Beban Lebih dan Arus Lebih .....	14
2.2.2.2. MCCB .....	15
2.2.3. Kode IP .....	16
2.2.4. Penghantar .....	18
2.2.4.1. Penghantar Pejal (Kabel) .....	19
2.2.4.2. Penghantar Persegi/Rel (Busbar) .....	19
2.2.5. Cascading dan Diskriminasi Circuit Breaker .....	20
2.2.5.1. Cascading Circuit Breaker .....	20
2.2.5.2. Diskriminasi Circuit Breaker .....	21
2.3. Motor Listrik .....	23
2.3.1. Klasifikasi Motor Induksi .....	24
2.3.2. Pengendalian Kecepatan Motor Induksi .....	24
2.3.2.1. Motor dengan beberapa Kecepatan .....	25



2.3.2.2. Penggerak Kecepatan Variabel/Variable Speed Drives	25
2.3.2.3. Penggerak Arus Searah .....	26
2.3.2.4. Penggerak Motor AC dengan Gulungan Rotor .....	26
<b>BAB III ANALISIS SISTEM PENGAMAN PADA MOTOR CHILLER</b>	<b>27</b>
3.1. Dasar Menentukan Rating Pengaman yang Dipakai.....	27
3.1.1. Perhitungan Pengaman .....	29
3.1.1.1. Rating MCCB .....	31
3.1.1.2. Rating KHA .....	33
3.2 Pengamanan Manusia.....	34
3.2.1. Tegangan Sentuh Langsung .....	34
3.2.1.1. Dengan Cara Mengisolasi bagian Aktif .....	35
3.2.1.2. Dengan Memasang Penghalang atau Selungkup .....	35
3.2.1.3. Dengan Memberi Rintangan .....	35
3.2.1.4. Dengan Penempatan diluar jangkauan .....	35
3.2.2. Tegangan Sentuh Tidak Langsung .....	36
3.2.2.1. Pentanahan .....	36
3.2.2.2. ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) .....	37
3.2.2.3. Isolasi Ganda .....	39
3.3. Pengaman Motor Listrik .....	40
3.3.1. Akibat Asimetris tegangan .....	40
3.4. Analisis Gangguan pada Motor .....	41
3.4.1. Alat yang di Gerakkan .....	41
3.4.2. Jaringan Supply .....	43
3.4.3. Keadaan sekeliling .....	46
3.5. Analisis Sistem Pengaman Motor Chiller.....	47
3.5.1. Single Line .....	47
3.5.2. Analisis Kerja Sistem Pengaman Motor Chiller.....	47
<b>BAB IV KESIMPULAN</b> .....	<b>50</b>
DAFTAR ACUAN .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52
LAMPIRAN.....	53

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b>	Diagram Alir Metodologi Penelitian	3
<b>Gambar 2.1.</b>	Grafik Lung Dalziel	6
<b>Gambar 2.2.</b>	Pembatasan arus hubung singkat dengan fuse	10
<b>Gambar 2.3.</b>	Bagian-bagian MCB	11
<b>Gambar 2.4.</b>	Karakteristik MCB Tipe G	12
<b>Gambar 2.5.</b>	Karakteristik MCB Tipe L	13
<b>Gambar 2.6.</b>	Karakteristik MCB Tipe K	14
<b>Gambar 2.7.</b>	Konstruksi MCCB	16
<b>Gambar 2.8.</b>	Simbol-simbol Perlindungan	18
<b>Gambar 2.9.</b>	Cascading Circuit Breaker	20
<b>Gambar 2.10.</b>	Diskriminasi Circuit Breaker	21
<b>Gambar 2.11.</b>	Diskriminasi Circuit Breaker berdasarkan waktu	22
<b>Gambar 2.12.</b>	Diskriminasi Circuit Breaker berdasarkan arus	22
<b>Gambar 3.1.</b>	Motor Chiller YORK	28
<b>Gambar 3.2.</b>	Compact NS630 dengan electronic trip unit STR43ME	32
<b>Gambar 3.3.</b>	Compact NS800H	33
<b>Gambar 3.4.</b>	Kabel NYY	33
<b>Gambar 3.5.</b>	Busbar	34
<b>Gambar 3.6.</b>	ELCB Vigi Compact NS250	37
<b>Gambar 3.7.</b>	Sistem kerja ELCB	37
<b>Gambar 3.8.</b>	Karakteristik kerja ELCB	38
<b>Gambar 3.9.</b>	Simbol Isolasi Ganda	39
<b>Gambar 3.10.</b>	Failure Relays tampak depan dan samping	41
<b>Gambar 3.11.</b>	Motor Saver 101	45
<b>Gambar 3.12.</b>	Electronic trip unit type STR43ME	45
<b>Gambar 3.13.</b>	Single Line Sistem Pengaman Motor Chiller	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b>	Batas arus yang mengalir pada tubuh dan pengaruhnya pada tubuh manusia	6
<b>Tabel 2.2.</b>	Maksud gana pertama	17
<b>Tabel 2.3.</b>	Maksud gana kedua	17
<b>Tabel 2.4.</b>	Maksud gana ketiga	18
<b>Tabel 3.1.</b>	Kelas isolasi Motor	46
<b>Tabel 3.2.</b>	Persentase Overload dan Waktu tripping MCCB	48

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG PENULISAN

Gedung-gedung bertingkat di berbagai kota di Indonesia, tidak ada satu pun yang mempunyai ciri bangunan iklim tropis apalagi didesain dengan arsitektur khas Indonesia. Bangunan tersebut pada umumnya didesain berdasarkan pola arsitektur Barat. Dimana pada kenyataannya memang tidak mudah menerapkan arsitektur tropis pada gedung-gedung bertingkat di Indonesia, karena pada tingkat-tingkat di bagian atas gedung, kaca jendela harus tertutup rapat untuk mencegah masuknya tiupan angin yang keras. Akibatnya, udara di bagian dalam ruangan akan menjadi lebih pengap. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan penyejuk ruangan (air conditioning/AC). Dengan demikian untuk mengatasi suhu udara yang pengap, maka penyejuk ruangan/AC harus dinyalakan sehingga penggunaan penyejuk ruangan di gedung-gedung sudah merupakan kebutuhan primer untuk menjamin kenyamanan penghuninya dalam melakukan berbagai aktivitas kerja. Secara umum peralatan penyejuk ruangan ini berfungsi untuk mengatur suhu udara, mengatur sirkulasi udara, mengatur kelembaban (humidity) udara dan mengatur kebersihan udara agar nyaman.

Pada umumnya sistem penyejuk ruangan yang dipergunakan di pusat perbelanjaan, hotel-hotel dan gedung perkantoran menggunakan sistem AC sentral, dimana pada gedung-gedung yang menggunakan sistem AC sentral dapat dipastikan menggunakan *Chiller*. Hal ini karena pertimbangan biaya operasional serta perawatan lebih murah dan mudah, dimana fasilitas ini dirancang untuk memenuhi salah satu faktor yang dapat membantu membuat rasa nyaman. Oleh karena pentingnya penggunaan chiller di gedung-gedung dimana harga chiller itu sendiri masih tergolong mahal; selain itu untuk menjaga nyaman para penghuninya dalam beraktivitas maka diperlukan sistem pengaman yang baik dan handal untuk melindungi chiller dari gangguan-gangguan yang dapat terjadi terutama pada motornya.

Oleh sebab itu penulis ingin mengangkat tema untuk tugas akhir ini yaitu **”Analisis Sistem Pengaman Motor Chiller”** yang sekiranya dapat dipergunakan untuk membuat sistem pengaman motor chiller yang baik dan handal di gedung-gedung, terutama untuk gangguan yang terjadi pada motornya, sehingga dapat mengamankan motor terhadap kerusakan yang terjadi baik pada motor tersebut, lingkungan sekitarnya maupun pada makhluk hidup terutama pada manusia sehingga penggunaan chiller dapat dioptimalkan.

## **1.2 PERMASALAHAN**

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang khususnya berhubungan dengan sistem pengaman pada motor chiller ini terdapat beberapa permasalahan yang timbul, diantaranya adalah :

- Perencanaan sistim pengaman yang akan dipergunakan.
- Perencanaan rating pengaman yang akan dipergunakan.
- Perencanaan jenis-jenis peralatan pengaman yang akan dipergunakan.
- Aplikasi penggunaan peralatan pengaman di dalam instalasi motor.
- Karakteristik pengaman yang baik untuk instalasi motor.

## **1.3 PEMBATAAN MASALAH**

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan analisis dari sistem pengaman pada motor Chiller dimana pada sistem pengaman ini mempunyai lingkup permasalahan yang cukup luas dan kompleks, sedangkan literatur-literatur yang membahas permasalahan ini sangatlah terbatas, sehingga penulis akan mencoba membahasnya pada tingkat kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis, sehingga hal ini tidak mengurangi arti dari suatu penulisan yang sifatnya ilmiah.

Permasalahan yang akan penulis bahas dalam penulisan ini adalah :

- ⌘ Jenis-jenis pengaman motor listrik tiga fasa dan hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan pengaman tersebut.
- ⌘ Peralatan pengaman yang digunakan pada motor induksi tiga fasa untuk mengamankan motor dan lingkungan disekitarnya terutama manusia
- ⌘ Analisis sistem pengaman yang digunakan pada motor Chiller

## 1.4 TUJUAN PENULISAN

Penulisan tugas akhir dari ”**Analisis Sistem Pengaman Motor Chiller di Gedung Bertingkat**” ini mempunyai tujuan yang hendak dicapai oleh penulis. Tujuan tersebut yaitu merencanakan dan memilih jenis pengaman yang aman dan sistem pengaman yang dipergunakan di dalam sistem pengaman motor Chiller sehingga dapat mengamankan motor terhadap kerusakan yang terjadi baik pada motor tersebut, lingkungan sekitarnya maupun pada makhluk hidup terutama pada manusia.

## 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Didalam penulisan Tugas Akhir ini digunakan beberapa metode yang dipergunakan didalam pengumpulan data dan informasi. Adapun metodologi yang dipergunakan dalam penulisan ini antara lain adalah :

✘ *Metode Lapangan/Observasi*

Yaitu pengumpulan data dan informasi dengan cara melakukan studi perbandingan dengan meninjau langsung dan bertanya dengan orang-orang yang berpengalaman dibidangnya.

✘ *Metode Pustaka*

Yaitu pengumpulan data dan informasi dengan cara mencari buku-buku referensi dan literatur-literatur, serta mengumpulkan katalog-katalog yang berhubungan dengan penulisan ini.

✘ *Metode Diskusi*

Yaitu pengumpulan data dan informasi dengan cara melakukan dialog-dialog dan diskusi. Hal ini dilakukan dengan cara konsultasi dengan dosen pembimbing, dengan staf-staf pengajar serta sesama rekan.

Sedangkan diagram alir untuk metodologi penelitiannya adalah sebagai berikut :



**Gambar 1.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Pada penulisan Tugas Akhir ini, ada beberapa masalah yang akan dibahas. Agar dalam penyusunan tugas akhir ini menjadi lebih sistematis serta untuk mempermudah memahami dan membahas tugas akhir ini, maka penyajian tulisan ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu pada Bab 1 yang merupakan pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penulisan, metodologi penelitian dan sistematika penulisannya.

Pada bab 2 tentang pengamanan makhluk hidup dan peralatan instalasi listrik yang membahas tentang teori dasar dari pengamanan makhluk hidup terhadap tegangan sentuh; peralatan pengaman instalasi listrik; dan motor listrik mengenai klasifikasi motor induksi dan sistem pengendali kecepatannya. Sedangkan pada bab 3 mengenai analisis sistem pengaman pada motor chiller membahas tentang pemilihan dan perhitungan dari rating pengaman yang dipakai, cara-cara pengamanan manusia dan motor listrik serta analisis gangguan pada motor dan sistem pengaman yang terdapat pada motor chiller. Sebagai penutup, bab 4 yang berisikan tentang kesimpulan-kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis yang telah dilakukan selama penulisan.

## **BAB II**

# **PENGAMANAN MAKHLUK HIDUP DAN PERALATAN INSTALASI LISTRIK**

Tujuan dari tindakan pengamanan pada instalasi listrik adalah melindungi makhluk hidup dan peralatannya termasuk didalamnya sistem instalasi listrik yang diamankan dari kondisi gangguan akibat keadaan tidak normal yang terjadi, dimana gangguan tersebut dapat berupa hubung singkat, beban lebih, arus lebih, arus bocor, tegangan lebih/kurang, tegangan balik, asimetris arus fasa, asimetris tegangan maupun putusnya salah satu fasa untuk rangkaian listrik tiga fasa. Peralatan pengaman ini digunakan untuk mendeteksi gangguan yang terjadi pada instalasi listrik dan untuk memutuskan rangkaian listrik yang mengalami gangguan agar tidak terjadi kerusakan/mengurangi kerusakan yang terjadi pada peralatan listrik, selain itu untuk melokalisir daerah yang terganggu agar peralatan yang tidak mengalami gangguan dapat beroperasi dengan normal.

### **2.1 PENGAMANAN MAKHLUK HIDUP**

Yang berbahaya bagi makhluk hidup dari energi listrik adalah besarnya arus listrik yang mengalir dan lamanya arus listrik tersebut mengalir didalam tubuh makhluk hidup. Seringkali kita salah menangkap bahwa sumber listrik bertegangan tinggi memberikan resiko yang tinggi, namun sebenarnya sekalipun tegangannya tinggi selama tidak terjadi perbedaan potensial yang dapat menimbulkan aliran listrik, maka tegangan itu aman bagi makhluk hidup. Contoh yang paling sering kita temui adalah saat seekor burung bertengger diatas sebuah kawat listrik yang bertegangan, burung ini tidak akan mengalami sengatan listrik selama kedua kakinya berada pada satu kawat. Yang menjadi berbahaya adalah saat burung tersebut berdiri diantara dua buah kawat, sehingga akan timbul beda potensial dan arus listrik akan mengalir melalui tubuhnya.

Bahaya yang ditimbulkan akibat sengatan arus listrik bervariasi, mulai dari bahaya ringan seperti memicu kontraksi otot-otot tubuh sampai kepada resiko tertinggi yaitu kematian. Sebagaimana yang kita ketahui bahwa jika terjadi beda



potensial yang diantaranya terdapat nilai tahanan akan menimbulkan arus listrik, seperti yang dipaparkan dalam hukum Ohm, dimana dari ketiga nilai tersebut terdapat hubungan :

$$V = I.R \dots\dots\dots (2.1)$$

V : Beda Potensial (Volt)

I : Arus (Ampere)

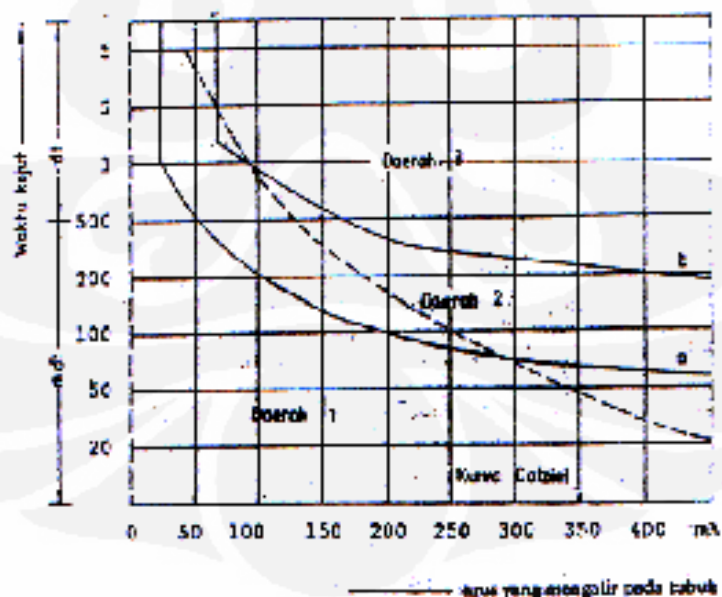
R: Tahanan (Ohm)

Arus yang mengalir ini tergantung dari berapa besarnya beda potensialnya atau berapa besarnya nilai tahanannya, sehingga berdasarkan pada penelitian Hauf dapat disimpulkan bahwa pada batas-batas arus tertentu akan timbul bahaya bagi tubuh dalam hal ini tubuh manusia, seperti yang dijelaskan dalam tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Batas arus yang mengalir pada tubuh dan pengaruhnya pada tubuh manusia

Arus (mA)	Pengaruh pada tubuh
0,0045	dapat dirasakan dengan lidah
1,2	dapat dirasakan dengan jari
6	dapat menimbulkan kontraksi otot pada wanita
9	dapat menimbulkan kontraksi otot pada pria
20	menimbulkan kontraksi pada otot paru – paru
80	menimbulkan detak jantung tidak teratur

Sumber : Muhaimin, Instalasi Listrik 1, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Bandung 1995



**Gambar 2.1** Grafik Lung Dalziel

Sumber : Muhaimin, Instalasi Listrik 1, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Bandung 1995

Melengkapi hasil penelitian Hauf, F.C Dalziel mengemukakan bahwa pengaruh yang diterima oleh tubuh bukan hanya dari berapa besar arus listrik yang mengalir ke tubuh, tetapi juga amat dipengaruhi oleh berapa lama arus tersebut mengalir ke seluruh tubuh, sehingga dari sini didapat beberapa daerah yang dibagi berdasarkan dampak yang ditimbulkan oleh sengatan listrik, seperti apa yang tampak pada gambar 2.1. Menurut F.C Dalziel daerah 1 tidak memberi pengaruh pada detak jantung, namun saat arus berada pada daerah kerja 2 pengaruh yang diterima oleh tubuh adalah naiknya tekanan darah dan detak jantung mulai tidak teratur, sementara pada daerah 3 korban akan tidak sadarkan diri.

### **2.1.1 Tegangan Sentuh**

Tegangan sentuh adalah tegangan yang diperoleh akibat tersentuhnya bagian aktif instalasi listrik. Bagian aktif instalasi listrik adalah bagian konduktif (line atau netral) yang merupakan bagian dari rangkaian listrik. Hal yang menyebabkan arus mengalir pada saat tubuh bersentuhan dengan tegangan adalah pijakan kaki ke tanah, dimana tanah berfungsi sebagai hantaran nol yang terus dicari oleh energi listrik untuk membuang muatannya. Sementara disisi lain tubuh manusia memiliki nilai tahanan dan muatan listrik cenderung mencari jalan melalui nilai muatan yang lebih kecil.

Tegangan sentuh dikatakan tinggi jika tegangan sentuh tersebut melebihi 50V kecuali pada tempat basah, ruang kerja dalam industri pertanian, serta ruang kerja yang mensyaratkan adanya pengaman dengan isolasi pengaman atau pemisah pengaman. Pada tempat seperti ini tegangan sentuh dikatakan tinggi jika melebihi 25V.

#### *2.1.1.1 Tegangan Sentuh Langsung*

Sesuai dengan PUIL pada bagian 3.4.a, yang disebut dengan tegangan sentuh langsung adalah sentuhan pada bagian aktif perlengkapan atau instalasi listrik. Dimana bagian aktif perlengkapan atau instalasi listrik adalah bagian konduktif yang merupakan bagian dari sirkuit listrik, yang dalam keadaan normal bertegangan.

Seluruh bagian aktif perlengkapan atau instalasi harus diamankan terhadap bahaya tegangan sentuh langsung. Sebagai contoh adalah selama sebuah kawat penghantar aktif mengalirkan arus listrik, tanpa terjadi gangguan pada sistem instalasinya, kawat ini berpotensi memberikan dampak sengatan listrik ke tubuh makhluk hidup yang menyentuhnya.

#### 2.1.1.2 Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Sesuai dengan PUIL 2000 pada bagian 3.5.1.1, tegangan sentuh tidak langsung adalah sentuhan pada bagian konduktif terbuka perlengkapan atau instalasi listrik yang menjadi bertegangan akibat kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi dapat menimbulkan hubung singkat ke badan sehingga dapat menimbulkan tegangan sentuh yang tinggi.

### 2.2 PENGAMAN PERALATAN DAN INSTALASI LISTRIK

Peralatan listrik perlu dilindungi dari keadaan terjadi gangguan pada sistem tersebut. Hal ini dilakukan dimana pada saat gangguan itu terjadi maka akan timbul panas baik pada sistem yang terganggu maupun pada peralatannya. Saat gangguan terjadi maka nilai arus akan melonjak naik sesuai dengan rumus :

$$W=I^2Rt \dots\dots\dots(2.2)$$

- I : Arus (Ampere)
- W : Energi (Joule)
- R : Tahanan (Ohm)
- t : Waktu (Detik)

Energi listrik, dalam hal ini panas yang ditimbulkan oleh suatu kondisi gangguan akan naik sebanding dengan kuadrat kenaikan arusnya. Dan sebaik apapun perlindungan yang diberikan terhadap peralatan dan instalasi listrik, mereka memiliki batas kemampuan untuk menahan panas yang dibebankan padanya. Untuk itulah selain perlindungan dengan memberi isolasi ataupun menempatkan peralatan listrik dari jangkauan termudah makhluk hidup, diperlukan pengaman lain yang akan bekerja pada saat terjadi kenaikan arus akibat keadaan gangguan. Gangguan pada pada instalasi listrik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

- ⊗ Hubung singkat
- ⊗ Beban lebih
- ⊗ Arus lebih
- ⊗ Arus Bocor
- ⊗ Tegangan lebih
- ⊗ Tegangan Kurang
- ⊗ Asimetris Tegangan (untuk tiga phasa)
- ⊗ Putus/hilang salah satu phasa (untuk tiga phasa)

### 2.2.1 Pengaman Hubung Singkat

IEV 441 menerangkan bahwa hubung singkat antara dua titik atau lebih dalam suatu sirkit melalui impedansi yang sangat kecil atau mendekati nol. Dari hukum Ohm kita dapat melihat bahwa apabila impedansi mendekati nol (dianggap nol), maka besarnya arus adalah tak terhingga :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I = \frac{V}{0}$$

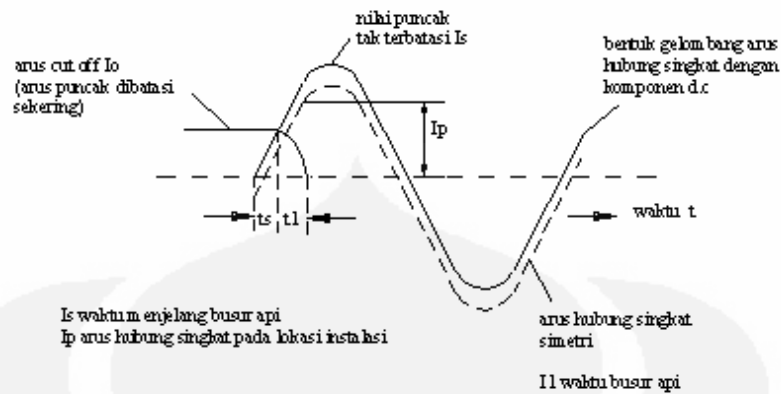
$$I = \infty(A)$$

Sehingga jelas bahwa arus hubung pendek yang dirasakan sistem sangat besar.

#### 2.2.1.1. Fuse

Arus hubung singkat ada dua macam, yaitu arus hubung singkat nirsetangkup, dimana ada komponen dc dan arus hubung singkat setangkup. Arus hubung singkat sangat besar dimana arus ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik.

Fuse digunakan sebagai pengaman untuk peralatan dan instalasi listrik pada saat terjadi hubung singkat karena fuse bekerja memotong harga arus hubung singkat, gambar 2.1 menerangkan bagaimana fuse membatasi arus hubung singkat.



**Gambar 2.2** Pembatasan arus hubung singkat dengan fuse

Sumber : Muhaimin, *Instalasi Listrik 1, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Bandung 1995*

Breaking Capacity adalah kemampuan fuse mengamankan arus hubung singkat. Hal yang perlu diingat adalah apabila terjadi kasus beban lebih, fuse akan putus karena panas berlebih yang terjadi pada satu titik elemen lebur, sementara pada arus hubung singkat akan menyebabkan elemen lebur fuse akan putus pada semua bagiannya.

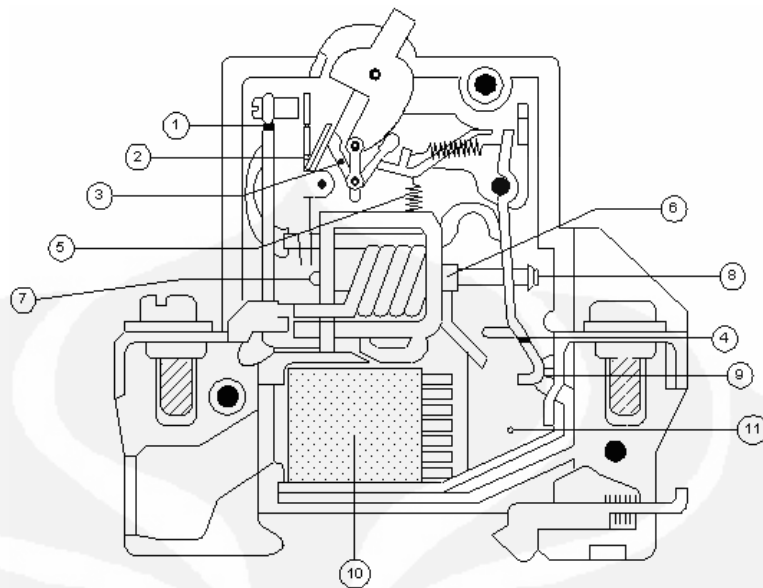
Fuse bekerja dengan ciri waktu sebagai fungsi hubung singkat, dimana waktu itu diperlukan hingga pengaman lebur mulai meleleh sejak terjadinya hubung singkat, waktu ini dikenal juga sebagai “pre arcing time“. Berdasarkan daerah pemakaiannya, fuse dibedakan atas fuse D (Diazed), DO (Neozed), dan HRC (High Rupturing Capacity) yang biasa disebut NH (Niede Hochlestuup). Sementara berdasarkan konstruksi dan cara pemasangannya, fuse digolongkan atas jenis ulir dan plug in.

### 2.2.1.2 MCB

Miniatur Circuit Breaker (MCB) memiliki fungsi ganda sebagai pengaman dimana ia dapat mengamankan peralatan dan instalasi listrik terhadap arus lebih dengan bimetal dan juga terhadap hubung singkat dengan elektro magnetnya.

MCB didesain dengan fungsi utama untuk

- Mengamankan beban terhadap arus hubung singkat dan beban lebih
- Membuka dan menutup rangkaian listrik
- Pengaman terhadap kerusakan isolator



**Gambar 2.3** Bagian-bagian MCB

*Sumber :Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002*

Keterangan gambar :

1. Batang Bimetal
2. Batang Penekan
3. Tuas Pemutus Kontak
4. Lengan Kontak yang bergerak
5. Pegas Penarik Kontak
6. Trip Koil
7. Batang Pendorong
8. Batang Penerik Kontak
9. Kontak Tetap
10. Kisi pemadam Busur Api
11. Plat Penahan dan Penyalur Busur Api

MCB dapat dioperasikan atau beroperasi untuk memutuskan rangkaian listrik pada saat rangkaian tersebut berbeban maupun tidak berbeban. MCB memiliki media peredam bunga api yang timbul pada saat pemutusan rangkaian, terdapat dua jenis pemutusan rangkaian pada MCB yaitu :

### ***1. Pemutusan secara Thermal***

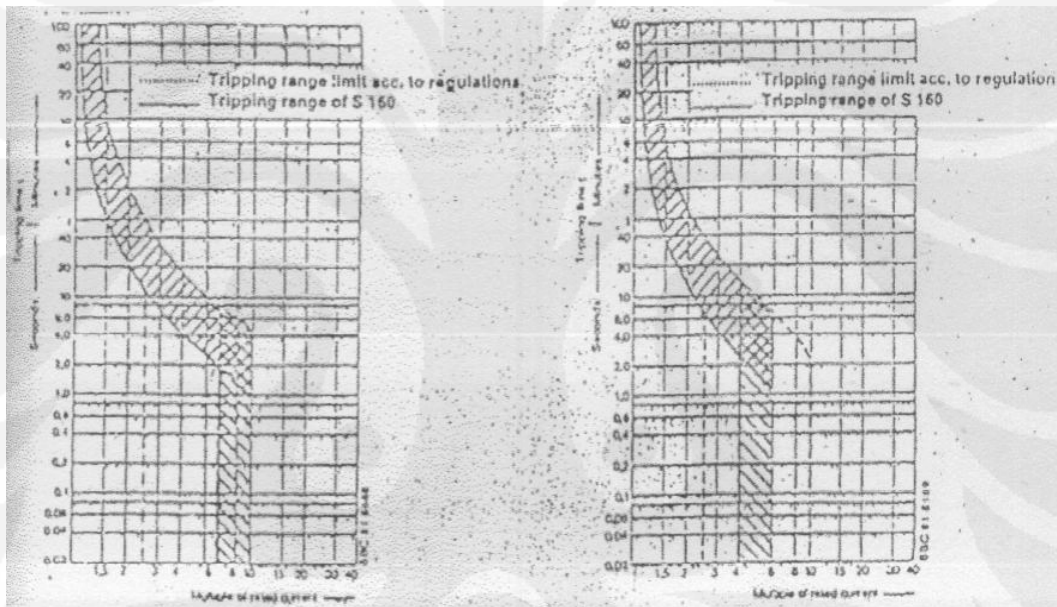
Pemutusan ini terjadi pada saat terjadi gangguan arus lebih pada rangkaian secara terus-menerus. *Bimetal blade* (1) akan melengkung akibat pemanasan oleh arus lebih secara kontinyu pada elemen bimetal ini. Bengkokkan itu akan menggerakkan *Trip Lever* (2) sampai *Release Pawl* (3) berubah posisi sehingga *Moving Contact Arm* (4) membuka memutuskan rangkaian dengan bantuan *Release Spring* (5).

## 2. Pemutusan secara Elektro Magnetik

Ketika gangguan hubung singkat terjadi, maka akan menimbulkan lonjakan arus secara tiba-tiba yang menghidupkan solenoid menarik *Plunger* (6). Pergerakan itu menyebabkan mekanisme MCB membuka secara tiba-tiba. *Push Rod* (7) bekerja mendorong *Trip Lever* (2), *Plunger Knob* (8) menarik *Moving Contact Arm* (4) sehingga terlepas dari *Fixed Contact* (11)

Klasifikasi kerja dari MCB yang ada didasarkan atas kondisi kerja dari tripping magnetiknya, klasifikasi ini bergantung dari jenis pemakaian dan tingkat kepekaan yang diinginkan terhadap operasi pemutusan saat terjadi gangguan. Adapun klasifikasi dari MCB adalah sebagai berikut :

### 1. MCB tipe G



**Gambar 2.4** Karakteristik MCB tipe G

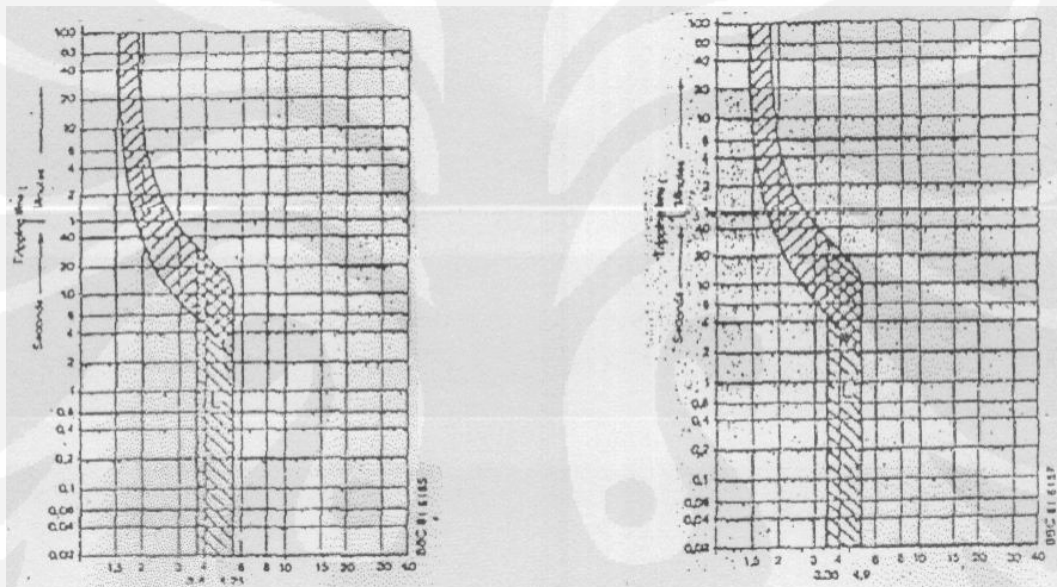
Sumber : Ismail, *Sistem Pengaman pada Instalasi Tenaga dan Penerangan Bengkel Semester IV*, Jakarta 2002

MCB jenis ini ada dua tipe, pertama MCB tipe G yang dirancang dengan kondisi pemutusan magnetiknya baru bekerja apabila terjadi kenaikan arusnya 7-10 kali arus nominalnya. Untuk tipe kedua dirancang untuk kondisi magnetiknya bekerja setelah terjadi kenaikan arusnya sebesar 4-6 kali arus nominalnya. MCB ini digunakan untuk menahan arus transient dari motor listrik pada saat dihidupkan. MCB ini biasanya digunakan untuk jala-jala penerangan gedung dan motor dengan arus impuls yang kecil. MCB ini lebih

peka dari MCB tipe L dan tipe H. MCB tipe ini dilengkapi dengan pembusur api khusus yang dapat memutuskan arus hubung singkat yang sangat besar.

## 2. MCB tipe L dan H

MCB tipe ini digunakan untuk pengaman jala-jala penerangan rumah dari arus beban lebih dan hubung singkat. Tipe ini sangat peka terhadap arus impuls motor, lampu TL, Transformator peralatan, sehingga beban-beban seperti ini perlu dihindari karena tidak cocok dengan tipe ini. Tipe ini digunakan untuk instalasi rumah tinggal, gedung-gedung komersial dengan beban yang bersifat resistif atau induktif ringan pada umumnya. Trip relay magnetiknya berfungsi pada 3.6 In-5.25 In.



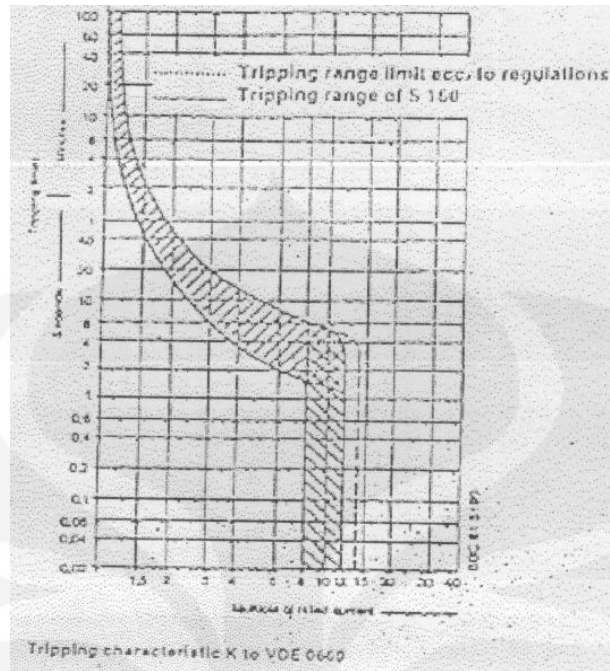
**Gambar 2.5** Karakteristik MCB tipe L

*Sumber : Ismail, Sistem Pengaman pada Instalasi Tenaga dan Penerangan Bengkel Semester IV, Jakarta 2002*

## 3. MCB tipe K, V dan U

MCB tipe ini tahan terhadap arus impuls dan dipakai untuk peralatan rumah tangga, alat-alat bengkel, motor-motor dan sebagainya. MCB tipe K bimetalnya lebih peka daripada MCB tipe V sedangkan MCB tipe U bimetalnya sama dengan MCB tipe L, MCB ini mempunyai relay magnetik antara 5-12 kali arus nominalnya.





**Gambar 2.6** Karakteristik MCB tipe K

*Sumber : Ismail, Sistem Pengaman pada Instalasi Tenaga dan Penerangan Bengkel Semester IV, Jakarta 2002*

## 2.2.2 Pengaman Beban Lebih dan Arus Lebih

Peralatan pengaman bekerja dengan merasakan arus yang melaluinya, baik itu arus yang dikenal sebagai arus nominal beban maupun arus maksimum sistem instalasi, jika besarnya arus melebihi kemampuannya, maka peralatan pengaman tersebut akan memutuskan sistem.

### 2.2.2.1 Pengertian Beban Lebih dan Arus Lebih

Pada instalasi listrik keadaan yang sering dinamakan beban lebih hampir identik dengan arus lebih, namun jika kita melihat setiap pengertiannya maka kita pun dapat membedakannya. Menurut IEC 151, 441, arus lebih adalah arus dengan nilai melebihi nilai pengenal tertingginya. Sementara pengertian dari beban lebih adalah kelebihan beban aktual yang melebihi beban penuhnya.

Istilah beban lebih tidak dapat diidentikkan dengan istilah arus lebih, hal ini sesuai dengan isi IEC 151, 441-11-08. Keadaan dimana terjadinya beban lebih akan menyebabkan timbulnya arus berlebih, namun arus lebih tidak selalu dikarenakan bebannya berlebih.

#### 2.2.2.2 MCCB

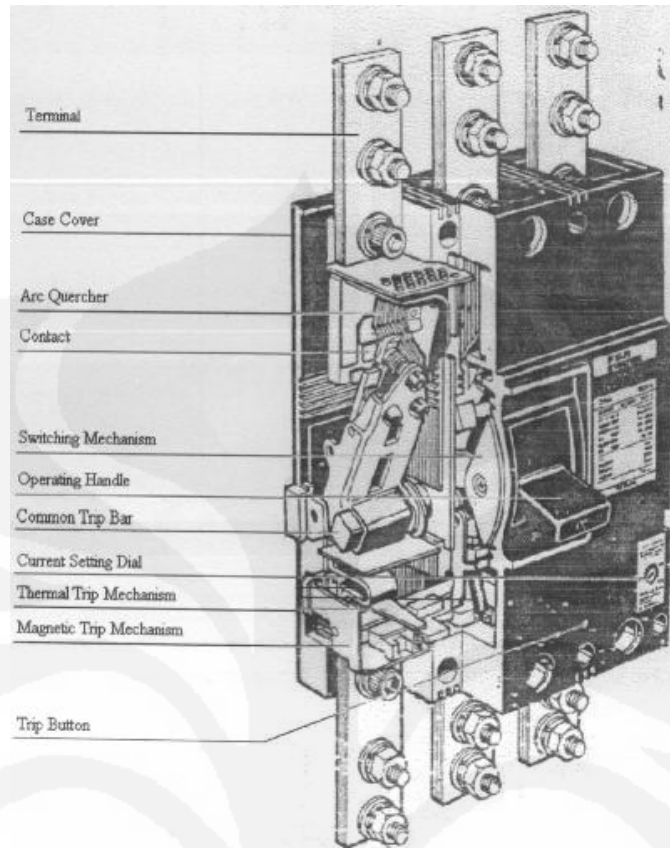
Arus yang mengalir melebihi kemampuan suatu peralatan atau sistem instalasi listrik akan menyebabkan timbulnya panas berlebih yang tidak dapat ditanggung oleh isolasi peralatan tersebut. Keadaan ini berbahaya dan dapat menyebabkan rusaknya isolasi serta menimbulkan bunga api yang dapat menyebabkan kebakaran. Arus lebih harus 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 pemutusan 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 rating arus dan breaking capacity MCCB lebih besar daripada MCB. Oleh sebab itu pada umumnya MCCB dijadikan sebagai pengaman utama dari MCB dan sebagai peralatan pengaman untuk peralatan yang memiliki daya yang besar terutama pada industri. Seperti halnya pada MCB, maka pada MCCB terdapat beberapa jenis type pemutusan seperti, yaitu :

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

MCCB memiliki rating arus yang relatif tinggi dan dapat disetting sesuai kebutuhan. Spesifikasi MCCB pada umumnya dibagi dalam 3 parameter operasi yang terdiri dari  $U_e$  (tegangan kerja),  $I_e$  (arus kerja) dan  $I_{cu}$  (kapasitas arus pemutusan)

- ✘  $U_e$ , spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut:  
 $U_e = 250 \text{ V}-660 \text{ V}$
- ✘  $I_e$ , spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut:  
 $I_e = 40 \text{ A}-2500 \text{ A}$
- ✘  $I_{cu}$ , spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut:  
 $I_{cu} = 12 \text{ kA}-200 \text{ kA}$



**Gambar 2.7** Konstruksi MCCB

*Sumber :Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002*

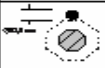
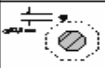





### 2.2.3 Kode IP

Kode IP (International Protection) yang akan digunakan sepenuhnya mengacu pada IEC 529, 1989. Pada bagian 3.4.6.1 dijelaskan bahwa kode IP adalah sistem kode untuk menunjukkan tingkat proteksi yang diberikan oleh selungkup dari sentuhan langsung ke bagian yang berbahaya, dari masuknya benda asing dan untuk memberi informasi tambahan dalam hubungannya dengan proteksi. IP sendiri dapat ditampilkan dengan angka, huruf dan angka, simbol atau huruf dan simbol. Berikut beberapa contoh tampilan IP sesuai dengan IEC 529.

➤ Berdasarkan Angka










IEC 529 telah memberikan batasan bahwa kode IP diberikan dengan 2 angka, dimana angka pertama mengacu kepada perlindungan terhadap sentuhan dan benda padat, angka kedua perlindungan terhadap benda cair dan angka ketiga perlindungan terhadap tekanan / tumbukan (berhubungan dengan mekanis).

**Tabel 2.2** Maksud gana pertama

IP	Gambar	Keterangan
0XX		tidak terlindung dari benda padat
1XX		terlindung terhadap benda - benda / partikel lain dari luar dengan ukuran lebih kecil 50 mm
2XX		terlindung terhadap penyusupan benda padat / partikel lebih kecil 12 mm
3XX		terlindung terhadap penyusupan benda padat / partikel lebih kecil 2,5 mm
4XX		terlindung terhadap penyusupan benda padat / partikel lebih kecil 1 mm
5XX		terlindung terhadap endapan benda padat / debu dari luar.
6XX		terlindung terhadap penyusupan debu secara sempurna

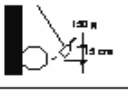
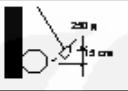
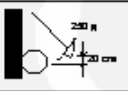

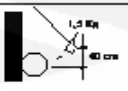
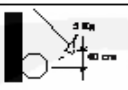
*Sumber :Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002*

**Tabel 2.3** Maksud gana kedua

IP	Gambar	Keterangan
X0X		tidak terlindung dari air
X1X		terlindung terhadap tetesan air secara vertikal
X2X		terlindung terhadap tetesan air secara miring (tetesan tidak langsung)
X3X		terlindung terhadap semburan air (spray proof)
X4X		terlindung terhadap cipratan air (splash proof)
X5X		terlindung terhadap semprotan air (hose proof)
X6X		terlindung terhadap gelombang air
X7X		terlindung terhadap celupan air bersifat sementara
X8X		terlindung terhadap rendaman air dibawah tekanan

*Sumber :Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002*

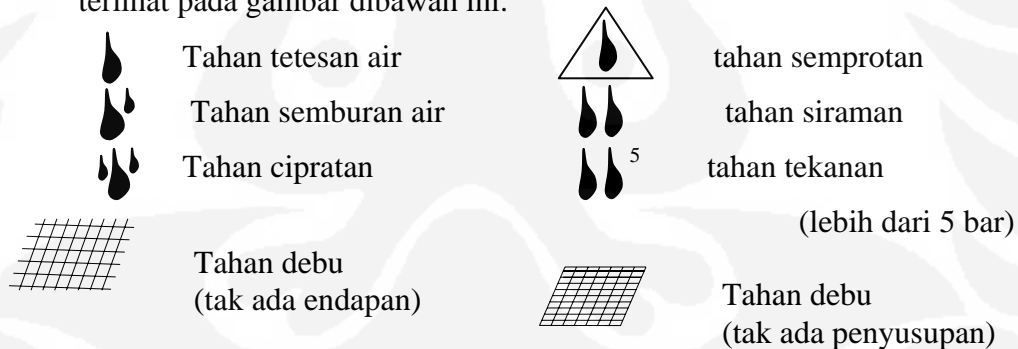
**Tabel 2.4** Maksud gana ketiga

IP	Gambar	Keterangan
XX0		tanpa perlindungan
XX1		tahan tumbukan sampai 0,225 Joule atau 150 g. 15 Cm
XX2		tahan tumbukan sampai 0,375 Joule atau 250 g. 15 Cm
XX3		tahan tumbukan sampai 0,500 Joule atau 250 g. 20 Cm
XX5		tahan tumbukan sampai 2,00 Joule atau 500 g. 40 Cm
XX7		tahan tumbukan sampai 6,00 Joule atau 1500 g. 40 Cm
XX9		tahan tumbukan sampai 20,00 Joule atau 5000 g. 40 Cm

Sumber : Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002

➤ Berdasarkan simbol dan tulisan.

Adapun simbol-simbol perlindungan pada perlengkapan listrik, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.8** Simbol-simbol Perlindungan

Sumber : Muhaimin, Instalasi Listrik 1, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Bandung 1995

### 2.2.4 Penghantar

Menurut PUIL 2000 pasal 7.1.1 tentang persyaratan umum penghantar, menerangkan bahwa “semua penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan yang memenuhi syarat, sesuai dengan tujuan penggunaannya, serta telah diperiksa dan diuji menurut standar penghantar yang dikeluarkan atau diakui oleh instansi

yang berwenang.” Pada umumnya penghantar dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu penghantar penampang persegi/rel (busbar) dan penampang pejal (kabel) dan bahan yang digunakan pada umumnya adalah tembaga dan aluminium.

#### 2.2.4.1 Penghantar Pejal (Kabel)

Dilihat dari jenisnya kabel dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu kabel instalasi, kabel tanah dan kabel fleksibel. Kabel instalasi ini digunakan untuk instalasi penerangan dan pada umumnya banyak digunakan untuk instalasi rumah tinggal yang pemasangannya tetap. Kabel tanah biasanya dipasang dibagian area taman dan pada umumnya banyak digunakan sebagai kabel instalasi tenaga. Kabel tanah ini dapat berupa kabel tanah termoplastik tanpa perisai maupun jenis termoplastik berperisai. Sedangkan kabel fleksibel adalah kabel yang biasa dipakai dibagian *lift*. Kode pengenal kabel dapat dikenali dengan menggabungkan huruf berikut :

Huruf Kode	Komponen
• N	Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
• NA	Kabel jenis standar dengan aluminium sebagai penghantar
• Y	Isolasi PVC
• re	Penghantar padat bulat
• M	Selubung PVC
• A	Kawat Berisolasi
• rm	Penghantar bulat berkawat banyak
• se	Penghantar padat bentuk sektor
• sm	Penghantar dipilin bentuk sektor
• -1	Kabel warna urat dengan hijau-kuning
• -0	Kabel warna urat tanpa hijau-kuning.

#### 2.2.4.2 Penghantar Persegi/Rel (Busbar)

Sistem rel yang dipakai pada panel induk sistem tiga fasa dapat disebut dengan “Sistem 5 rel”. Tiga rel diperuntukkan untuk penghantar 3 fasa masing-masing L1/R, L2/S, dan L3/T, satu rel diperuntukkan untuk hantaran netral dan satu lagi untuk hantaran pentanahan (*grounding*).

Sehubungan dengan kapasitas pembebanan dari rel utama ini, ukuran rel harus ditentukan dengan cermat. Sebagai dasar untuk menentukan ukuran rel diantaranya adalah : kondisi operasi normal dan rating arusnya, kondisi hubung singkat (berupa panas yang dibangkitkan diakibat oleh arus hubung singkat

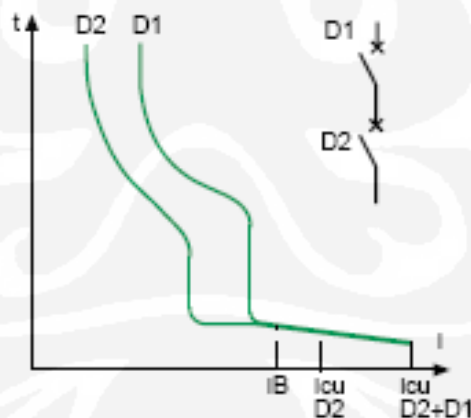
tersebut) dan besarnya ketegangan dinamis. Hantaran rel untuk pentanahan secara listrik harus dihubungkan ke kerangka panel dan ukurannya diperhitungkan agar mampu dialiri oleh setiap arus hubung singkat yang mungkin timbul.

### 2.2.5 Cascading dan Diskriminasi Circuit Breaker

Hal yang perlu diperhatikan ketika kita memilih dan merencanakan sebuah sistem pengaman adalah kehandalan pengaman itu sendiri dan kehandalan instalasinya. Untuk itu diperlukan suatu batasan yang jelas tentang pengaman bagaimana yang baik dan bagaimana mengatur pengaman-pengaman yang kompleks.

#### 2.2.5.1 Cascading Circuit Breaker

Cascading circuit breaker dapat memberikan keuntungan untuk circuit breaker yang terletak dibawah/dekat dengan beban (D2) yang mempunyai breaking capacity kecil untuk memperbesar kemampuan breaking capacitynya dimana breaking capacity dari circuit breaker yang berada diatasnya (D1) akan menambah besar breaking capacitynya. Dengan cascading, circuit breaker dengan breaking capacity yang lebih kecil daripada arus hubung singkatnya dapat dipergunakan dan dipasang sebagai pengaman beban.



**Gambar 2.9** Cascading Circuit Breaker

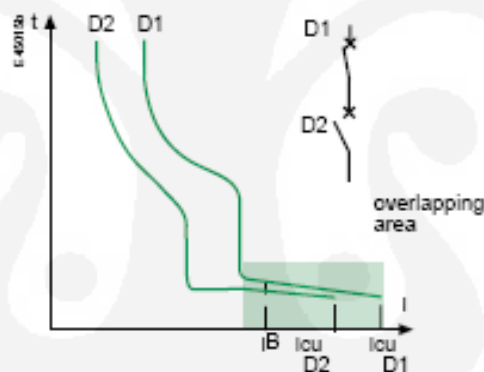
*Sumber : Merlin Gerin Circuit Breaker Application Guide*

### 2.2.5.2 Diskriminasi Circuit Breaker

Diskriminasi circuit breaker disebut juga pemisahan atau pemilihan circuit breaker yang merupakan batasan sebagai kerjasama beberapa circuit breaker yang terpasang secara seri untuk mengatasi gangguan dengan asumsi kalau dalam suatu instalasi terjadi gangguan maka hanya circuit breaker yang terdekat dengan tempat gangguan saja yang boleh memutuskan rangkaian.

Diskriminasi circuit breaker mempunyai tiga syarat, yaitu :

- Tidak ada circuit breaker yang memutuskan rangkaian selama rangkaian dalam kondisi normal
- Jika terjadi gangguan, maka yang harus bekerja adalah circuit breaker terdekat dengan titik gangguan, sedangkan rangkaian lain yang tidak mendapat gangguan harus tetap dapat beroperasi.
- Jika circuit breaker terdekat dari titik gangguan tidak dapat bekerja, maka circuit breaker pelindung (back-up) yang harus bekerja.



**Gambar 2.10** Diskriminasi Circuit Breaker

*Sumber : Merlin Gerin Circuit Breaker Application Guide*

Pengaturan circuit breaker dapat dibedakan menjadi dua, yaitu Selektifitas waktu dan Selektifitas Arus

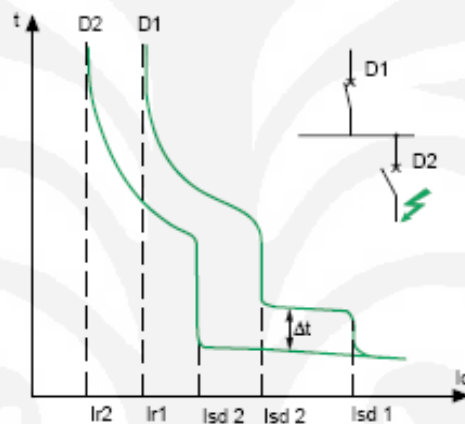
#### ❖ *Selektifitas waktu*

Apabila arus hubung singkat yang terjadi pada instalasi secara identik dibuat semakin kecil secara berurutan karena resistansi yang semakin mengecil, selektifitas hanya bisa didapat dengan cara tindakan penundaan dari terputusnya arus hubung singkat. Waktu pemutusan dari circuit breaker pada bagian beban harus lebih pendek dari penundaan waktu pada circuit breaker dibagian hantaran. Pada umumnya waktu tunda minimum yang terbaik



digunakan berada diantara 50ms-80ms. Pemutusan dapat terjadi dengan cepat bila waktu yang disetting dilampaui. Untuk menjamin selektifitas, mekanisme pemutusan dari circuit breaker pada bagian hantaran harus disetting pada nilai 1.25 kali lebih besar dari arus tanggapan pada circuit breaker dibagian beban.

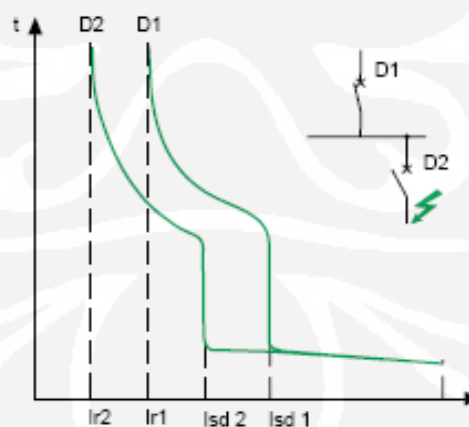
Pada pengaturan ini, yang perlu diperhatikan adalah antara pelindung dengan yang dilindungi harus ada selang keamanan, yaitu selang waktu pemutusan circuit breaker yang dilindungi dengan pelindung. Circuit breaker yang diatur tidak boleh bersinggungan, agar saat terjadi hubung singkat yang memutus rangkaian dapat dipastikan adalah circuit breaker yang terdekat.



**Gambar 2.11** Diskriminasi Circuit Breaker berdasarkan waktu

*Sumber : Merlin Gerin Circuit Breaker Application Guide*

❖ *Selektifitas Arus*



**Gambar 2.12** Diskriminasi Circuit Breaker berdasarkan arus

*Sumber : Merlin Gerin Circuit Breaker Application Guide*

Pada sistem distribusi arus kerja yang menuju ke bagian beban semakin bertambah kecil dari titik cabang ke titik cabang. Kondisi arus hubung singkat

ini berkurang bersamaan dengan bertambahnya impedansi, selektifitas didapat dengan arus kerja circuit breaker dan menyetting secara berurutan ke nilai lebih rendah dari nilai tanggapan terputusnya arus hubung singkat.

Pembatasan arus pada circuit breaker menghasilkan tanggapan yang cepat jika terjadi arus hubung singkat yang besar, yang berarti bahwa circuit breaker tersebut hanya dapat dihubungkan pada rangkaian keluarannya. Pengaturan jenis ini hanya diijinkan apabila kemampuan menahan arus hubung singkat antara circuit breaker yang dilindungi dengan circuit breaker pelindung sangat jauh berbeda, namun tetap circuit breaker pelindung harus lebih tinggi dari circuit breaker yang dilindungi. Kasus ini terjadi misalnya pada pengaturan circuit breaker pada saluran out going di Papan Hubung Bagi (PHB).

### **2.3. MOTOR LISTRIK AC**

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan, misalnya untuk memutar *impeller* pompa dan menggerakkan kompresor. Motor listrik digunakan juga di rumah dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri

Motor listrik AC terdiri dari 2 bagian, yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Motor listrik AC juga digolongkan berdasarkan motor induksi (asinkron) yaitu motor yang memiliki kecepatan putar rotor tidak sama dengan kecepatan medan putarnya dan motor sinkron yang memiliki kecepatan putar rotor sama dengan kecepatan medan putarnya. Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat disambungkan langsung ke sumber daya AC selain itu lebih mudah perawatannya.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/*torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok (BEE India, 2004) :

- ✧ **Beban torque konstan** adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- ✧ **Beban dengan variabel torque** adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan fan (*torque* bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- ✧ **Beban dengan energi konstan** adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

### 2.3.1 Klasifikasi motor induksi

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama (Parekh, 2003), yaitu :

- ⊕ 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
- ⊕ 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 penyalan sendiri.

### 2.3.2 Pengendalian kecepatan motor induksi

Motor AC sinkron dan induksi keduanya cocok untuk penggunaan control variasi kecepatan. Karena motor induksi adalah motor yang tidak sinkron, perubahan pasokan frekuensi dapat memvariasikan kecepatan. Strategi pengendalian untuk motor khusus akan tergantung pada sejumlah faktor termasuk biaya investasi, ketahanan beban dan beberapa persyaratan pengendalian khusus. Hal ini memerlukan suatu tinjauan rinci mengenai karakteristik beban, data historis pada aliran proses, ciri-ciri sistim pengendalian kecepatan yang

diperlukan, biaya listrik dan biaya investasi. Karakteristik beban terutama penting dalam memutuskan apakah pengendalian kecepatan merupakan suatu opsi. Potensi terbesar untuk penghematan listrik dengan penggerak variabel kecepatan (*variable speed drive*) pada umumnya ada pada penggunaan variasi *torque*. Beban *torque* yang konstan juga cocok untuk penggunaan VSD.

#### 2.3.2.1 Motor dengan beberapa kecepatan

Motor dapat digulung menjadi dua kecepatan, dan perbandingan 2:1, dapat dicapai. Motor juga dapat digulung dengan dua gulungan terpisah, masing-masing memberi dua kecepatan operasi dan dengan begitu totalnya menjadi empat kecepatan. Motor dengan beberapa kecepatan dapat dirancang untuk penggunaan yang melibatkan *torque* konstan, *torque* bervariasi, atau untuk keluaran daya yang konstan. Motor dengan beberapa kecepatan cocok untuk penggunaan yang memerlukan pengendalian kecepatan yang terbatas (dua atau empat kecepatan, bukan kecepatan yang terus menerus bervariasi). Motor-motor tersebut cenderung sangat ekonomis dan efisiensinya lebih rendah dibanding dengan motor yang berkecepatan tunggal.

#### 2.3.2.2 Penggerak kecepatan variable/ Variable Speed Drives (VSDs)

Penggerak kecepatan variable (VSDs) juga dikenal dengan *inverters* dan dapat mengubah kecepatan motor, yang tersedia mulai dari beberapawatt hingga 750kW. VSD dirancang untuk mengoperasikan motor induksi standar dan oleh karena itu dapat dengan mudah dipasang pada sistem yang ada. *Inverter* kadang dijual secara terpisah sebab motor sudah beroperasi ditempat, tetapi dapat juga dibeli bersamaan dengan motornya. Bila beban bervariasi, VSD atau motor dengan dua kecepatan kadangkala dapat menurunkan pemakaian energi listrik pada pompa sentrifugal dan fan sebesar 50% atau lebih. Penggerak dasarnya terdiri dari *inverter* itu sendiri yang merubah daya masuk 50 Hz menjadi frekuensi dan tegangan yang bervariasi. Frekuensi yang bervariasi akan mengendalikan kecepatan motor. Terdapat tiga jenis utama desain *inverter* yang tersedia saat ini. Ketiganya dikenal dengan *Inverter Sumber Arus/Current Source Inverter (CSI)*,

*Inverter Tegangan Bervariasi/Variable Voltage Inverter (VVI) dan Inverter dengan Pengatur Lebar Pulsa/Pulse Width Modulated (PWM).*

#### 2.3.2.3 *Penggerak arus searah (DC)*

Teknologi penggerak DC merupakan bentuk tertua pengendali kecepatan listrik. Sistem penggerak terdiri dari sebuah motor DC dan sebuah pengendali. Motor terdiri dari dinamo dan gulungan medan. Penggulungan medan memerlukan pembangkitan daya DC untuk operasi motor, biasanya dengan tegangan yang tetap dari pengendali. Sambungan dinamo dibuat melalui perakitan sikat dan *commutator*. Kecepatan motor berbanding lurus dengan tegangan yang dipergunakan. Pengendali merupakan penyambungan rektifikasi fase control dengan sirkuit *logic* untuk mengendalikan tegangan DC yang dikirim ke dinamo motor. Pengendalian kecepatan dicapai dengan mengatur tegangan ke motor. Kadangkala sebuah *tacho-generator* dilibatkan untuk mencapai pengaturan kecepatan yang baik. *Tacho-generator* dapat digantungkan pada motor untuk menghasilkan sinyal umpan balik kecepatan yang digunakan dibagian dalam pengendali.

#### 2.3.2.4 *Penggerak motor AC dengan gulungan rotor (motor induksi cincin geser)*

Penggerak motor dengan rotor penggulung menggunakan motor yang berkonstruksi khusus untuk menyempurnakan pengendalian kecepatan. Rotor motor dibuat dengan penggulungan yang diangkat keluar motor melalui cincin geser pada sumbu motor. Gulungan tersebut disambungkan ke pengendali, yang menempatkan *resistor* variabel secara seri dengan gulungan. Kinerja *torque* motor dapat dikendalikan dengan menggunakan *resistor* variable tersebut. Motor dengan gulungan rotor sangat umum digunakan untuk motor berdaya 300 HP atau lebih.

## **BAB III**

# **ANALISIS SISTEM PENGAMAN PADA MOTOR CHILLER**

### **3.1 DASAR MENENTUKAN RATING PENGAMAN YANG DIPAKAI**

Pengaman maupun beban mempunyai sifat khas oleh karenanya untuk menentukan pengaman juga harus dipertimbangkan jenis beban yang diamankan. Sebagai contoh, motor listrik pada saat mulai berputar memerlukan arus start sebesar 6 kali arus nominalnya, oleh karena itu jika batas kerja pengaman hanya sebesar arus nominal motor maka pengaman tersebut akan selalu trip pada saat motor mulai dijalankan.

Di Menara Sudirman terdapat tiga buah motor chiller yang dipergunakan dimana didalam pemakainya dipergunakan satu unit chiller setiap harinya sesuai dengan kebutuhan yang dilakukan secara bergantian, akan tetapi jika dibutuhkan dapat dipakai dua unit chiller setiap harinya.

Untuk dapat menentukan besarnya nilai pengaman, sekaligus besarnya rating arus dari pengaman yang akan digunakan dalam hal ini MCCB dari motor chiller maka harus diketahui spesifikasi dari motor chiller itu sendiri. Dimana motor chiller yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

*York YTF3FIC35CLF*

*Kap 370 TR*

*Enter Temp 12 C*

*Leaving Temp 7 C*

*Condensor*

*Enter temp 33 C*

*Leaving Temp 38 C*

*360 Hp, 380V, 3 Phase*

*490A, 50Hz*

*3000 rpm, Ins F*



**Gambar 3.1** Motor Chiller YORK

Untuk menentukan besarnya rating pengaman suatu motor ditentukan oleh beberapa hal, antara lain adalah :

1. *Jenis/Sifat Beban*, yang dimaksud dengan jenis/sifat beban adalah dimana ada beban yang tidak memerlukan arus start yang besar (lampu wolfram, pemanas yang bersifat resistif dan mengalami kenaikan tahanan terhadap suhu) dan beban yang memerlukan arus start yang besar meskipun arus nominalnya kecil (trafo, motor, lampu TL dan sebagainya). Untuk mengatasi ini diperlukan alat bantu pengasutan bila diperlukan.
2. *Keserempakan beban*, yang dimaksud dengan keserempakan beban adalah jumlah arus nominal yang mengalir ke alat pengaman berdasarkan jumlah daya pada beban, seperti lampu, kotak kontak, motor, dan lain-lain; dan waktu serempak pembebanannya.
3. *Diskriminasi*, yang dimaksud dengan diskriminasi adalah pemilihan peralatan pengaman berdasarkan bentuk kurva karakteristiknya yang berbeda-beda antara Fuse dengan Fuse, Circuit Breaker dengan Circuit Breaker, atau Circuit Breaker dengan Fuse
4. *Arus Nominal Pengaman*, arus nominal pengaman merupakan arus yang dapat dilewatkan secara terus-menerus pada alat pengaman tanpa mengalami gangguan. Arus ini ditentukan oleh pabrik pembuatnya dan jika tidak tepat dengan perhitungan yang diperoleh maka harus dibulatkan ke atas (menurut rating yang ada dipasaran).

Selain itu ada beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem pengaman yang efektif yaitu :

- ✍ Selektivitas dan Diskriminasi
- ✍ Stabilitas
- ✍ Kecepatan Operasi
- ✍ Sensitivitas (kepekaan)
- ✍ Pertimbangan ekonomis
- ✍ Realiabilitas (keandalan)
- ✍ Proteksi Pendukung

### **3.1.1 Perhitungan Pengaman**

Perhitungan pengaman yang akan diberikan pada peralatan listrik atau motor dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan yang telah ditentukan, dimana kita harus mengetahui spesifikasi dari peralatan atau motor yang akan diamankan tersebut, dimana motor yang digunakan adalah motor chiller.

Sistem pengaman motor chiller ini menggunakan MCCB *Merlin Gerin* tipe *Compact NS2000* dengan arus nominal 2000A dengan kemampuan Breaking Capacity sebesar 70-85KA pada tegangan 380/415V sebagai pengaman utama.

Sebagai pengaman motor menggunakan MCCB *Merlin Gerin* tipe *Compact NS800* dengan arus nominal 800A dengan kemampuan Breaking Capacity 50KA pada tegangan 380/415V yang dilengkapi dengan *Electronic Trip Unit* tipe STR43ME sebagai pengaman hubung singkat, beban lebih dan asimetris arus fasa pada motor. MCCB *Compact NS800* ini pasang dengan ELCB tipe *Vigi module (Vigicomact)* dengan rating arus pemutus 30mA yang digunakan sebagai pengaman tegangan sentuh dari arus bocor akibat kegagalan isolasi yang terjadi pada motor.

Sedangkan untuk peralatan pengaman tegangan lebih/kurang serta tegangan balik dari motor chiller dan asimetris tegangan/menghilangnya salah satu fasa pada rangkaian digunakan Phase Failure Relays (PFR) yang berupa motor saver, dimana kontak dari motor saver ini dipasangkan pada rangkaian control motor chiller sehingga apabila terjadi gangguan pada motor; motor saver ini akan bekerja memutuskan rangkaian control pada motor chiller yang



menyebabkan kontak KM motor terlepas dan memutuskan rangkaian pada motor chiller sehingga motor berhenti tanpa menyebabkan MCCB trip.

Fuse tidak digunakan sebagai pengaman utama motor, hubung singkat dan arus lebih karena didalam pemakaiannya untuk motor yang mempunyai daya besar fuse mempunyai beberapa kelemahan yaitu:

- ◆ Perlu waktu yang relative lama untuk mengganti fuse yang putus karena adanya gangguan arus lebih.
- ◆ Setiap mengganti fuse yang putus diperlukan biaya untuk menggantinya
- ◆ Dapat menghambat efektivitas kerja karena harus menunggu penggantian fuse yang baru.
- ◆ Untuk system 3 phasa, fuse tidak dapat bekerja secara serentak untuk memutuskan hubungan 3 phasa tersebut jika salah satu phasa terjadi gangguan sehingga dapat menyebabkan motor rusak/terbakar.
- ◆ Untuk pengaman beban induktif rating fuse tidak dapat dipasang pada In (arus nominal) beban karena jika terpasang pada In beban fuse tersebut akan putus akibat arus transient pada saat beban tersebut di-ON-kan.
- ◆ Untuk memisahkan dan menghubungkan fuse pada rangkaian sulit melaksanakannya dengan kontrol jarak jauh.

Akan tetap fuse selain mempunyai kekurangan juga mempunyai kelebihan yang belum dapat disamakan oleh alat pengaman yang lain, yaitu :

- ♣ Kehandalan pemutusannya tinggi bila terjadi gangguan arus lebih.
- ♣ Tidak ada istilah pengelasan kontak.
- ♣ Sangat baik untuk pengaman peralatan semikonduktor/elektronik karena waktu pemutusannya cepat.
- ♣ Resistansi penghantar leburnya sangat kecil sehingga kerugian tegangan pada penghantar tersebut kecil.
- ♣ Untuk nilai arus hubung singkat yang tinggi, fuse memberikan tingkat pengamanan yang sempurna.

Sedangkan untuk pemilihan circuit breaker (MCCB) yang akan digunakan sebagai pengaman utama, hubung singkat, beban lebih, arus lebih dari motor chiller dan sistem pengamannya terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain adalah :

## 1. Karakteristik dari sistem dimana circuit breaker dipasang

- ✧ *Sistem Tegangan* dari circuit breaker harus lebih besar atau minimum sama dengan tegangan system
- ✧ *Frekuensi Sistem* dari circuit breaker harus sesuai dengan frekuensi system
- ✧ *Arus Pengenal* dari circuit breaker harus disesuaikan dengan besarnya arus beban yang dilewatkan oleh kabel dan harus lebih kecil dari arus ambang yang diijinkan lewat pada kabel.
- ✧ *Kapasitas Pemutusan* dari circuit breaker harus paling sedikit sama dengan arus arus hubung singkat prospektif yang mungkin akan terjadi pada suatu titik instalasi dimana circuit breaker tersebut dipasang.
- ✧ *Jumlah Pole dari Circuit Breaker* sangat tergantung kepada system pembumian dari system.

## 2. Kebutuhan kontinuitas sumber daya listrik

- ♣ Diskriminasi total dari dua circuit breaker yang ditempatkan secara seri
- ♣ Diskriminasi terbatas (sebagian), diskriminasi hanya sampai tingkat arus gangguan tertentu.

## 3. Aturan-aturan dan standar proteksi

- ☀ Harus mengikuti dan memperhatikan peraturan instalasi listrik yang berlaku seperti PUIL
- ☀ Harus memperhatikan standar-standar yang diacu baik standar local maupun standar internasional seperti SPLN, IEC

### 3.1.1.1 Rating MCCB

Setting besarnya nilai rating MCCB untuk motor induksi tiga fasa dilindungi dengan pemutus tenaga yang menggunakan pengasutan dengan system bintang segitiga memiliki perbandingan 1:2.5 dengan arus beban penuhnya, akan tetapi karena motor chiller ini merupakan motor dengan penggerak gulungan rotor (motor induksi cincin geser) dikarenakan daya dari motor chiller ini adalah 360HP, selain itu pada saat start motor chiller ini bekerja tanpa beban sehingga pada saat start arusnya hanya mencapai 1.5 kali arus beban penuhnya sehingga untuk setting rating MCCB digunakan perbandingan 1:1.5. Maka besar settingan untuk rating arus nominal MCCB adalah :

$$\begin{aligned}
 I_s &= 1.5 \times I_n \dots\dots\dots (3.1) \\
 &= 1.5 \times 490 \text{ A} \\
 &= 735 \text{ A}
 \end{aligned}$$

MCCB yang digunakan adalah MCCB dengan setting arus 800 A

Untuk settingan pengaman beban penuhnya (arus over load/ $I_{ol}$ ) :

$$I_{ol} = 110\% \times I_n \dots\dots\dots (3.2)$$

$$I_{ol} = 110\% \times 490 \text{ A}$$

$$I_{ol} = 539 \text{ A}$$

$$I_r = \frac{I_{ol}}{I_s} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

$$I_r = \frac{539 \text{ A}}{800 \text{ A}} \times 100\%$$

$$I_r = 67.375\% \approx 67\%$$

$$I_{ol} = 120\% \times I_n \dots\dots\dots (3.4)$$

$$I_{ol} = 120\% \times 490 \text{ A}$$

$$I_{ol} = 588 \text{ A}$$

$$I_r = \frac{I_{ol}}{I_s} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

$$I_r = \frac{588 \text{ A}}{800 \text{ A}} \times 100\%$$

$$I_r = 73.5\% \approx 74\%$$



**Gambar 3.2** Compact NS630 dengan electronic trip unit STR43ME

*Sumber : Catalogue LV Circuit Breakers and Switch Disconnecter Compact Merlin gerin 80 to 3200A*

Sedangkan untuk dapat mengetahui nilai rating dari MCCB yang digunakan sebagai pengaman utama dari motor chiller dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut, dimana motor chiller yang ada sebanyak tiga unit maka arus setting MCCB utamanya adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Isu} &= \text{IsCB terbesar} + \text{In beban lainnya} \dots\dots\dots (3.6) \\
 &= 800 + 490 + 490 \text{ A} \\
 &= 1780 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Maka MCCB yang digunakan adalah MCCB dengan setting arus 2000 A



**Gambar 3.3** Compact NS800H

*Sumber : Catalogue LV Circuit Breakers and Switch Disconnectors  
Compact Merlin Gerin 80 to 3200A*

### 3.1.1.2 Rating KHA

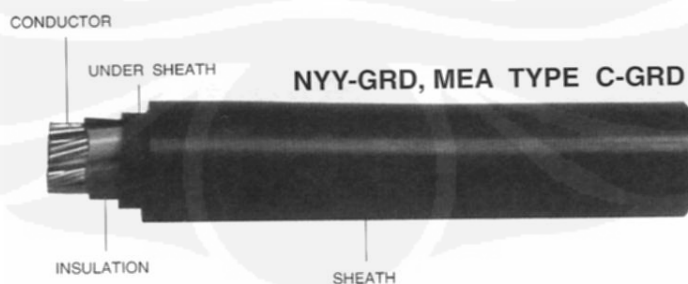
Perhitungan penghantar digunakan untuk luas penampang kabel dan busbar yang digunakan didalam rangkaian motor chiller, dimana luas penampang penghantar dapat ditentukan oleh beberapa hal, yaitu :

- ◇ Kemampuan Hantar Arus
- ◇ Perhitungan Penghantar Kontrol

Berdasarkan PUIL 2000, maka untuk menghitung penghantar rangkaian dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{KHA} &= 125\% \times \text{In} \dots\dots\dots (3.7) \\
 &= 125\% \times 490 \text{ A} \\
 &= 612.5 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Penghantar yang digunakan adalah kabel NYY 4x(2x95 mm<sup>2</sup>)



**Gambar 3.4** Kabel NYY

*Sumber : www.comscience-network.com*

Kabel yang digunakan sebanyak 2 core untuk tiap phasanya ini dimaksudkan agar mudah didalam penarikan kabel, dimana semakin besar inti kabel semakin sulit didalam penarikan kabel terutama untuk jarak dekat dan banyak lekukannya. Sedangkan untuk penghantar utamanya menggunakan Busbar yang dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut dimana motor chiller yang ada sebanyak tiga unit maka setting penghantar utamanya (busbar) adalah :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{KHA} &= \mathbf{KHA\ tertinggi + In\ lainnya} \dots\dots\dots (3.8) \\
 &= 612.5 + 490 + 490\ \text{A} \\
 &= 1592.5\ \text{A}
 \end{aligned}$$

Maka *Penghantar Utama* yang digunakan adalah Busbar 4x(50x5 mm)



**Gambar 3.5** Busbar

*Sumber : [www.stormcopper.com](http://www.stormcopper.com)*

### 3.2 PENGAMANAN MANUSIA

Selain mengamankan motor, lingkungan disekitarnya dan makhluk hidup terutama manusia yang menjalankan motor, harus dilindungi dari bahaya tegangan listrik saat terjadi sentuhan baik dengan peralatan maupun dengan perlengkapan listriknya dimana bahaya tegangan sentuh pada manusia dapat dibedakan menjadi dua bagian secara garis besar yaitu bahaya tegangan sentuh langsung maupun tegangan sentuh tidak langsung.

#### 3.2.1 Tegangan Sentuh Langsung

Tegangan sentuh langsung sangat berpotensi untuk dirasakan oleh makhluk hidup karena tegangan ini akan terasa kapan saja selama sistem aktif tanpa perlu merasakan adanya kegagalan isolasi. Untuk itu diperlukan suatu cara mengatasi bahaya tegangan sentuh langsung, minimal memperkecil kemungkinan resiko tersentuhnya bagian aktif suatu instalasi saat makhluk hidup berada

disekitar daerah kerja. Ada berbagai cara menanggulangi bahaya sentuhan langsung, dan cara-cara tersebut digolongkan dalam PUIL 2000 sebagai berikut :

#### *3.2.1.1 Dengan cara mengisolasi bagian aktif*

Isolasi digunakan untuk mencegah sentuhan dengan bagian aktif. Pada PUIL 2000 bagian 3.4.1.1 menyatakan bahwa bagian aktif harus seluruhnya tertutup dengan isolasi yang hanya dapat dilepas dengan merusaknya.

#### *3.2.1.2 Dengan cara memasang penghalang atau selungkup*

Pada PUIL 2000 bagian 3.4.2.1 mengungkapkan bahwa proteksi yang diberikan selungkup terhadap sentuhan langsung ke bagian berbahaya adalah proteksi manusia terhadap :

- ❖ Sentuhan dengan bagian aktif tegangan rendah yang berbahaya
- ❖ Sentuhan dengan bagian mekanik yang berbahaya
- ❖ Mendekati bagian aktif tegangan tinggi yang berbahaya dibawah jarak bebas yang memadai didalam selungkup

#### *3.2.1.3 Dengan memberi rintangan*

Tujuan dari pemberian rintangan ini adalah mencegah mendekatnya badan dengan tidak sengaja ke bagian aktif dan juga mencegah sentuhan pada bagian aktif selama operasi dari bagian aktif berjalan normal. Hal ini seperti apa yang diungkapkan dalam PUIL 2000 bagian 3.4.3.

#### *3.2.1.4 Dengan penempatan di luar jangkauan*

Pada PUIL 2000 bagian 3.4.4.1 diungkapkan bahwa bagian yang berbeda potensial yang dapat terjangkau secara simultan harus dipisahkan, dimana bagian terpisah secara simultan ini terjadi apabila dua bagian berjarak tidak lebih dari 2.5m. Apabila posisi yang biasa ditempati dihalangi pada arah horizontal oleh suatu rintangan yang memberikan tingkat proteksi kurang dari IP 2X, maka jangkauan tangan harus diukur mulai dari rintangan tersebut, ke atas jangkauannya adalah 2.5m.

### 3.2.2 Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Tegangan sentuh tidak langsung dapat dirasakan oleh tubuh saat terjadi kegagalan isolasi, dimana badan peralatan listrik menjadi bertegangan. Sementara kegagalan isolasi sendiri merupakan kejadian yang tidak terduga dan tidak dapat diperhitungkan. Namun kita dapat mengurangi resiko yang ditanggung saat terjadi kegagalan isolasi ataupun memutuskan peralatan listrik dari instalasi saat terjadi kegagalan isolasi tersebut dengan berbagai cara, diantaranya adalah :

#### 3.2.2.1 Pentanahan

Pentanahan atau disebut juga pembumian bertujuan mencegah tingginya tegangan sentuh yang dapat dirasakan tubuh saat terjadi kegagalan isolasi dan disisi lain mengupayakan peralatan pengaman dapat segera beroperasi karena adanya arus tertentu yang mengalir selama waktu tertentu saat terjadi kegagalan isolasi tanpa menimbulkan keadaan bahaya/kebakaran. Untuk itu diperlukan elektroda untuk membuang arus ke tanah, dimana pada pentanahan yang baik adalah pada sistem dan peralatannya

Sebagaimana yang kita ketahui bahwa arus cenderung memilih daerah bertahanan rendah sebagai jalannya, dan pentanahan merupakan suatu upaya melarikan muatan listrik ke tanah, maka suatu pentanahan yang baik harus memiliki tahanan pentanahan yang tidak boleh melebihi  $5\Omega$ . Hal ini dapat dijelaskan melalui perhitungan dari rumus berikut ini.

$$V = \frac{RE}{RE + RB} \times 220(VOLT) \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana :

- Vs : Tegangan Sentuh (Volt)
- RE : Tahanan total pentanahan (Ohm)
- RB : Tahanan total beban (Ohm)

Seandainya besar tahanan beban kita ambil  $17\Omega$  dengan acuan sebagai besar tahanan gangguan tanah, dan tahanan pentanahan  $5\Omega$ , maka dengan menggunakan rumus diatas akan didapat nilai tegangan sentuh sebesar 50 Volt. Nilai ini masih diijinkan karena masih dapat ditanggung oleh tubuh.

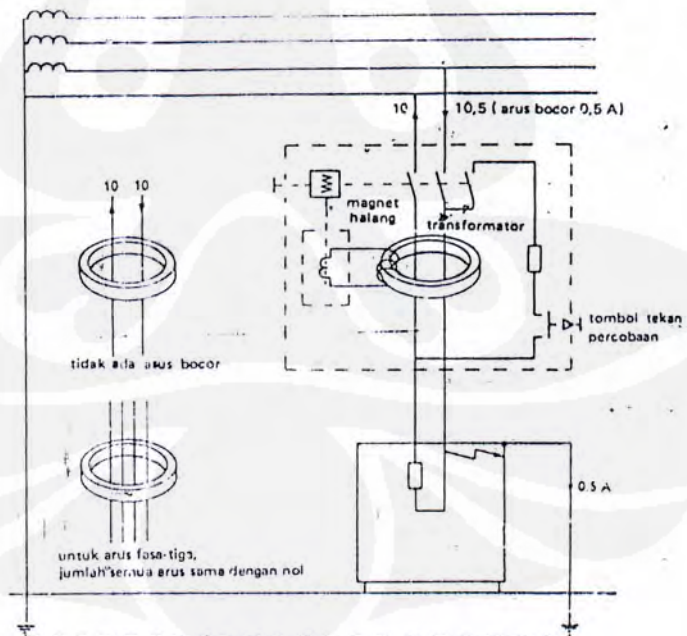
### 3.2.2.2 ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker)



**Gambar 3.6** ELCB Vigic Compact NS250

*Sumber : Catalogue LV Circuit Breakers and Switch Disconnectors Compact Merlin gerin 80 to 3200A*

ELCB merupakan saklar yang bekerja berdasarkan arus bocor yang dirasakannya dengan memutuskan rangkaian dari sumber. Arus bocor sendiri ada yang langsung mengalir ke bumi dan ada juga arus bocor yang mengalir ke tubuh makhluk hidup yang menyentuh badan peralatan yang mengalami kegagalan isolasi. Dari konstruksinya, saklar ini terdiri dari sebuah mekanik pemutus, penghantar fasa, inti trafo arus seimbang dan penghantar netral.



**Gambar 3.7** Sistem kerja ELCB

*Sumber : P. Van Harten, Ir. E. Setiawan, Instalasi Listrik Arus Kuat 3, Bina Cipta Jakarta 1983*

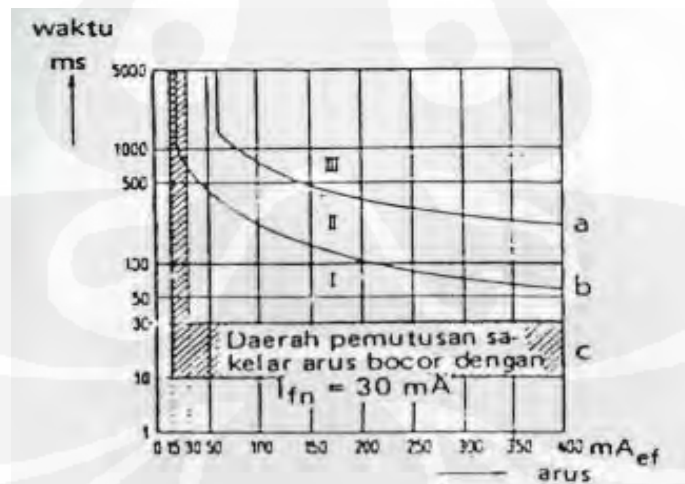


Pada keadaan normal inti transformator akan mendapati jumlah arus yang dilingkarinya akan sama dengan nol. Namun ketika terjadi kebocoran yang menyebabkan mengalirnya arus bocor ke tanah maka inti transformator akan merasakan adanya keadaan yang tidak seimbang dimana arus pada penghantar phasa lebih besar daripada penghantar netralnya sehingga pada inti transformator itu akan timbul medan magnet yang akan membangkitkan tegangan pada kumparan sekundernya.

Arus jatuh nominal ( $I_f$ ) dari sakelar merupakan arus diferensial terkecil yang dapat menyebabkan sakelar ini bekerja. Dengan persyaratan bahwa tegangan sentuh yang diketanahkan tidak boleh melebihi 50V ke tanah dan syarat untuk tahanan dari lingkaran arus pentanahannya sebesar :

$$Ra \leq \frac{50V}{I_f} \dots\dots\dots (3.10)$$

Salah satu jenis sakelar arus bocor yang sering dipakai adalah ELCB dengan arus jatuh nominal 30 mA. Sakelar ini cukup aman karena akan bekerja ketika merasakan adanya arus bocor sebesar 30 mA, dan kita tahu bahwa arus dibawah 50mA jika dirasakan oleh tubuh masih dapat ditanggung oleh tubuh tanpa menimbulkan gejala-gejala berbahaya.



**Gambar 3.8** Karakteristik kerja ELCB

*Sumber : P. Van Harten, Ir. E. Setiawan, Instalasi Listrik Arus Kuat 3, Bina Cipta Jakarta 1983*

Untuk mengetahui berapa besar arus gangguan yang dirasakan tubuh, dapat digunakan perhitungan dengan rumus :

$$I_f = \frac{V_s}{R_b} \quad (\text{A}) \dots\dots\dots (3.11)$$

dimana :

- If : Arus gangguan (A)
- Vs : Tegangan sumber (V)
- Rb : Tahanan tubuh (Ohm)

Menurut *Monoilov* tahanan tubuh manusia antara 600Ω-3000Ω, sehingga dapat diasumsikan jika tahanan tubuh manusia sebesar 3000Ω dan tahanan peralatan 300Ω pada saat terjadi kegagalan isolasi pada peralatan maka akan mengalir arus gangguan sebesar

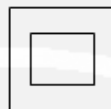
$$I_f = \frac{220V}{(3000 + 300)\Omega} = 0.0667 A$$

Sehingga belum sempat arus gangguan sebesar ini dirasakan oleh manusia ELCB telah merasakannya terlebih dahulu, dimana ELCB akan bekerja memutus rangkaian, dan arus sebesar ini belum sempat membahayakan tubuh.

Akan tetapi ELCB tidak dapat mendeteksi gangguan yang disebabkan oleh hubung singkat karena pada saat terjadi hubung singkat jumlah arus yang melalui penghantar fasa dan netralnya sama dengan nol, oleh sebab itu ELCB seringkali digabung dengan circuit breaker.

### 3.2.2.3 Isolasi Ganda

Isolasi ganda merupakan isolasi tambahan disamping isolasi utamanya, diberikan untuk mencegah bertegangannya badan peralatan saat terjadi kegagalan isolasi. Peralatan yang menggunakan isolasi ganda memakai simbol :



**Gambar 3.9** Simbol Isolasi Ganda

*Sumber : P. Van Harten, Ir. E. Setiawan, Instalasi Listrik Arus Kuat 3, Bina Cipta Jakarta 1983*

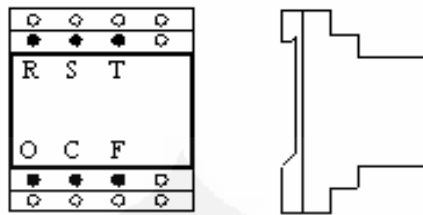
### **3.3 PENGAMANAN MOTOR LISTRIK**

Dampak yang diberikan dari terganggunya kerja motor secara umum adalah timbulnya panas pada belitan yang nantinya akan menyebabkan terbakarnya motor tersebut. Untuk itu diperlukan suatu tindakan yang mengamankan motor listrik saat terjadi gangguan pada motor, dengan harapan motor tidak akan mengalami panas yang terlalu tinggi, sehingga terbakar. Motor listrik selain harus diamankan dari arus gangguan juga harus diamankan dari benda lain atau air yang dapat menyebabkan gangguan, untuk itu pemakaiannya harus disesuaikan dengan lingkungan kerja. Dalam hal ini yang diperlukan adalah indeks perlindungan (IP/Index Protection) motor. Pentanahan motor juga diperlukan pada suatu instalasi listrik, karena dengan pentanahan jika terjadi arus bocor pada motor maka arusnya akan tersalurkan langsung kebumi.

#### **3.3.1 Akibat Asimetris Tegangan**

Kasus ini terjadi untuk motor-motor tiga fasa, dimana asimetris tegangan dapat terjadi akibat putusnya salah satu fasa. Beda potensial antar fasa sebesar 380 Volt untuk tegangan rendah 220/380 Volt, dan saat terputusnya salah satu fasa maka bagian netral akan menjadi bertegangan. Akibat yang ditimbulkan dari keadaan ini adalah motor tidak akan bekerja karena ada belitan motor yang tidak mendapat suplai karena beda potensial yang kecil akibat adanya tegangan netral. Pada bagian belitan motor yang lain yang tetap mendapat supply, energi panas akan terus menerus diterima oleh koil, dengan kondisi koil tidak bekerja menggerakkan motor sehingga terjadi kembali penimbunan panas yang akan membahayakan motor tersebut.

Phase Failure Relays (PFR) dihubungkan pada rangkaian tiga fasa, alat ini difungsikan sebagai pengaman atau sebagai pemberi signal. Phase Failure Relays mendeteksi adanya penurunan atau kenaikan tegangan pada satu atau beberapa fasa dan adanya perbedaan tegangan antara fasa. Sifat-sifat dari Phase Failure Relays adalah untuk menjaga rangkaian 3 fasa berfungsi pada tegangan nominal 610%.



**Gambar Phase 3.10** Failure Relays tampak depan dan samping

*Sumber :Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002*

Terlihat pada gambar :

- ✦ Keadaan tegangan normal  
Kontak C-O tertutup  
Kontak C-F terbuka
- ✦ Keadaan tegangan tidak normal  
Kontak C-O terbuka  
Kontak C-F tertutup

Pada motor chiller, peralatan pengaman yang digunakan untuk mendeteksi ketidak seimbangan fasa pada jaringan motor digunakan motor saver. Motor Saver ini disetting untuk bekerja apabila telah terjadi ketidak seimbangan fasa pada jaringan motor, dimana pada saat motor saver bekerja kontakannya akan memutuskan rangkaian kontrol yang akan menyebabkan motor berhenti bekerja.

### 3.4 ANALISIS GANGGUAN PADA MOTOR

Selain mengamankan makhluk hidup terhadap tegangan sentuh dan arus bocor yang berasal dari motor chiller, terdapat juga gangguan-gangguan pada motor yang berasal dari lingkungannya. Faktor-faktor yang dapat membahayakan dan menimbulkan kerusakan pada sebuah motor dapat berasal dari alat yang digerakkan, jaringan supply maupun keadaan sekeliling dimana apabila gangguan tersebut tidak diatasi dengan baik dapat menimbulkan kerusakan baik pada motor, lingkungan disekitarnya maupun pada makhluk hidup terutama manusia.

#### 3.4.1 Alat yang Digerakkan

- ✦ Kopel yang terlalu besar

Apabila sebuah motor diberikan beban yang terlalu besar secara mekanis beban ini akan menimbulkan momen kopel yang besar, yang dapat menyebabkan motor tidak dapat berputar dengan optimal karena bebannya

yang berlebih. Dampak listrik yang ditimbulkan saat beban berlebih adalah timbulnya arus lebih pada motor yang diperlukan oleh motor untuk berputar secara normal. Apabila hal ini terus menerus terjadi dapat menyebabkan motor rusak/terbakar karena arus yang berlebih akan menyebabkan lilitan/koil motor menerima panas berlebih yang dapat merusak isolasinya. Untuk mencegahnya diperlukan peralatan pengaman untuk mengamankan motor dari arus lebih dimana peralatan pengaman tersebut dapat berupa relay over current (OCR). Pada motor chiller peralatan pengaman yang digunakan berupa MCCB yang berfungsi untuk mendeteksi arus lebih yang timbul pada motor.

✦ Kopel yang naik turun

Naik turunnya momen kopel yang disebabkan karena beban yang tidak stabil dapat menyebabkan arus yang mengalir pada motor tidak stabil, sehingga lilitan/koil motor mendapat supply yang tidak stabil pula, dimana arus yang tidak stabil ini dapat merusak isolasi pada lilitan/koil motor jika terjadi secara terus menerus sehingga dapat menyebabkan motor terbakar/rusak. Oleh karena itu untuk mencegahnya diusahakan agar beban yang diterima oleh motor stabil.

✦ Pengasutan dan pengereman yang terlalu sering dan terlalu lama

Ketika sebuah motor diasut, misalnya saat motor diasut Y- $\Delta$ , arus starting motor akan lebih kecil dari arus starting tanpa pengasutan. Saat seperti ini akan menyebabkan daya motor kecil, sehingga dapat dilihat bahwa ketika diasut motor berada dalam kondisi tidak normal karena lilitan/koil motor mendapatkan tegangan supply yang besar. Apabila hal ini sering dilakukan dan waktu pengasutannya terlalu lama dapat merusak isolasi lilitan/koil motor sehingga dibutuhkan peralatan pengaman yang dapat mengamankan motor dari tegangan lebih, begitupula untuk pengereman motor yang terlalu sering dan terlalu lama dilakukan. Pada saat motor direm arus yang mengalir pada motor tetap sedangkan daya yang dikeluarkan kecil, sehingga pada lilitan/koil motor akan timbul panas karena adanya arus yang berlebih. Panas yang timbul pada lilitan/koil motor ini dapat merusak isolasinya, oleh karena itu motor akan rusak jika frekuensi pengasutannya

dan pengeremannya terlalu sering dan lama sehingga diperlukan peralatan pengaman yang dapat mengamankan motor dari arus lebih.

Pada chiller motor ini digunakan sebagai motor kompresor yang berfungsi untuk mengkompresi refrigerant yang berbentuk gas pada kompresor dimana refrigerant ini berasal dari suction line evaporator sehingga temperatur dan tekanan refrigerant ini akan mengalami kenaikan. Refrigerant ini akan digunakan untuk mendinginkan air yang mengalir pada evaporator dan jumlah refrigerant yang akan dikompresi oleh kompresor ini diatur jumlahnya oleh vanes dimana vanes ini bekerja berdasarkan temperatur pada evaporator, sehingga arus yang mengalir pada motor besarnya dapat diatur. Oleh karena itu motor ini relatif aman terhadap gangguan dari besarnya beban dan ketidak stabilan beban karena jumlah refrigerant yang akan dikompresi oleh motor kompresi ini jumlahnya relatif stabil ataupun jika ada penambahan/pengurangan refrigerant akan dilakukan secara bertahap karena sudah diatur oleh vanes secara otomatis. Begitu pula untuk pengasutannya dimana waktu untuk pengasutannya telah diatur kurang dari 10 detik. Sedangkan untuk pengeremannya relatif tidak ada karena motor ini di desain untuk beroperasi secara terus menerus tanpa pengereman.

### **3.4.2 Jaringan Supply**

✧ Tegangan yang terlalu rendah atau terlalu tinggi

Jika tegangan supply yang diberikan pada motor terlalu rendah, maka pada lilitan/koil motor akan timbul arus yang berlebih untuk menjalankan motor. Jika hal ini terjadi terus menerus dapat merusak isolasi dari motor karena panas yang timbul pada lilitan/koilnya. Untuk mencegah timbulnya arus lebih pada motor akibat tegangan kurang maka dibutuhkan peralatan pengaman terhadap tegangan kurang yang dapat berupa relay under voltage (UVR) atau arus lebih. Apabila tegangan supply pada motor terlalu tinggi, motor akan tetap dapat berputar dimana arus yang dibutuhkan kecil. Akan tetapi tegangan yang terlalu tinggi pada motor dapat menyebabkan rusaknya isolasi lilitan/koil motor yang dapat menyebabkan motor rusak/terbakar karena menerima tegangan diatas tegangan nominalnya sehingga untuk mencegahnya dibutuhkan peralatan

pengaman yang dapat mengamankan motor dari tegangan lebih yang dapat berupa relay over voltage (OVR). Untuk mencegah terjadinya tegangan yang terlalu rendah/tinggi pada motor dapat menggunakan stabiliser untuk menstabilkan tegangannya.

\* Tegangan phasa yang tidak sama (untuk motor phasa tiga)

Pada motor dengan spesifikasi tegangan phasa (line to line) sebesar 380V, apabila dari ketiga phasa ada yang mendapat tegangan supply yang tidak sama maka motor tidak dapat berputar dengan secara optimal (motor berputar terputah-putah) dan akan menyebabkan timbulnya arus pada penghantar netralnya. Kondisi ini jika terjadi secara terus menerus dapat menyebabkan motor rusak/terbakar karena rusaknya isolasi motor yang disebabkan arus lebih yang timbul pada lilitan/koilnya karena tegangan phasa yang tidak sama; dan dapat membahayakan makhluk hidup dan lingkungan disekitarnya terutama manusia karena mengalirnya arus pada penghantar netralnya. Untuk mencegah timbulnya asimetris tegangan dibutuhkan peralatan pengaman yang dapat mendeteksi asimetris tegangan phasa pada rangkaian yang dapat berupa phase failure relay.

\* Putusnya salah satu phasa (untuk motor tiga phasa)

Pada saat salah satu phasa pada motor putus akan menyebabkan timbulnya arus yang besar pada penghantar netralnya, sehingga beda potensial antar phasa akan berkurang. Kondisi ini menyebabkan motor berdengung dan berputar tidak optimal (motor berputar terputah-putah) karena salah satu phasanya tidak aktif dan kedua phasa tersebut menanggung semua beban yang seharusnya di tanggung oleh semua phasa sehingga arus pada lilitan/koilnya besar dan dapat mengakibatkan motor rusak/terbakar dimana rusaknya isolasi disebabkan oleh arus lebih yang besar. Selain itu arus yang mengalir pada penghantar netral dapat membahayakan makhluk hidup dan lingkungan disekitarnya terutama manusia karena arus yang mengalir besar. Oleh karena itu dibutuhkan peralatan pengaman yang dapat mengamankan motor terhadap putusnya salah phasa pada motor, dimana peralatan yang digunakan dapat berupa phase failure relay.



**Gambar 3.11** Motor Saver 101

Pada motor chiller hal ini telah diatasi karena pada rangkaiannya telah terpasang peralatan pengaman yang berupa motor saver yang berfungsi sebagai relay under voltage (UVR), relay over voltage (OVR), phase failure relay (PFR), maupun untuk mendeteksi tegangan balik dari motor (Phase Reversal); yang digunakan untuk mendeteksi gangguan yang terjadi pada rangkaian motor. Motor saver ini bekerja apabila tegangan pada rangkaian berkurang sebesar 10% dari tegangan nominalnya (380V) pada saat terjadi tegangan kurang, sedangkan untuk tegangan lebihnya disetting pada tegangan 405 V. Begitu pula pada saat terjadi tegangan balik dari motor dimana motor chiller ini akan menghasilkan tegangan yang dapat mengganggu tegangan supply dari PLN/Genset dan pada saat terjadi asimetris tegangan atau putusnya salah satu phasa, motor saver ini akan bekerja. Dimana kerja dari motor saver ini akan menyebabkan rangkaian kontrol dari motor terputus dan motor akan berhenti tanpa menyebabkan MCCB trip karena kontak dari motor ini terpasang pada rangkaian kontrolnya.



**Gambar 3.12** Electronic trip unit type STR43ME

*Sumber : Catalogue LV Circuit Breakers and Switch Disconnecter Compact Merlin gerin 80 to 3200A*



Kerja dari motor saver ini di back-up oleh *electronic trip unit* yang terdapat pada MCCB dimana *electronic trip unit* ini akan bekerja pada saat ketidak seimbangan arus phasanya mencapai 40% atau lebih, sedangkan untuk tegangan lebih/kurangnya mencapai 10% dari tegangan nominalnya.

Pada saat motor saver bekerja, maka motor saver akan memutuskan rangkaian kontrol dari motor yang menyebabkan motor berhenti, sedangkan pada saat *electronic trip unit* yang bekerja maka *electronic trip unit* ini akan menyebabkan MCCB yang bekerja memutuskan rangkaiannya dimana *electronic trip unit* ini terpasang pada MCCB seperti halnya pada ELCB Vigi Compact.

### 3.4.3 Keadaan Sekeliling

#### ◆ Suhu lingkungan yang terlalu tinggi

Motor listrik dirancang dengan konstruksi yang memiliki ventilasi untuk menjadi sarana sirkulasi udara antara udara panas dari lilitan/koil motor pada saat motor berjalan dengan udara disekitar lingkungan sebagai pendingin. Untuk itu motor listrik memiliki perlindungan dengan menggunakan isolasi yang hanya dapat dirusak oleh temperatur yang berlebih. Apabila isolasi ini rusak maka temperatur lingkungan dan panas pada lilitan/koil motor dapat menyebabkan terbakarnya lilitan/koil motor. Adapun kelas dari isolasi motor dapat ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Kelas Isolasi Motor

Kelas Isolasi	A	E	B	F
Temperatur maksimum yang diijinkan (°C)	105	120	130	155

*Sumber :Hasmi Asidiki, Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman, Jakarta 2002*

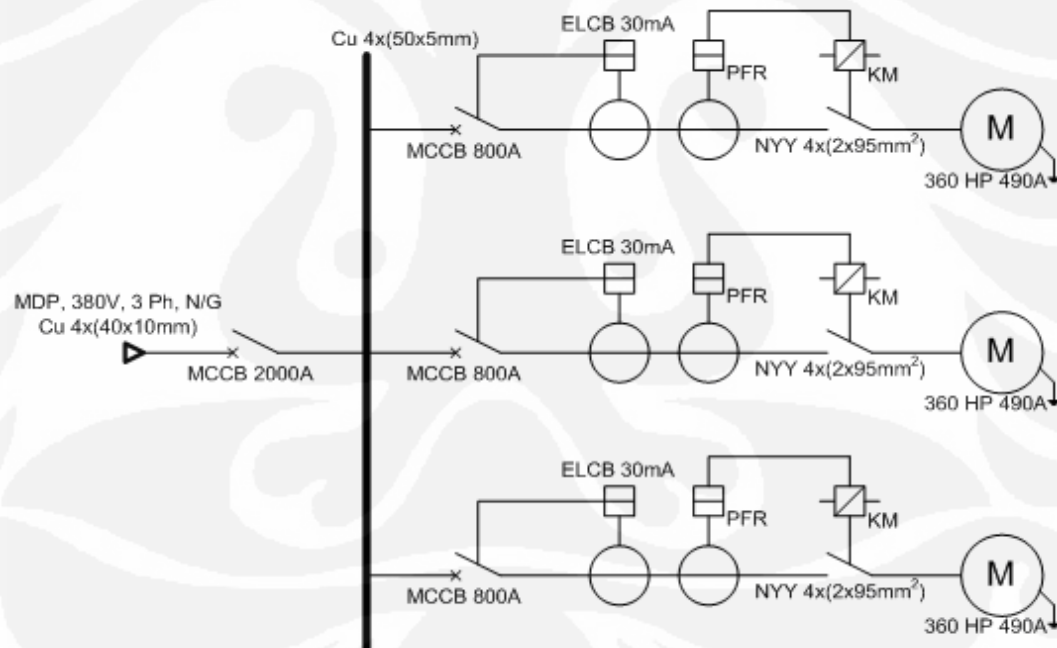
#### ◆ Getaran-getaran

Getaran yang ditimbulkan saat motor bekerja dapat menyebabkan kerusakan mekanis seperti bergesernya motor secara perlahan-lahan dari kedudukannya yang dapat menyebabkan motor terjatuh apabila berada pada ketinggian tertentu. Selain itu dapat juga menyebabkan pergeseran pada komponen-komponen motor, sehingga dapat menyebabkan lepasnya pengawatan pada motor, yang dapat menimbulkan tegangan sentuh tidak langsung pada motor atau dapat menyebabkan hubung singkat pada motor.

Lingkungan tempat motor chiller ini diletakan telah dilengkapi dengan fasilitas fresh air fan dan exhaust fan yang beroperasi selama 24 jam yang berfungsi sebagai sirkulasi udara sehingga motor chiller ini relatif aman terhadap gangguan dari temperatur disekitarnya yang sekiranya dapat mengganggu kinerja dari chiller dimana temperatur udaranya selalu terjaga, selain itu motor chiller ini telah dilengkapi dengan isolasi motor kelas F yang berarti motor ini dapat menahan temperatur sampai 155°C untuk lilitan/koilnya. Selain itu untuk mengurangi getaran-getaran yang timbul dari motor chiller pada saat motor ini bekerja yang dapat menyebabkan bergesernya motor dari kedudukannya maka di pondasinya digunakan spring/pegas untuk menstabilkan kedudukan motor chiller ini, dimana spring/pegas ini dapat disetting ketinggiannya.

### 3.5 ANALISIS SISTEM PENGAMAN MOTOR CHILLER

#### 3.5.1 Single Line



Gambar 3.13 Single Line Sistem Pengaman Motor Chiller

#### 3.5.2 Analisis Kerja Sistem Pengaman Motor Chiller

Pada saat motor chiller mengalami gangguan yang disebabkan oleh beban lebih maka peralatan pengaman yang bekerja adalah MCCB800A dimana MCCB ini berfungsi sebagai pengaman beban lebih, begitu pula saat terjadi arus lebih

dimana arus yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya beban lebih sehingga pengaman yang bekerja adalah MCCB800A ini. Untuk pengaman beban lebih arus rating (Ir) MCCB ini disetting 110% dari arus nominalnya (110%In) atau pada 67% dari arus settingnya (67%Is) yaitu 536A, dimana arus nominal (In) dari motor ini adalah 490A dan arus setting (Is) untuk MCCB ini adalah 800A.

Pada saat beban lebihnya sebesar 110%In maka *electronic trip unit* bekerja yang menyebabkan MCCB800A akan trip dalam waktu 700s, sedangkan untuk beban lebihnya 120%In maka MCCB800A ini akan trip dalam waktu 450s. Untuk lebih jelasnya mengenai waktu trip MCCB pada saat beban lebih dapat dilihat pada tabel 3.2. Pada saat beban lebih, tripping type yang dipergunakan oleh MCCB adalah secara thermal.

Tabel 3.2 Persentase over load dan waktu tripping MCCB

Over load	110%In	120%In	130%In	140%In	150%In
waktu	700s	450s	300s	200s	150s

Sedangkan apabila terjadi hubung singkat maka peralatan pengaman yang bekerja adalah MCCB800A karena MCCB ini digunakan juga sebagai pengaman arus hubung singkat, dimana tripping type yang dipergunakannya adalah secara elektromagnetik. Settingan untuk arus hubung singkat pada MCCB terbagi menjadi dua, yaitu seketika (*instantaneous*) dan *short time*. Untuk *instantaneous* arus ratingnya (Ir) disetting 13 kali dari arus nominalnya (13xIn), sedangkan untuk *short time* arus ratingnya (Ir) disetting 6 kali dari nominalnya (6xIn).

Untuk mengamankan manusia terhadap kemungkinan kegagalan isolasi yang terjadi pada motor chiller yang dapat menyebabkan timbulnya arus bocor pada motor chiller, dimana arus bocor tersebut dapat membahayakan lingkungan dan makhluk hidup yang ada disekitarnya terutama manusia maka pada motor chiller ini dilengkapi dengan ELCB *Vigi Compact* yang menjadi satu dengan MCCB800A. Peralatan pengaman ini akan bekerja apabila arus bocor yang terjadi lebih besar dari 30 mA sehingga apabila ELCB mendeteksi terjadinya arus bocor sebesar 30 mA rangkaian akan diputus oleh MCCB800A sehingga rangkaian akan terputus dan tidak ada arus yang mengalir pada motor chiller tersebut.

Pada MCCB800A ini telah dilengkapi pula dengan *electronic trip unit* yaitu peralatan pengaman yang berfungsi untuk mendeteksi terjadinya tegangan

lebih/kurang atau asimetris arus fasa yang terjadi pada rangkaian dimana MCCB800A akan trip apabila tegangannya kurang/lebih dari 10% dan atau asimetris arus fasa yang terjadi pada rangkaian telah mencapai 40% atau lebih. Pengaman pada MCCB ini merupakan back-up dari motor saver.

Sedangkan untuk mengamankan motor terhadap gangguan dari tegangan lebih/kurang, tegangan balik dan asimetris tegangan fasa atau menghilangnya salah satu fasa pada motor yang mungkin terjadi, maka pada motor tersebut telah dipasang Phase Failure Relay yang berupa motor saver dimana jika motor saver tersebut mendeteksi menghilangnya salah satu fasa atau asimetris tegangan, tegangan balik dari motor chiller maka motor saver ini akan bekerja begitu pula pada saat tegangannya kurang 10% dari tegangan nominalnya atau tegangannya lebih dari 405V.

Pada saat motor saver bekerja maka kontakannya akan memutuskan rangkaian kontrol pada motor chiller yang menyebabkan kontak dari kontaktor KM memutuskan rangkaian motor sehingga motor akan berhenti beroperasi. Hal ini berbeda dengan pengaman back up dari motor saver yaitu *electronic trip unit* yang terdapat pada MCCB800A yang akan memutuskan rangkaian melalui MCCB begitu pula dengan ELCB *Vigi Compact*, sedangkan pada motor saver pemutusan rangkaiannya melalui Kontak Kontaktornya.

MCCB800A ini di back up dengan MCCB2000A yang berfungsi untuk mengamankan seluruh rangkaian dimana apabila MCCB800A ini tidak dapat bekerja apabila telah terjadi gangguan pada rangkaian/motor maka MCCB2000A yang akan bekerja dan memutuskan seluruh rangkaian dari ketiga motor chiller tersebut sehingga akan terjadi pemadaman total.

Pada single line sistem pengaman motor chiller ini tidak terdapat relay beban lebih (Thermal Overload Relay/TOR) karena pengaman tersebut telah terintergrasi dengan chiller, dimana pengaman tersebut berfungsi sebagai pengaman beban lebih kompresor.

## **BAB IV KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa peralatan pengaman yang digunakan untuk mengamankan motor chiller terdiri dari tiga jenis yaitu MCCB, ELCB dan Motor Saver. MCCB berfungsi sebagai pengaman motor chiller terhadap beban lebih dan arus hubung singkat sekaligus sebagai pengaman utama dari motor chiller, sedangkan ELCB digunakan sebagai pengaman terhadap tegangan sentuh dan arus bocor yang disebabkan oleh kegagalan isolasi

Untuk mendeteksi terjadinya gangguan yang terjadi pada motor chiller dapat menggunakan motor saver. Motor Saver ini berfungsi sebagai pengaman untuk mendeteksi terjadinya tegangan lebih/kurang, tegangan balik dan asimetris tegangan/hilangnya salah satu tegangan fasa pada motor chiller, dimana gangguan-gangguan yang terjadi pada motor dapat disebabkan oleh alat yang digerakkan, jaringan supply dan lingkungan disekitar motor.

Untuk alat yang digerakkan dapat disebabkan oleh kopel yang tidak stabil (naik/turun) dan pengasutan yang terlalu sering yang menyebabkan timbulnya arus lebih pada lilitan/koil motor; sedangkan untuk jaringan supply dapat disebabkan oleh tegangan yang tidak stabil dan putusnya salah satu fasa yang mengakibatkan timbulnya tegangan lebih/kurang dan arus lebih pada lilitan/koil motor sedangkan untuk lingkungan disekitar motor dapat disebabkan oleh temperatur dan getaran yang terjadi.

Selain itu MCCB ini telah dilengkapi pula dengan *Electronic Trip Unit* yang digunakan untuk mendeteksi tegangan lebih/kurang dan asimetris arus fasa pada rangkaiannya, dimana *electronic trip unit* ini menjadi satu dengan MCCB seperti halnya ELCB *Vigi Compact*. MCCB akan trip dan memutuskan rangkaian pada saat *Electronic Trip Unit* dan ELCB *Vigi Compact* mendeteksi terjadinya gangguan sedangkan pada motor saver akan memutuskan rangkaian melalui kontak kontaktornya pada saat motor mengalami gangguan tanpa menyebabkan MCCB trip.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Asidiki, Hasmi, *Modul Praktek Instalasi Penerangan dan Tenaga Bengkel Listrik Semester IV di Tinjau dari Sistem Pengaman*, Jakarta , 2002
- [2] *Catalogue LV Circuit Breakers and Switch Disconnecter Compact Merlin gerin 80 to 3200A*
- [3] Harten, P. van, Setiawan E. Ir, *Instalasi Arus Kuat 3*, Bina Cipta, Bandung, 1983
- [4] *Merlin Gerin Circuit Breaker Application Guide*
- [5] Muhaimin, *Instalasi Listrik 1*, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Bandung , 1995

## DAFTAR PUSTAKA

Arnold, von Robert, Sther, Wilhelm, *Elektronika untuk Pendidikan Teknik 2*, Pradnya Paramita, Jakarta ,1987

Harten, P. van, Setiawan E. Ir, *Instalasi Arus Kuat 1*, Bina Cipta, Bandung, 1983

Harten, P. van, Setiawan E. Ir, *Instalasi Arus Kuat 2*, Bina Cipta, Bandung, 1983

*Katalog Pemutus Tenaga Menengah (MCCB)*, Merlin Gerin, 2006

Panitia Revisi PUIL, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Yayasan PUIL, Jakarta, 2000

“*Training AC Sentral*”, Engineering Departement PPKP Menara Sudirman , Jakarta, 2006.

“*Training Pengoperasian PLN-Genset-PLN*”, Engineering Departement PPKP Menara Sudirman , Jakarta, 2007

## LAMPIRAN





# Motor protection

## Compact NS400 to 630 circuit breakers with STR43ME electronic trip unit

Compact NS400 to 630 circuit breakers, equipped with an STR43ME electronic trip unit with adjustable thresholds, offer:

- short-circuit protection
- phase-imbalance protection
- overload protection
- suitability for isolation.



Compact NS630 equipped with an STR43ME electronic trip unit

## Compact NS400 to 630 circuit breakers

See the circuit breakers for distribution systems on page 16.

## STR43ME electronic trip unit

### Protection

#### Overload protection

True (rms) long-time protection with an adjustable threshold:

- I<sub>o</sub> base setting (5 settings from 0.5 to 0.8) and I<sub>r</sub> fine adjustment (8 settings from 0.8 to 1)
- adjustable tripping delay, in compliance with tripping classes 10A, 10 and 20 as defined by IEC 60947-4.

The STR43ME offers two motor-cooling time constants, associated with the motor starting class:

- short cooling time constant (the same as the heating time constant), providing maximum continuity of service and satisfactory motor protection
- long cooling time constant (four times the heating time constant), providing maximum motor protection.

#### Short-circuit protection

Short-time and instantaneous protection:

- short-time protection with adjustable pick-up and fixed tripping delay
- instantaneous protection with fixed pick-up.

#### Phase-imbalance protection

This function complies with the stipulations of standard IEC 60947-4.1 and trips the circuit breaker whenever a phase-current imbalance of 40% or more occurs. The circuit-breaker opening time is 4 seconds  $\pm$ 10%.

### Indications: Overload LED (%I<sub>r</sub>)

A LED on the front indicates the percent load:

- OFF:  $I < 1.05 I_r$
- flashing:  $I \geq 1.05 I_r$

### Fault indications

LEDs indicate the type of fault that caused tripping:

- overload (long-time protection) or abnormal component temperature ( $> I_r$ )
- short-circuit (short-time protection) or instantaneous ( $> I_{sd}$ )
- phase imbalance (LED on the right)
- microprocessor malfunction:
  - all four (% I<sub>r</sub>), ( $> I_r$ ), ( $> I_{sd}$ ) and (phase imbalance) LEDs ON.

Battery powered. Spare batteries are supplied in an adapter box. When a fault occurs, the LED indicating the type of fault goes OFF after approximately ten minutes to conserve battery power. The information is however stored in memory and the LED can be turned back ON by pressing the battery/LED test pushbutton. The LED automatically goes OFF and the memory is cleared when the circuit breaker is reset.

### Test

A mini test kit or a portable test kit may be connected to the test connector on the front to check circuit-breaker operation after installing the trip unit or accessories. The test pushbutton tests the battery and the LEDs.

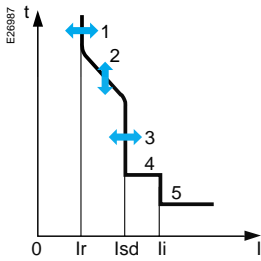
### Self monitoring

The circuit breaker trips if a microprocessor fault or an abnormal temperature is detected.

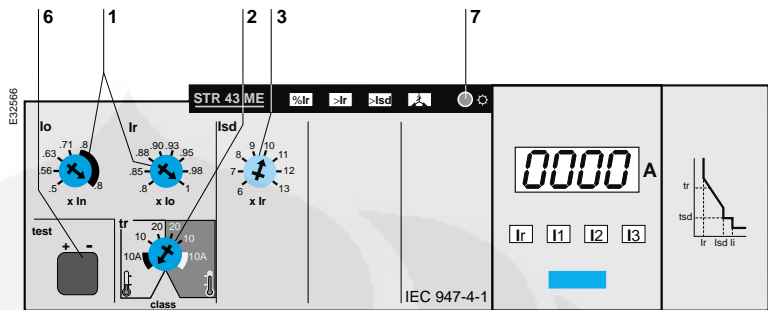
### Options

Three options are available:

- ammeter (I)
- contactor tripping module (SDTAM)
- communication (COM).



- 1 long-time threshold
- 2 tripping class
- 3 short-time pick-up
- 4 short-time tripping delay
- 5 instantaneous pick-up
- 6 test connector
- 7 percent load indication



### STR43ME trip unit

Ratings (A)	20 to 70 °C	120	200	320	500
Circuit breakers	NS400N/H/L	■	■	■	-
	NS630N/H/L	-	-	-	■

### Overload protection (Long Time)

<b>Current setting</b>	<b>Ir</b>	adjustable, 40 settings - 0.4...0.8 x In			
<b>Tripping class (IEC 60947-4)</b>		10A, 10, 20			
<b>Time delay (s)</b>		adjustable			
(min. ... max.)	at 1.5 x Ir	144...198	270...357	433...595	
	at 6 x Ir	5.8...7.3	10.9...13.1	17.4...21.8	
	at 7.2 Ir	4...5	7.3...9.1	12...15	

### Phase-imbalance protection in compliance with IEC 60947-4.1

<b>Tripping threshold</b>	≥ 40% imbalance
<b>Time delay</b>	4 s ± 10 %

### Short-circuit protection (Short Time)

<b>Pick-up</b>	<b>Isd</b>	adjustable, 8 settings - 6...13 x Ir
<b>Accuracy</b>		± 15 %
<b>Time delay (ms)</b>		fixed
	max. resettable time	10
	max. break time	60

### Short-circuit protection (Instantaneous)

<b>Pick-up</b>	<b>Ii</b>	fixed - 13 x Ir max.
----------------	-----------	----------------------

### Other functions

Motor-overload LED	■
Indications module	■

### Options

Ammeter (I)	■
SDTAM module	■
Communication (COM)	■

## Options for STR43ME trip unit

### Possible combinations:

- I
- I + COM
- SDTAM
- SDTAM + I
- SDTAM + I + COM

### Ammeter (I)

A digital display continuously indicates the current of the phase with the greatest load. The value of each current I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> and the long-time current setting Ir may be successively displayed by pressing a scroll button.

LEDs indicate the phase for which the current is displayed.

### Ammeter display limits

- minimum current ≥ 0.2 x In. Lower currents are not displayed.
- maximum current ≤ 10 x In.

### Optional SDTAM contactor tripping module

(Early-break thermal-fault signal)

See the information on this optional module on page 44.

### Communication (COM)



This option transmits data to Dipact distribution monitoring and control modules.

Transmitted data:

- settings;
- phase currents (rms values);
- highest current of the three phases;
- overload-condition alarm;
- cause of tripping (overload, short-circuit, etc.).

- Earth-leakage protection is obtained by:
- fitting a *Vigi* module on the circuit breaker (Compact NS100 to 630)
  - installing a *Micrologic 7.0 A* control unit (Compact NS630b to 3200)
  - using a *Vigirex* relay and separate toroids (all Compact circuit breakers).

### Circuit breakers equipped with an add-on *Vigi* module (*Vigicomact*)

Rated current (A)	100... 630	
<i>Vigicomact</i>	NSC100 N NSA160 N/E NS125 E	NS100 to 250 N/H/L NS400 and 630 N/H/L
		



**General circuit-breaker characteristics** page 18 & 55

Compact NS100 to 630 and NSA160 circuit breakers are presented in the "Protection of distribution systems" section and the Compact NSC100 circuit breaker is presented in the "Protection of industrial control panels" section.

#### Accompanying *Vigi* modules

Earth-leakage protection is achieved by installing a *Vigi* module directly on the circuit-breaker terminals.

### Circuit breakers equipped with a control unit offering integrated earth-leakage protection and an external rectangular sensor

Rated current (A)	630... 3200	
Compact	NS630b to 1000 N/H/L NS1250 and 1600 N/H	NS1600b to 3200
		

**General circuit-breaker characteristics** page 22

Compact NS630b to 3200 circuit breakers are presented in the "Protection of distribution systems" section.

#### Accompanying control units

page 30

Micrologic 7.0 A electronic control units offer earth-leakage protection as standard.

### Earth-leakage protection using a *Vigirex* relay

<i>Vigirex</i>	Earth-leakage relay	Separate toroids
		

#### Compact circuit breaker + *Vigirex* relay combination

*Vigirex* relays may be used to add external earth-leakage protection to Compact NS circuit breakers. The circuit breakers must be equipped with an MN or MX voltage release. *Vigirex* relays are very useful when special time-delay or tripping-threshold values are required, or when there are major installation constraints (circuit breaker already installed and connected, limited space available, etc.).

#### *Vigirex*-relay characteristics:

- sensitivity adjustable from 30 mA to 250 mA and eight time-delay settings (0 to 1 second)
- closed toroids (30 to 300 mm in diameter) or split toroids (46 to 110 mm in diameter).

#### Options:

- trip alarm by a fail-safe contact
- pre-alarm LED and contact (threshold = 0.5 x I<sub>Δn</sub>)
- 400 Hz distribution systems, etc.

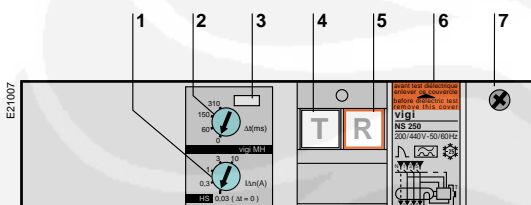
#### Compliance with standards:

- IEC 60947-2, appendix B
- French decree dated 14 November 1988
- IEC 60255-4 and IEC 60801-2 to 5 covering protection against nuisance tripping due to transient overvoltages, lightning strikes, switching of devices on the distribution system, electrostatic discharges, radiofrequency interference.
- IEC 60755, class A, immunity to DC components up to 6 mA

# Add-on Vigi module (Vigicompact) for Compact NS100 to 630



Vigicompact NS250N



- 1 sensitivity setting
- 2 time-delay setting (for selective earth-fault protection)
- 3 lead-seal fixture for controlled access to settings
- 4 test button simulating an earth-fault for regular checks on the tripping function
- 5 reset button (reset required after earth-fault tripping)
- 6 rating plate
- 7 housing for SDV auxiliary contact

## Plug-in circuit breaker

The Vigi module can be installed on a plug-in base. Special accessories are required (see the section on part numbers).

## Vigicompact NSA160 and NSC100 circuit breakers with earth-leakage protection

See pages 39 and 49, respectively.

## Vigicompact NS100 to 630 circuit breakers with earth-leakage protection

Addition of the Vigi module does not alter circuit-breaker characteristics:

- compliance with standards
- degree of protection, class II front-face isolation
- positive contact indication
- electrical characteristics
- trip-unit characteristics
- installation and connection modes
- indication, measurement and control auxiliaries
- installation and connection accessories.

Dimensions and weights		NS100/160	NS250	NS400/630
<b>Dimensions</b>	3 poles	105 x 236 x 86		135 x 355 x 110
<b>W x H x D (mm)</b>	4 poles	140 x 236 x 86		180 x 355 x 110
<b>Weight (kg)</b>	3 poles	2.5	2.8	8.8
	4 poles	3.2	3.4	10.8

## Vigi earth-leakage protection module

### Compliance with standards:

- IEC 60947-2, appendix B
- French decree dated 14 November 1988
- IEC 60255-4 and IEC 60801-2 to 5 covering protection against nuisance tripping due to transient overvoltages, lightning strikes, switching of devices on the distribution system, electrostatic discharges, radiofrequency interference.
- IEC 60755, class A, immunity to DC components up to 6 mA
- VDE 664, operation down to -25° C.

### Remote indications

Vigi modules may be equipped with an auxiliary contact (SDV) to remotely signal tripping due to an earth fault.

### Power supply

Vigi modules are self-supplied internally by the distribution-system voltage and therefore do not require any external source. They continue to function even when supplied by only two phases.

## Vigi module selection table

	Vigi ME	Vigi MH	Vigi MB
Number of poles	3, 4 (1)	3, 4 (1)	3, 4 (1)
NS125 E	■	■	-
NS100 N/H/L	■	■	-
NS160 N/H/L	■	■	-
NS250 N/H/L	-	■	-
NS400 N/H/L	-	-	■
NS630 N/H/L	-	-	■
<b>Protection characteristics</b>			
<b>Sensitivity</b>	fixed	adjustable	adjustable
<b>I<sub>Δn</sub> (A)</b>	0.3	0.03 - 0.3 - 1 - 3 - 10	0.3 - 1 - 3 - 10 - 30
<b>Time delay</b>			
Intentional delay (ms)	fixed	adjustable	adjustable
	< 40	0 60 (2) 150 (2) 310 (2)	0 60 150 310
Max. breaking time (ms)	< 40	< 40 <140 <300 <800	< 40 < 140 < 300 < 800
<b>Rated voltage</b>	200...440	200... 440 - 440...550	200...440 - 440...550
V AC 50/60 Hz			

(1) Vigi 3P modules may also be used on 3P circuit breakers used for single-phase or two-phase protection.

(2) If the sensitivity is set to 30 mA, there is no time delay, whatever the time-delay setting.

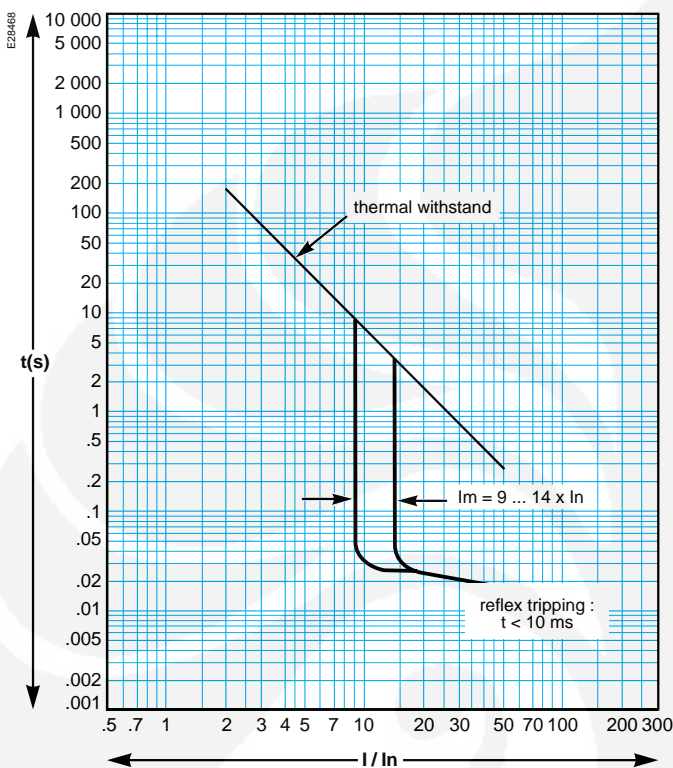
### Note.

The Vigi module for the Compact NSA160 circuit breaker is presented on page 39.

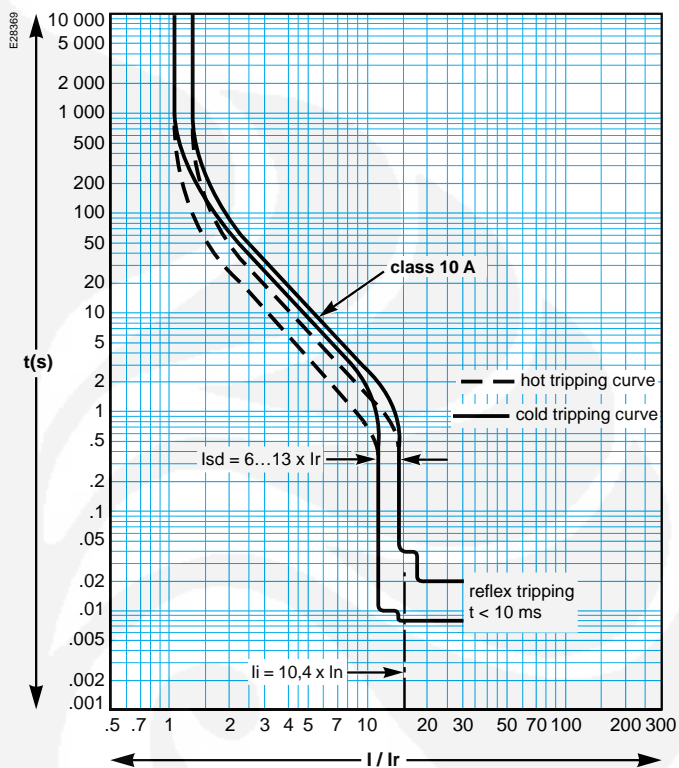
# Compact NS400 to 630 Motor-starter protection

## MA magnetic and STR43ME electronic trip units

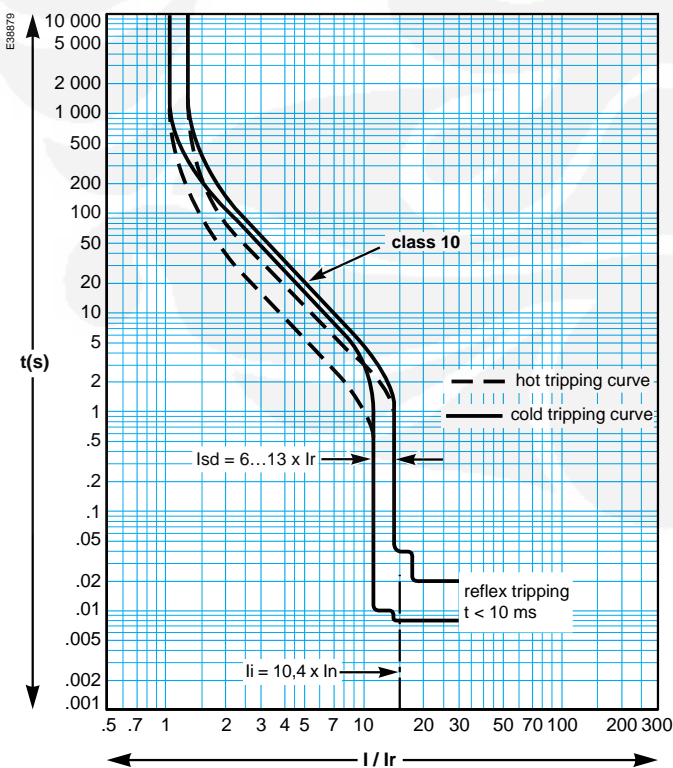
MA320...MA500



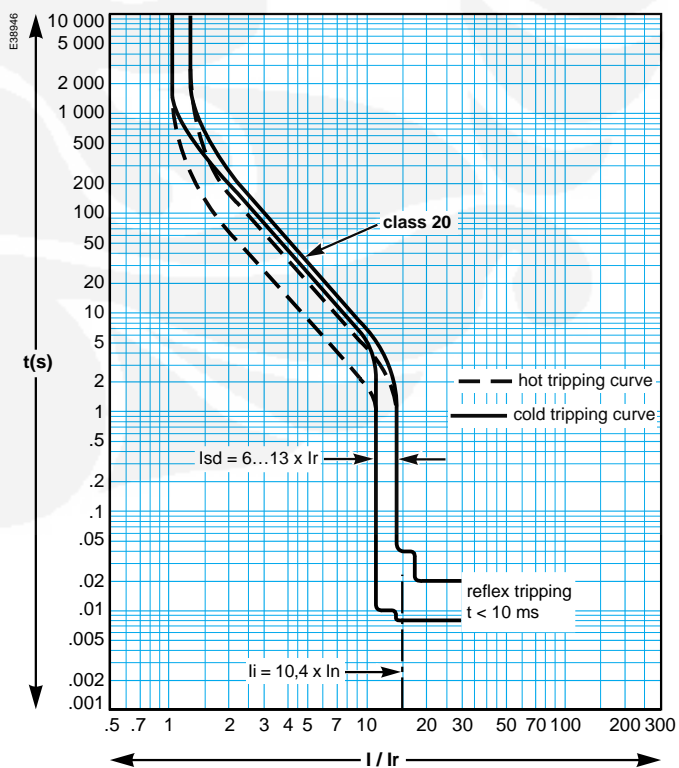
STR43ME - 120 to 500 A - class 10 A



STR43ME - 120 to 500 A - class 10



STR43ME - 120 to 500 A - class 20



Thermal-withstand capacities are given for circuit breakers operating in an ambient temperature of 65°C.

Analysis sistem..., Ismail, FT UI, 2008