



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS TERJADINYA KEBAKARAN AKIBAT LISTRIK  
PADA BANGUNAN**

**SKRIPSI**

**SUHARIANTI LASUDA**

**0606031912**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN ELEKTRO**

**DEPOK**

**JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS TERJADINYA KEBAKARAN AKIBAT LISTRIK  
PADA BANGUNAN**

**SKRIPSI**

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

**SUHARIANTI LASUDA**

**0606031912**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN ELEKTRO**

**DEPOK**

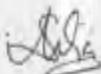
**JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Suharianti Lasuda

NPM : 0606031912

Tanda Tangan : 

Tanggal : 15 Juni 2010

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Suharianti Lasuda  
NPM : 0606031912  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Terjadinya Kebakaran Akibat Listrik  
Pada Bangunan

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo, M. T

Penguji : Budi Sudiarto, S.T, M.T

Penguji : Chairul Hudaya, S.T, M.T

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana 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, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Amien Rahardjo, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Kedua orang tua dan keluarga atas doa dan dukungannya selama ini;
3. PEMDA Kabupaten Keerom, Papua yang telah membiayai kuliah dan penelitian skripsi;
4. Asisten TTPL Hermawan, Arif, Eki, Chairy, Wilman yang sudah membantu selama penelitian;
5. Teman-teman Angkatan 2006 khususnya peminatan gatrik yang telah banyak memberi masukan dan bantuan, dan cewe-cewe E'06 yang selalu setia memberikan dukungan;
6. Teman kostan Siska Mardini Ars '06, Mujiana Ars'06 yang tiada henti memberikan semangat;
7. Semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Juni 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suharianti Lasuda  
NPM : 0606031912  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Analisis Terjadinya Kebakaran Akibat Listrik Pada Bangunan**

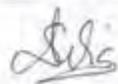
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2010

Yang menyatakan



(Suharianti Lasuda)

## ABSTRAK

Nama : Suharianti Lasuda  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Analisis Terjadinya Kebakaran Akibat Listrik Pada Bangunan

Kebakaran dapat terjadi apabila ketiga faktor terpenuhi yaitu sumber panas, bahan yang mudah terbakar dan oksigen. Potensi terbesar penyebab terjadinya kebakaran pada bangunan adalah listrik. Arus yang mengalir sangat besar dapat membuat kabel dan peralatan listrik menjadi panas terutama apabila kelas isolasinya rendah sehingga lebih cepat panas dan terbakar. Saat terjadi arus lebih tersebut fungsi dari gawai proteksi adalah memutuskan jalannya arus lebih tersebut, tetapi tidak semua MCB bekerja dengan baik hal tersebut yang dapat membuat penghantar dan peralatan menjadi semakin panas dan akhirnya terbakar. Waktu trip MCB 2A dari pengujian yang telah dilakukan adalah saat arusnya 1,05 In belum trip pada waktu 1 jam dan arus 6 In sudah trip pada waktu <0,2 detik.

Potensi listrik lainnya yang dapat menyebabkan kebakaran adalah ketaatan/kepatuhan konsumen terhadap standar dari peralatan/komponen instalasi listrik, kondisi/situasi keberadaan instalasi listrik. Kabel non standar NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> saat dialiri arus 3 x KHA isolasi dari kabel langsung meleleh sedangkan kabel standar yang sama masih dalam kondisi panas saja. Selain itu perencanaan, pemasangan dan pengoperasian yang tidak benar atau tidak sesuai standar (PUIL) dapat menimbulkan panas yang lebih pada peralatan.

Kata kunci : Kebakaran, potensi listrik, arus lebih, panas, instalasi listrik

## ABSTRACT

Name : Suharianti Lasuda  
Study Program: Electrical Engineering  
Title : The Analysis of the Fire Caused by Electrical In Building

Fires can occur when three factors are met: a source of heat, flammable materials and oxygen. Greatest potential cause of fires in buildings is electricity. In electrical installations due to the heat source more current. Very large current flows can make cables and electrical equipment to be hot, especially when low-grade insulation is so hot and burn faster. When it occurs over current protection them function of the clerk is to decide the course of more current, but not all MCB works well it can make penghantar and equipment became increasingly hot and eventually burn. 2A MCB trip time of the testing that was done was when the current is 1.05 In not trip at the time of one hour and 6 In the current trip was on time <0,2 seconds.

Other electric potentials which may cause fire is compliance / adherence to standards of consumer equipment / components, electrical installation, the condition / situation of the existence of electrical installations. Non-standard cables NYM 2 x 2.5 mm<sup>2</sup> at 3 x KHR energized insulation of the wires to melt while the cable directly to the same standards it is still in hot conditions. Besides planning, installation and operation that are not true or not according to standards (PUIL) can generate more heat on the equipment.

Keywords: Fire, electric potential, over current, thermal, electrical installation

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Halaman Pernyataan Orisinalitas</b> .....	ii
<b>Halaman Pengesahan</b> .....	iii
<b>Ucapan Terima Kasih</b> .....	iv
<b>Halaman Pertanyaan Persetujuan Publikasi</b> .....	v
<b>Abstrak</b> .....	vi
<i>Abstract</i> .....	vii
<b>Daftar Isi</b> .....	viii
<b>Daftar Gambar</b> .....	xi
<b>Daftar Tabel</b> .....	xiv
<b>Daftar Lampiran</b> .....	xiv
<b>Daftar Istilah</b> .....	xv
<b>I. Pendahuluan</b> .....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penulisan.....	2
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Metode Penelitian .....	3
I.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>II. Dasar Teori</b> .....	4
II.1 Proses Terjadinya Kebakaran.....	4
II.1.1 Unsur Pemicu Kebakaran.....	4
II.1.2 Perpindahan api.....	5
II.2 Instalasi Listrik .....	6
II.2.1 Kabel atau Isolasi .....	7
II.2.2 Sakelar.....	11
II.2.3 Alat Kontak Listrik.....	12

II.2.4	Komponen Proteksi atau Pengaman.....	14
II.2.5	Sistem Pentanahan .....	19
II.3	Listrik Sebagai Pemicu Kebakaran .....	20
II.3.1	Pemanasan Konduktif .....	20
II.3.2	Pemanasan Induktif .....	23
II.3.3	Aliran Panas Pada Komponen Instalasi Listrik .....	24
<b>III</b>	<b>Metode Pengujian</b> .....	<b>28</b>
III.1	Pengujian Pengaruh Kenaikan Arus Terhadap MCB .....	28
III.1.1	Peralatan dan Rangkaian Pengujian .....	28
III.1.2	Prosedur Pengujian .....	30
III.2	Pengujian Temperatur Dan Kondisi Kabel .....	32
III.2.1	Peralatan dan Rangkaian Pengujian .....	32
III.2.2	Prosedur Pengujian .....	33
<b>IV</b>	<b>Hasil Data Pengujian Dan Analisis</b> .....	<b>36</b>
<b>A.</b>	<b>Hasil Data Dan Analisis Pengujian</b> .....	<b>36</b>
IV.1	Hasil Data Pengujian dan Analisis Karakteristik MCB 2A .....	36
IV.1.1	MCB 2A Merk A .....	36
IV.1.2	MCB 2A Merk B .....	38
IV.1.3	MCB 2A Merk C .....	38
IV.1.3	MCB 2A Merk C .....	39
IV.1.5	MCB 2A Merk E .....	40
IV.2	Hasil Data Pengujian Dan Analisis Temperatur Serta Kondisi Kabel .....	45
IV.2.1	Kabel Standar dan Non Standar .....	45
IV.2.2	Kabel Standar Kondisi Baru dan Kondisi Lama .....	48
<b>B.</b>	<b>Analisis Lapangan</b> .....	<b>56</b>
IV.3	Penyambungan yang Tidak Benar .....	56
IV.4	Instalasi Listrik yang Tidak Sesuai Standar.....	59
IV.4.1	Pemasangan MCB yang Tidak Sesuai .....	58

IV.4.2 Jenis Penghantar Pada Saluran .....	63
IV.4.3 Modifikasi Instalasi Listrik .....	63
IV.4.4 Pengoperasian Terhadap Peralatan Instalasi Listrik .....	65
<b>V. KESIMPULAN</b> .....	72
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	74
<b>LAMPIRAN</b> .....	75

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Segitiga Kebakaran ( <i>fire triangel</i> ).....	4
<b>Gambar 2.2</b> Perpindahan Api .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Jenis benda yang terbakar dan penyebab kebakaran .....	6
<b>Gambar 2.4</b> Kabel NYA .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Kabel NYM .....	10
<b>Gambar 2.6</b> Kabel NYY .....	10
<b>Gambar 2.7</b> Kabel NYFA .....	10
<b>Gambar 2.8</b> Jenis – jenis sakelar .....	12
<b>Gambar 2.9</b> Stop Kontak .....	13
<b>Gambar 2.10</b> Kontak Tusuk .....	14
<b>Gambar 2.11</b> Kontak hubung bagi .....	14
<b>Gambar 2.12</b> Konstruksi dari MCB .....	16
<b>Gambar 2.13</b> Cara Kerja Pemutus Bimetal .....	17
<b>Gambar 2.14</b> Kurva karakteristik Arus-Waktu untuk Pemutus Tenaga CL .....	18
<b>Gambar 2.15</b> Sistem Pentanahan TN-S .....	19
<b>Gambar 2.16</b> Diagram vector arus pada kapasitor .....	22
<b>Gambar 2.17</b> Pemanasan Induktif.....	23
<b>Gambar 2.18</b> Proses perpindahan panas secara konduksi .....	25
<b>Gambar 2.19</b> Proses perpindahan kalor secara konveksi .....	26
<b>Gambar 2.20</b> Proses Perpindahan kalor secara radiasi .....	27
<b>Gambar 3.1</b> Sampel uji MCB 2 A .....	29
<b>Gambar 3.2</b> Penampang Current Injector dan bagian-bagiannya .....	30
<b>Gambar 3.3</b> Rangkaian pengujian MCB .....	30
<b>Gambar 3.4</b> Kabel Uji Standar .....	32

<b>Gambar 3.5</b> Kabel Uji Tidak Standar .....	33
<b>Gambar 3.6</b> Termometer .....	33
<b>Gambar 3.7</b> Rangkaian pengujian kabel .....	33
<b>Gambar 4.1</b> Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A Merek A .....	37
<b>Gambar 4.2</b> Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A merek B .....	38
<b>Gambar 4.3</b> Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A merek C .....	39
<b>Gambar 4.4</b> Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A Merek A, B dan C .....	42
<b>Gambar 4.5</b> Kurva Karakteristik MCB Jenis CL.....	43
<b>Gambar 4.6</b> Kurva Kabel NYM 2 x 2,5 mm <sup>2</sup> Standar .....	46
<b>Gambar 4.7</b> Kurva Kabel Non Standar NYM 2 x 2,5mm <sup>2</sup> .....	47
<b>Gambar 4.8</b> Kabel NYM 2 x 2,5 mm non standar terbakar diinjeksi arus 3xKHA	47
<b>Gambar 4.9</b> Kabel 2 kawat berserabut 17 non standar terbakar saat arus 15 A ..	48
<b>Gambar 4.10</b> Kabel NYM 2x2,5mm standar berumur 18 tahun terbakar arus 4xKHA.....	49
<b>Gambar 4.11</b> Kurva kabel NYM 2 x 2,5 mm standar untuk kondisi baru dan lama	50
<b>Gambar 4.12</b> Kurva kabel NYM 3 x 2,5 mm standar untuk kondisi baru dan lama	51
<b>Gambar 4.13</b> Kabel NYM 3 x 2,5mm <sup>2</sup> standar umur 18 th terbakar saat arus 4xKHA.....	51
<b>Gambar 4.14</b> Suatu segmen kawat yang membawa arus I .....	52
<b>Gambar 4.15</b> Perpindahan panas pada kabel .....	53
<b>Gambar 4.16</b> Kegagalan termal .....	55
<b>Gambar 4.17</b> Penyambungan kabel yang tidak benar .....	57

<b>Gambar 4.18</b> Penyambungan kabel secara umum yang dilakukan masyarakat ...	58
<b>Gambar 4.19</b> Titik beban pada rencana instalasi listrik sederhana .....	60
<b>Gambar 4.20</b> Rencana instalasi listrik terpasang ( <i>As building draw</i> ) .....	61
<b>Gambar 4.21</b> Instalasi listrik yang sudah dimofikasi .....	64
<b>Gambar 4.22</b> Stop kontak dan terminal hubung dengan banyak sambungan beban	65
<b>Gambar 4.23</b> Terminal hubung dengan beban bertumpuk .....	66
<b>Gambar 4.24</b> Tusuk kontak yang tidak tepat pemasangannya .....	68

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1-1</b> Kemampuan Penghantar Arus Kabel Instalasi Berbahan Tembaga, Berisolasi dan Berselubung PVC .....	11
<b>Tabel 2-2</b> Tipe-tipe MCB dan besarnya arus nominalnya .....	17
<b>Tabel 2-3</b> Karakteristik Arus Waktu MCB .....	18
<b>Tabel 3-1</b> Kondisi Material Terhadap Besarnya Perubahan Arus dan Waktu	18

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran I</b> Tabel Pengujian Karakteristik MCB 2A .....	73
<b>Lampiran 1</b> Data Pengujian MCB 2A Merk Merlin .....	73
<b>Lampiran 2</b> Data Pengujian MCB 2 A Merk Shukaku .....	73
<b>Lampiran 3</b> Data Pengujian MCB 2 A Merk Mashuko .....	73
<b>Lampiran 4</b> Data Pengujian MCB 2 A Merk Newplass .....	74
<b>Lampiran 5</b> Data Pengujian MCB 2 A Merk Mentari .....	74
<b>Lampiran II</b> Tabel Pengujian Temperatur Dan Kondisi Kabel .....	75
<b>Lampiran A</b> Kabel Standar dan Non Standar .....	75
<b>Lampiran 1</b> Data Pengujian Kabel NYM 2 x 2,5 mm <sup>2</sup> standar .....	75
<b>Lampiran 2</b> Data Pengujian Kabel NYM 2x 2,5 mm <sup>2</sup> non standar.....	75
<b>Lampiran B</b> Kabel Standar Kondisi Baru dan Lama.....	76
<b>Lampiran 1</b> Data Pengujian Kabel NYM 2 x 2,5 mm <sup>2</sup> Baru.....	76
<b>Lampiran 2</b> Data Pengujian Kabel NYM 2 x 2,5 mm <sup>2</sup> Lama .....	76
<b>Lampiran 3</b> Data Pengujian Kabel NYM 3 x 2,5 mm <sup>2</sup> Baru.....	77
<b>Lampiran 4</b> Data Pengujian Kabel NYM 3 x 2,5 mm <sup>2</sup> Lama .....	78
<b>Lampiran III</b> Jenis Kabel PVC Di Pasaran .....	79

## DAFTAR ISTILAH

- Arus lebih : Arus lebih adalah setrap arus yang melebihi arus pengenal (*rating*).
- Arus beban lebih : Arus lebih yang terjadi dalam suatu sirkuit yang tidak terganggu secara listrik.
- Arus hubung singkat : Arus lebih yang diakibatkan oleh dari suatu gangguan dengan impedansi yang dapat diabaikan antara dua titik yang mempunyai beda potensial dalam pelayanan normal.
- Kutub : Bagian dari suatu pemutus tenaga yang terhubung secara khusus dengan satu jalur penghantar yang terpisah secara listrik dari sirkuit utamanya.
- MCB : Miniature Circuit Breaker, jenis gawai pengamanan pada peralatan yang bekerja apabila terjadi gangguan pada sistem.
- KHA : Kemampuan Hantar Arus, arus maksimum yang dapat dialirkan dengan kontinu oleh penghantar pada keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu. (*current carrying capacity*).
- Pengaman lebur : Alat hubung yang membuka sirkuit dan memutuskan arus bila melampaui nilai tertentu dalam waktu tertentu dengan meleburnya satu atau lebih komponen yang didisain khusus dan sesuai.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### I.1 Latar Belakang

Kebakaran merupakan bencana yang sering terjadi di kota-kota besar baik pada kawasan permukiman penduduk, gedung perkantoran, pabrik, pasar, pusat perbelanjaan dan lain-lain. Setiap tahunnya peristiwa kebakaran terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya penduduk dan bangunan di mana-mana. Kebakaran yang terjadi tidak hanya menimbulkan kerugian material tetapi juga menghilangkan nyawa manusia.

Untuk kota-kota besar yang padat penduduk dan permukiman peristiwa kebakaran sering sekali terjadi bahkan hampir setiap hari terjadi yang dilansir di media cetak atau pun elektronik. Seperti yang terjadi di Makassar menurut Dinas Pemadaman Kebakaran dan Penanggulangan Bencana Kota Makassar melansir data tahun 2009 terjadi kebakaran sebanyak 173 kasus, dengan penyebab utama listrik sebanyak 42 kasus dan sampah 22 kasus. Dinas Kebakaran Wilayah Jakarta Barat, pada Januari-Juli 2009 terjadi 86 kasus kebakaran di Jakarta Barat. Sebanyak 77 kasus diantaranya terjadi akibat hubungan arus pendek atau korsleting listrik. Berdasarkan data Subdin Pemadam Kebakaran Jakarta Pusat, kebakaran yang disebabkan oleh korsleting listrik mencapai 73 kasus atau sekitar 69% disebabkan hubung singkat [7]. Peristiwa kebakaran tersebut mengakibatkan kerugian material yang sangat besar.

Instalasi listrik tegangan rendah yang terpasang pada bangunan berperan penting untuk mengalirkan arus listrik dari PLN ke seluruh bagian bangunan yang menggunakan energi listrik. Dari peristiwa kebakaran yang sering terjadi tersebut faktor listrik yang diakibatkan oleh hubung singkat atau arus pendek menempati tempat tertinggi sebagai faktor penyebab. Hubung singkat yang terjadi pada instalasi listrik disebabkan oleh gangguan pada penghantar yang ada sehingga

menimbulkan panas berlebih yang menjadi sumber panas dan dapat memicu terjadinya kebakaran.

Sesuai dengan persyaratan yang ada dapat terjadinya kebakaran apabila tiga unsur penting seperti sumber api, oksigen dan bahan bakar. Potensi listrik yang dapat mengakibatkan kebakaran adalah pengaruh arus lebih, arus hubung singkat yang terjadi pada peralatan dan komponen instalasi listrik yang ada dan apabila gawai pengaman (*fuse* dan MCB) tidak bekerja baik dengan memutuskan arus listrik maka akan terjadi kenaikan temperatur lebih pada yang dapat membakar peralatan dan komponen tersebut, serta mampu membakar benda-benda disekitarnya

Beberapa hal lain yang berpotensi mengakibatkan kebakaran pada bangunan yang disebabkan oleh listrik adalah umur instalasi, standarisasi, perencanaan, pemasangan dan pengoperasian peralatan/komponen instalasi listrik yang ada.

## **I.2 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk meneliti lebih lanjut dan menganalisis potensi listrik yang dapat menyebabkan kebakaran pada bangunan. Pemanasan yang berlebih pada instalasi listrik (penghantar, stop kontak) yang ditimbulkan oleh arus lebih yang mengalir pada peralatan instalasi listrik tersebut. Ketika peristiwa tersebut terjadi MCB (*Miniature Circuit Breaker*) sebagai alat proteksi tidak bekerja dengan baik selain itu kondisi serta standarisasi peralatan yang digunakan. Dari keadaan tersebut dapat memicu timbulnya api yang dapat membakar sekitarnya dan kebakaran yang lebih luas lagi. Selain itu melihat potensi perencanaan, pemasangan dan pengoperasian peralatan/komponen instalasi listrik oleh konsumen yang dapat memicu terjadi kebakaran.

### **I.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada skripsi ini lebih menekankan pada analisis kinerja gawai proteksi (MCB) dan kondisi penghantar saat diberikan arus melebihi batas hantarnya. Untuk kabel standar dan non standar, kabel standar kondisi baru dan lama (18 tahun). Selain itu menganalisis perencanaan, pemasangan dan perlakuan konsumen terhadap peralatan instalasi listrik.

### **I.4 Metode Penelitian**

Metode yang dipakai pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan data pengujian p a g a gawai p emutus t enaga ( MCB) da lam ha l i ni M CB 2 A , ka bel standar da n non s tandar s erta k abel s tandar kon disi ba ru da n kondi si u mur 18 tahun. Selain itu melalui s tudy l apangan dengan me lihat pe rilaku perencanaan, pemasangan da n pengoperasian peralatan/komponen instalasi lis trik oleh konsumen. D ari ha l t ersebut di lakukan a nalisis t erhadap da ta p engujian da n kondisi di lapangan berdasarkan teori dan literatur yang ada.

### **I.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika pe nulisan pada skripsi ini ada lah terdiri da ri ba b satu yang berisi pe ndahuluan, l atar be lakang, pe mbatasan masalah, m etode pe nulisan da n sistematika pe nulisan. Bab dua membahas landasan teori yaitu proses terjadinya kebakaran, instaasi listrik seperti kabel, komponen proteksi, sakelar, kontak kotak, dan sistem pentanahan, mekanisme pemasanasan pada listrik. Bab tiga membahas metode pengujian yang dilakukan. Bab empat berisi inti dari skripsi kali ini yaitu hasil pe ngujian, analisis data da n analisis lapangan yang t elah dilakukan yang dikaitkan de ngan da sar t eori yang a da. Bab l ima be risi ke simpulan da ri keseluruhan bab skripsi ini.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II.1 Proses Terjadinya Kebakaran

Kebakaran adalah peristiwa aksi kimia yang di hantarkan oleh perubahan panas, sinar dan nyala serta emisi (pengeluaran) suara. Dimana oksigen merupakan bahan yang diperlukan dalam reaksi pembakaran yaitu reaksi oksidasi.

Kebakaran dapat terjadinya karena ada pemicu yang menyebabkan timbulnya kebakaran antara lain hubungan singkat listrik, bahan bakar, putung rokok dan bahan-bahan lain yang mudah memicu timbulnya api. Berikut segitiga kebakaran atau yang biasanya disebut sebagai "segitiga kebakaran" (*fire triangel*).



Gambar 2.1 Segitiga Kebakaran (*fire triangel*)

##### II.1.1 Unsur Pemicu Kebakaran [6]

Terdapat tiga unsur pemicu kebakaran sebagai berikut :

a. Sumber panas

Terdapat beberapa sumber panas yaitu sinar matahari, kobaran api terbuka yang akan memancarkan panas yang bisa menyulut, gesekan, listrik yang disebabkan oleh peristiwa listrik yang terjadi (percikan listrik, loncatan listrik, tahanan listrik dan percikan listrik statis) serta pemampatan/pemadatan dimana udara atau gas yang ditekan dengan

tekanan yang melebihi tekanan normal sehingga bisa menyebabkan panas atau ledakan.

b. Oksigen

Sebagian besar bahan bakar memerlukan paling sedikit 15% oksigen untuk dapat menimbulkan api untuk serangkaian reaksi kimia. Sementara udara normalnya mengandung kurang lebih 21% oksigen. Suatu kadar yang cukup untuk menimbulkan api/kebakaran. Oksigen yang ditambahkan dengan bahan bakar dalam suatu reaksi kimia disebut *oxidation*.

c. Bahan yang mudah terbakar

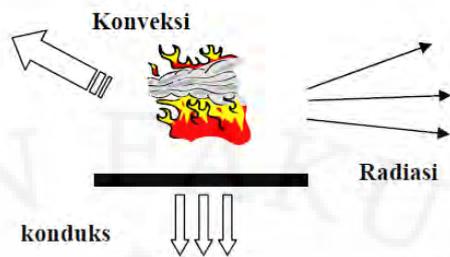
Terdapat 2 (dua) jenis bahan yang mudah terbakar yaitu:

- 1) Berbentuk cair dengan temperatur lebih dingin dan sedang, tetapi lebih berbahaya karena mudah terbakar pada suhu kamar. Misalnya bensin, minyak tanah, turpentine, cat, varnish, alkohol dan lain-lain
- 2) Berbentuk padat dengan temperatur lebih tinggi, tidak mudah terbakar pada suhu kamar kecuali ada pemacu. Misalnya batubara, kayu, kertas, kain, plastik dan lain-lain.

Bahan-bahan yang mudah menyala serta harus adanya suhu cetusan api (biasanya 200° - 500°).

### II.1.2 Perpindahan api

Api biasanya terjadi di tempat yang beroksigen baik itu ruang terbuka ataupun tertutup. Jika titik api telah timbul maka penyebaran api keseluruh bangunan gedung dapat terjadi melalui tiga mekanisme yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:

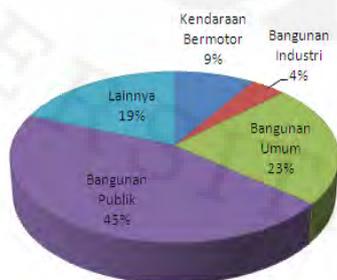


Gambar 2.2 Perpindahan Api

Konduksi terjadi jika panas dipindahkan langsung melalui suatu bentuk struktur dari sumber api yang terdekat, konveksi terjadi jika gas / udara panas meningkat di dalam gedung di mana api dengan mudah menjalar dari tanah kelantai di atasnya melalui lubang tangga / lubang saluran lainnya, radiasi merupakan penjarangan api menurut garis lurus dari bahan yang terbakar ke bahan terdekat yang mudah terbakar.

## II.2 Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan peralatan yang sangat penting dalam instalasi bangunan. Sehingga perlu diperhatikan pemasangan dan perawatannya. Sebagian besar penyebab kebakaran yang terjadi disebabkan oleh listrik. Ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini, di mana penyebab listrik terhadap kebakaran adalah sekitar 45%. Selain itu bangunan publik (pemukiman) dari Data Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana DKI Jakarta dari tahun 2000 – 2009 menempati urutan pertama terbesar bangunan yang sering mengalami kebakaran yaitu 45%, berikutnya bangunan umum 23% dan bangunan lainnya.



Gambar 2.3 Jenis benda yang terbakar dan penyebab kebakaran [10]

Dari kondisi tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa perilaku instalasi listrik terhadap bangunan pemukiman menjadi hal yang penting. Penggunaan instalasi yang tidak benar menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya hubungan singkat atau *korsleting listrik* yang berujung terjadi kebakaran. Untuk itu instalasi listrik khususnya instalasi listrik tegangan rendah perlu diperhatikan kondisinya dan batasan-batasannya terhadap beban dan arus yang ada. Instalasi listrik pada tegangan rendah biasanya terdiri atas :

- Kabel atau Isolasi
- Sakelar
- Kotak kontak
- Komponen Pengaman
- Sistem Pentanahan

### II.2.1 Kabel atau Isolasi

Penggunaan kabel terdiri dari beberapa bagian yaitu [1]

a) Bahan penghantar,

Kabel yang digunakan sebagai bahan pengantar arus listrik terbuat dari aluminium dan tembaga. Tahanan jenis tembaga lunak untuk hantaran listrik yang telah dibakukan adalah tidak boleh melebihi  $1/58 = 0,017241 \text{ ohm mm}^2/\text{m}$  pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan tahanan jenis aluminium lunak untuk hantaran listrik yang telah dibakukan adalah tidak boleh melebihi  $0,028264 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ . Koefisien suhu tembaga dan aluminium pada  $20^{\circ}\text{C}$  kira-kira  $0,004/^{\circ}\text{C}$ . Aluminium jauh lebih ringan daripada tembaga.

b) Bahan isolasi

Bahan isolasi berfungsi untuk memisahkan antara bagian-bagian yang bertegangan agar tidak terjadi hubungan singkat antara satu dengan lainnya. Isolasi suatu kabel merupakan bahan yang berfungsi untuk menahan tahanan listrik sehingga energi listrik tidak bocor kemana-mana.

c) Lapisan pembungkus inti

Untuk tegangan tinggi kabelnya biasanya menggunakan lapisan pembungkus inti yang terbuat dari bahan semikonduktif. Berfungsi untuk meratakan distribusi medan listrik sehingga tidak terjadi penimbunan tegangan, mengamankan manusia dari bahaya listrik dan menahan radiasi medan elektromagnetik.

d) Selubung

Berfungsi sebagai pelindung inti kabel dari pengaruh luar, pelindung terhadap korosi, pelindung terhadap gaya mekanis dan gaya listrik, maupun sebagai pelindung terhadap masuknya air atau uap air. Bahan yang digunakan adalah logam, seperti timbal atau aluminium, maupun bahan sintesis seperti karet silikon dan PVC.

Pembagian Kelas Bahan Isolasi [12]

Bahan isolasi listrik dapat dibagi atas beberapa kelas berdasarkan suhu kerja maksimum, yaitu sebagai berikut:

1. Kelas Y, suhu kerja maksimum 90°C

Yang termasuk dalam kelas ini adalah bahan berserat organik (seperti Katun, sutera alam, wol sintesis, rayon serat poliamid, kertas, prespan, kayu, poliakrilat, polietilen, polivinil, karet, dan sebagainya) yang tidak dicelup dalam bahan pernis atau bahan pencelup lainnya. Termasuk juga bahan termoplastik yang dapat lunak pada suhu rendah.

2. Kelas A, suhu kerja maksimum 150°C

Yaitu bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam pernis aspal atau kompon, minyak trafo, email yang dicampur dengan vernis dan poliamil atau yang terendam dalam cairan dielektrikum (seperti penyekat fiber pada transformator yang terendam minyak). Bahan-bahan ini adalah katun, sutera, dan kertas yang telah dicelup, termasuk kawat email (enamel) yang terlapis damar-oleo dan damar-polyamide.

3. Kelas E, suhu kerja maksimum 120°C

Yaitu bahan penyekat kawat enamel yang memakai bahan pengikat polyvinylformal, pol yurethene dan damar epoxy dan bahan pengikat lain sejenis dengan bahan selulosa, pe rtinaks dan tekstolit, film tr iacetate, film dan serat pol yethylene terephthalate.

4. Kelas B, suhu kerja maksimum 130°C

Yaitu bahan non-organik ( seperti : m ika, gelas, fiber, asbes) yang dicelup atau direkat menjadi satu dengan pernis atau kompon, dan biasanya tahan panas ( dengan dasar minyak pengering, bitumin sirlak, bakelit, dan sebagainya).

5. Kelas F, suhu kerja maksimum 155°C

Bahan bukan organik di celup atau direkat menjadi satu dengan epoksi, poliurethan, atau vernis yang tahan panas tinggi.

6. Kelas H, suhu kerja maksimum 180°C

Semua bahan komposisi dengan bahan dasar m ika, asbes dan gelas fiber yang di celup dalam silikon tanpa campuran bahan berserat ( kertas, katun, dan sebagainya). Dalam kelas ini termasuk juga karet silikon dan email kawat poliamid murni.

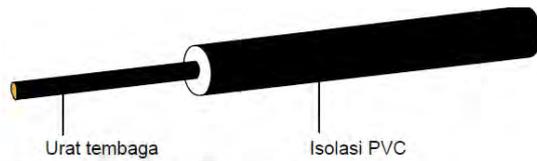
7. Kelas C, suhu kerja diatas 180°C

Bahan anorganik yang tidak di celup dan tidak terikat dengan substansi organik, misalnya m ika, m ikanit yang tahan panas (menggunakan bahan pengikat anorganik), mikaleks, gelas, dan bahan keramik.

Jenis kabel yang biasanya di gunakan pada instalasi listrik tegangan rendah adalah sebagai berikut :

1. Kabel NYA

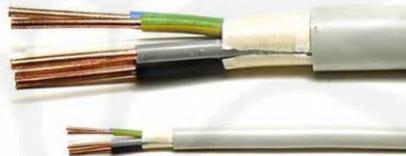
Merupakan kabel kawat tembaga berinti tunggal dan berlapis bahan isolasi PVC dan mempunyai satu lapisan isolasi saja. Dapat digunakan sampai suhu penghantar 70 °C. Tegangan maksimum untuk kabel NYA adalah 700 volt.



**Gambar 2.4 Kabel NYA**

2. Kabel NYM

Kabel NYM merupakan kabel kawat tembaga berinti 2, 3, atau 4 dan memiliki lapisan isolasi PVC. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis sehingga tingkat keamanannya lebih baik daripada kabel NYA. Luas penampang kawat dari kabel NYM adalah 1,5 – 10 mm<sup>2</sup>.



**Gambar 2.5 Kabel NYM**

3. Kabel NYY

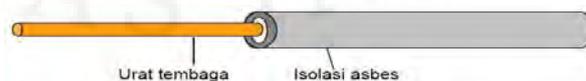
Kabel NYY memiliki lapisan isolasi PVC yang biasanya berwarna hitam, ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY merupakan kabel instalasi listrik yang dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah).



**Gambar 2.6 Kabel NYY**

4. Kabel NYFA

Adalah kabel isi satu urat, bahan isolasinya terbuat dari asbes, kabel ini tahan panas, digunakan instalasi lampu.



**Gambar 2.7 Kabel NYFA**

Kemampuan penghantaran arus listrik dalam suatu kabel penghantar bergantung pada beberapa faktor, di antaranya jenis bahan penghantar, luas penampang penghantar, dan panjang dari penghantar tersebut. kemampuan penghantaran kabel instalasi listrik berbahan tembaga bersuhu maksimum  $70^{\circ}\text{C}$  pada suhu keliling/ruang  $30^{\circ}\text{C}$ .

**Tabel 1-1 Kemampuan Penghantar Arus Kabel Instalasi Berbahan Tembaga, Berisolasi dan Berselubung PVC [1]**

Luas Penampang Nominal Kabel (mm <sup>2</sup> )	Kemampuan Hantar Arus Maksimum (Ampere)	Kemampuan Hantar Arus Nominal Maksimum Pengaman (Ampere)
1,5	19	20
2,5	25	25
4	34	35
6	44	50
10	60	63
16	82	80
25	108	100
35	134	125
50	167	160
70	207	224
95	249	250
120	291	300
150	334	355
185	380	355
240	450	425
300	520	500

### II.2.2 Sakelar [1]

Sakelar merupakan komponen listrik yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik. Untuk keamanan dalam instalasi listrik tegangan rendah, sakelar yang digunakan harus memenuhi syarat yang sudah ditetapkan oleh PUIL yaitu:

- a. Dalam keadaan terbuka, bagian sakelar yang bergerak harus dalam keadaan tidak bertegangan.

- b. Sakelar harus tidak terbuang dengan sendirinya akibat pengaruh gaya berat.
- c. Sakelar harus memiliki kemampuan minimal sesuai dengan daya alat yang dihubungkan dalam rangkaian listrik, tetapi tidak boleh lebih dari 5A.

Sakelar sering disebut juga sebagai sakelar beban dan memiliki pemutusan sesaat. Pada saat sakelarnya akan membuka untuk memutuskan rangkaian, sebuah pegas akan di regangkan. Pegas inilah yang menggerakkan sakelar sehingga dapat memutuskan rangkaian dalam waktu yang sangat pendek. Kecepatan pemutusannya ditentukan oleh pegas dan tidak tergantung pada pelayanan. Karena cepatnya pemutusan, akan memungkinkan timbulnya busur api antara kontak-kontak pemutusan walaupun sangat kecil. Jenis sakelar yaitu kontak, tumpuk atau paket, sandung, tuas dan giling.



(a) Sakelar kontak

(b) Sakelar Sandung

(c) Sakelar Tuas

**Gambar 2.8 Jenis – jenis sakelar**

### II.2.3 Alat Kontak Listrik

Alat kontak listrik terdiri atas beberapa jenis yaitu kotak kontak (stop kontak), kontak tusuk dan kontak hubung bagi.

- a) **Kotak-kontak (stop kontak) atau *Electrical socket outlet***

Kontak-kontak atau stop kontak adalah komponen instalasi listrik yang berupa terminal untuk mendapatkan sumber tegangan listrik yang diperlukan untuk peralatan listrik.



**Gambar 2.9 Stop Kontak**

Sumber tegangan listrik tersebut berasal dari hantaran fasa dan netral dari tegangan listrik jala-jala PLN. Kotak kontak terdiri atas: [2]

- Kotak Kontak Biasa (KKB) yaitu kotak kontak yang dipasang untuk digunakan sewaktu-waktu (tidak secara tetap) bagi peranti listrik jenis apa pun yang memerlukan, asalkan penggunaannya tidak melebihi batas kemampuannya.
- Kotak Kontak Khusus (KKK) yaitu kotak kontak yang dipasang khusus untuk digunakan secara tetap bagi suatu jenis peranti listrik tertentu yang diketahui daya maupun tegangannya.

**b) Kontak tusuk**

Kontak tusuk digunakan untuk menghubungkan peralatan listrik yang dipasang atau pun yang dapat dipindah-pindahkan. Kontak tusuk terdiri atas: [2]

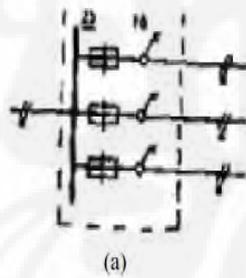
- Kotak kontak yaitu bagian kontak tusuk yang merupakan gawai pemberi arus;
- Tusuk kontak yaitu bagian kontak tusuk yang merupakan gawai penerima arus.



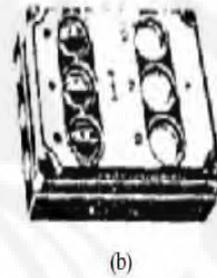
**Gambar 2.10 Kontak Tusuk**

**c) Kontak hubung bagi**

Kontak hubung bagi harus terbuat dari bahan yang tidak mudah terbakar, tahan lembap dan kokoh. Pada setiap hantaran fasa keluar suatu perlengkapan hubung bagi harus dipasang pengamanan arus, kecuali jika potensial hantaran netralnya tidak selalu mendekati potensial tanah. Setiap peralatan listrik, kecuali kotak-kontak dengan kemampuan hantaran nominal 16 A atau lebih, harus mempunyai rangkaian akhir tersendiri, kecuali jika peralatan tersebut merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu unit instalasi.



(a) Rangkaian akhir kontak hubung bagi



(b) Bentuk kontak hubung bagi

**Gambar 2.11 Kontak hubung bagi**

**II.2.4 Komponen Proteksi atau Pengaman**

**a) Fuse ( Pengaman Lebur atau Sekring )**

Sekring berperan sebagai komponen pengamanan untuk melindungi instalasi listrik dari beban arus lebih. Arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar akan mengakibatkan panas, baik dalam saluran penghantar maupun pada komponen dan alat-alat listrik yang terpasang dalam instalasi

listrik. Bagian dari pemangaman lebur yang berfungsi untuk memutuskan rangkaian dari arus gangguan yang terjadi disebut patron lebur. Untuk arus nominal  $\leq 25$  A digunakan patron lebur sedangkan untuk arus nominal lebih dari 25 A sampai dengan 63 A digunakan patron jenis patron ulir.

**b) MCCB (Molded Case Circuit Breaker)**

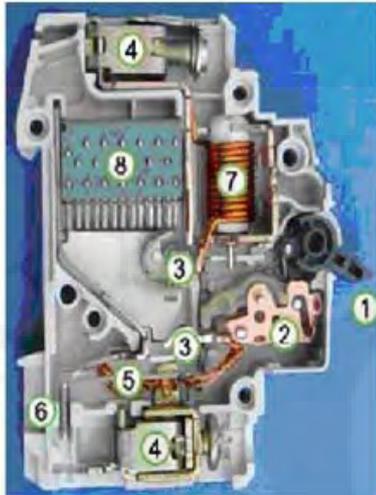
MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*)-nilai arus sampai 1000 A . Thermal atau termal-magnetik operasi. Perjalanan saat ini dapat disesuaikan dalam peringkat yang lebih besar.

**c) MCB ( Miniature Circuit Breaker )**

Seperti halnya circuit breaker pada umumnya MCB berfungsi untuk memutuskan jalannya arus gangguan yang terjadi pada peralatan agar kerusakan tidak menyebar ke peralatan lain atau terjadi kerusakan yang lebih fatal lagi. Bedanya dengan sekering yang hanya dapat beroperasi sekali untuk memutuskan aliran arus kemudian harus diganti, sedangkan untuk *circuit breaker* sendiri pemutus rangkaian dapat *direset* (baik secara manual atau secara otomatis) dapat melanjutkan operasi normal tanpa ada kerusakan pada *circuit breaker* tersebut.

Sifat – sifat MCB sebagai berikut :

- a. Arus beban dapat diputuskan bila panas yang di timbulkan melebihi dari panas yang di izinkan
- b. Arus hubung singkat dapat diputuskan tanpa adanya perlambatan
- c. Setelah di lakukan perbaikan, maka MCB dapat di gunakan kembali



Keterangan gambar :

1. Tuas aktuator operasi  
*On-Off*
2. Mekanisme Actuator
3. Kontak penghubung
4. Terminal *Input-Output*
5. Batang Bimetal
6. Plat penahan & penyalur busur api
7. Solenoid / *Trip Coil*
8. Kisi-kisi pemadam busur api

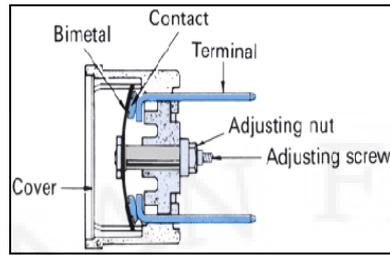
**Gambar 2.12 Konstruksi dari MCB**

### Cara kerja MCB

Menurut konstruksinya, MCB memiliki dua cara pemutusan yaitu:

#### 1) Komponen Bimetal

Komponen bi metal yaitu sebagai proteksi terhadap arus lebih, apabila arus yang mengalir normal bi metal akan saling terhubung, tetapi ketika arus melebihi batas normalnya bimetal. Untuk itu pemutusan berdasarkan panas dilakukan oleh batang bimetal, dengan perpaduan dua buah logam yang berbeda koefisien muai panjangnya. Jika terjadi arus lebih akibat beban lebih, maka bi metal akan melengkung akibat panas dan akan mendorong tuas pemutus tersebut untuk melepaskan kunci mekanisnya. Waktu pembukaan bimetal berdasarkan besar arus lebihnya, semakin besar arus lebih semakin cepat bi metalnya terbuka. Hal ini sebaliknya, apabila arus beban lebihnya kecil bi metal akan lebih lama terbuka.



a) Komponen bimetal

b) Komponen Magnetik

**Gambar 2.13 Cara Kerja Pemutus Bimetal [7]**

## 2) Kumparan Magnetik

Pemutusan dengan kumparan magnetik cara kerjanya berdasarkan elektromagnetik yang dilakukan oleh solenoid magnetis/ *trip coil*, apabila terjadi hubung singkat maka koil akan terinduksi dan daerah sekitarnya akan terdapat medan magnet sehingga akan menarik poros dan mengoperasikan tuas pemutus. Untuk menghindari dari efek lebur, pada saat panas yang tinggi akan terjadi bunga api saat pemutusan yang akan diredam oleh pemadam busur api (*arc-shute*) dan bunga api yang timbul akan masuk melalui bilah-bilah *arc-shute* tersebut.

Standar untuk gawai pemutus tenaga yang dipakai berdasarkan IEC 60898-, yang menyatakan arus rating ( $I_n$ ) dari gawai pemutus tenaga untuk dipakai pada rumah tangga didesain untuk mengalirkan arus secara kontinyu (dengan suhu sekitar  $30^{\circ}\text{C}$ ). Berikut tipe-tipe dari MCB yaitu :

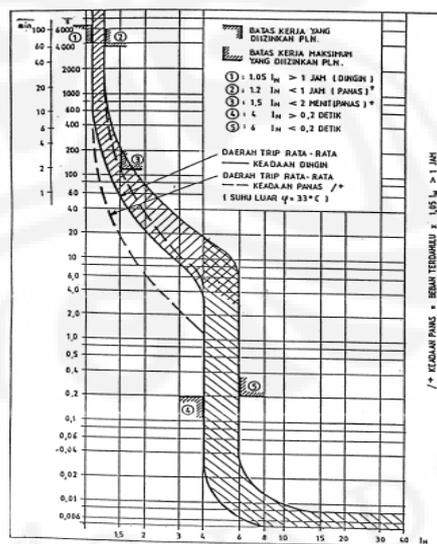
**Tabel2-2 Tipe-tipe MCB dan besarnya arus nominalnya [3]**

Tipe	Besarnya arus gawai pemutus
B	3 In – 5 In
C	5 In – 10 In
D	10 In – 20 In 8 In – 12 In
K	2 In – 3 In
Z	Antara 5 In – 10 In

MCB harus bekerja secepat mungkin untuk memutuskan aliran arus. Karena dapat menyebabkan pemanasan pada penghantar. Di bawah ini ditunjukkan tabel dan grafik karakteristik arus – waktu untuk pemutus tenaga (MCB) jenis CL

Tabel 2-3 Karakteristik Arus Waktu MCB [3]

Pengujian	Jenis	Arus Uji	Kondisi mula	Batas waktu atau non trip (t)	Hasil yang diperoleh	Keterangan
a	B,C,D	$1,13 I_n$	Dingin *)	$\geq 1$ jam (untuk $I_n < 63 A$ ) $\geq 1$ jam (untuk $I_n > 63 A$ )	Tidak trip	
	CL	$1,05 I_n$		$t \geq 1$ jam		
b	B,C,D	$1,45 I_n$	Segera setelah pengujian	$t < 1$ jam (untuk $I_n < 63A$ ) $t < 1$ jam (untuk $I_n > 63A$ )	Trip	Arus dinaikan secara mantap selama 5 detik
	CL	$1,2 I_n$		$t < 1$ jam		
c	B,C,D CL	$2,55 I_n$	Dingin *)	$1 \text{ detik} < t < 60 \text{ detik}$ ( $I_n \leq 32A$ ) $1 \text{ detik} < t < 60 \text{ detik}$ ( $I_n > 32A$ )	Trip	Arus dinaikan secara mantap selama 5 detik
		$1,5 I_n$	Panas *)	$t < 120 \text{ detik}$		
d	B C D	$3 I_n$ $5 I_n$ $10 I_n$	Dingin *)	$t \geq 0,1 \text{ detik}$	Trip	Arus dialirkan dengan menutup saklar bantu
	CL	$4 I_n$		$t > 0,2 \text{ detik}$		
e	B C D	$5 I_n$ $10 I_n$ $50 I_n$	Dingin *)	$t < 0,1 \text{ detik}$	Trip	Arus dialirkan dengan menutup saklar bantu
	CL	$6 I_n$		$t < 0,2 \text{ detik}$		



Kurva karakteristik arus-waktu untuk Pemutus-tenaga Jenis CL

Gambar 2-14 Kurva karakteristik Arus-Waktu untuk Pemutus Tenaga CL [3]

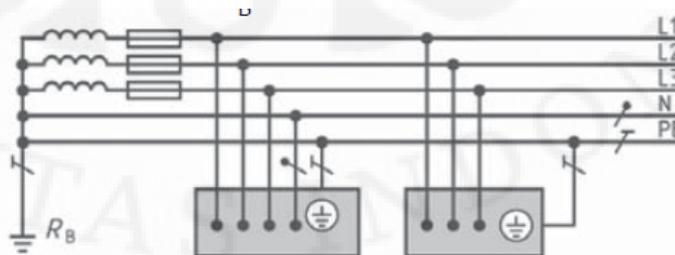
#### d) ELCB (*Earth Leakage Circuit Breaker*)

Merupakan salah satu perangkat proteksi di mana digunakan sebagai alat pengamanan arus bocor tanah atau juga disebut saklar pengamanan arus sisa (SPAS) bekerja dengan sistem *differential*. Untuk instalasi rumah kita dapat memilih ELCB dengan kepekaan yang lebih tinggi yakni ELCB dengan rating arus sisa 10 mA atau 30 mA. Perlindungan yang ideal untuk instalasi listrik apapun seharusnya memiliki perangkat pengamanan terhadap beban lebih, hubung singkat dan arus bocor.

### II.2.5 Sistem Pentanahan

Hal yang paling penting dari suatu sistem listrik adalah sistem pentanahan karena sangat berperan penting dalam penyaluran arus lebih ke tanah. Sistem pentanahan yang efektif dan efisien merupakan hal yang penting terutama jika dikaitkan dengan operasi peralatan proteksi.

Jenis sistem pentanahan tegangan rendah bermacam – macam disesuaikan dengan jenis bangunan, untuk bangunan rumah jenis di gunakan adalah TN-S Pada sistem ini kawat netral dan kawat penghantar pelindung dalam sistem ini merupakan kawat-kawat yang saling terpisah satu sama lain. Kawat penghantar pelindung pentanahan (*protection earthing*) ini merupakan selubung logam dari kabel bawah tanah yang di hubungkan dengan terminal pentanahan utama pelanggan. Semua bagian-bagian instalasi yang bersifat sebagai penghantar aliran listrik, dan setiap sistem penangkal petir yang ada di hubungkan dengan kawat penghantar pelindung ini melalui terminal pentanahan utama untuk sistem instalasi tersebut.



Gambar 2.15 Sistem Pentanahan TN-S [1]

## II.3 Listrik Sebagai Pemicu Kebakaran

Pengaruh arus lebih menjadi pemicu terbesar terjadinya kebakaran pada bangunan hingga saat ini. Arus lebih dapat dibagi menjadi arus beban lebih dan arus hubung singkat. Arus beban lebih dapat didefinisikan sebagai arus yang melampaui nilai arus kerja normalnya. Arus beban lebih ini biasanya terjadi karena rangkaian dibebani melampaui kapasitasnya atau karena rancangan dan modifikasi rangkaian yang kurang baik. Sedangkan arus hubung singkat didefinisikan sebagai arus lebih yang terjadi karena adanya gangguan berupa hubungan pendek di antara penghantar-penghantar yang beraliran listrik dimana arusnya sangat besar karena hambatan dari rangkaian yang kecil.

Beban lebih dapat menyebabkan arus yang mengalir pada rangkaian sebesar dua sampai tiga kali dari arus kerja normalnya. Sedangkan untuk arus hubung singkat dapat bernilai ratusan kali lebih besar dari arus normalnya.

Berperan sebagai pemicu terjadinya kebakaran, perlu juga diperhatikan faktor-faktor penyebabnya sehingga arus lebih yang selama ini dikaitkan sebagai penyebab terjadinya kebakaran bisa diselidiki faktor penyebabnya. Potensi listrik yang penyebab terjadi kebakaran adalah karena pemanasan yang terjadi yang dapat menimbulkan percikan api pada instalasi listrik tersebut. Aliran arus listrik dapat mengakibatkan timbulnya panas pada suatu konduktor. Mekanisme pemanasan ini dapat dengan pemanasan konduktif maupun induktif.

### II.3.1 Pemanasan Konduktif

Pemanasan konduktif merupakan suatu proses pemanasan langsung dengan pengaruh hambatan  $D R H$  (*direct resistance heating*). Dimana panas langsung terjadi akibat aliran arus yang mengalir melalui suatu konduktor listrik yang memiliki resistensi tertentu. Pemanasan tersebut menyebabkan rugi-rugi pada peralatan listrik yang ada. Rugi-rugi sebagai berikut :

### a) Rugi - Rugi Konduktor

Sumber panas utama yang terjadi pada suatu kabel tenaga adalah rugi-rugi yang terjadi pada konduktor karena adanya resistansi. [9]

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (2-1)$$

Dimana : P = daya disipasi dari hambatan [W]

I = arus yang mengalir pada hambatan [A]

R = nilai hambatan yang digunakan [ $\Omega$ ]

Sedangkan nilai resistivitas konduktor dipengaruhi oleh temperatur kerja dari konduktor itu sendiri yang dinyatakan pada persamaan berikut. [8]

$$\rho_T = \rho_{20}[1 + \alpha(T - 20^0)] \quad (2-2)$$

Dimana:  $\rho_T$  = resistivitas konduktor pada temperatur  $T^0\text{C}$

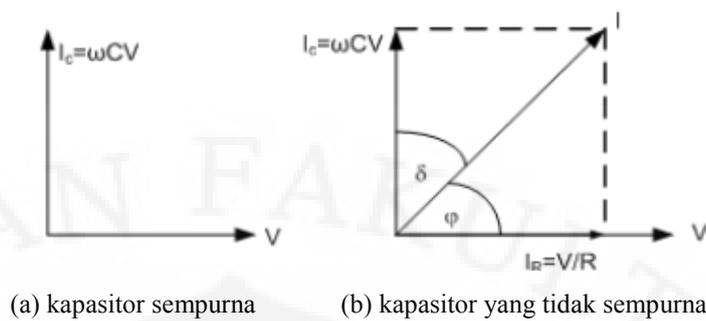
$\rho_{20}$  = resistivitas konduktor pada temperatur  $20^0\text{C}$

$\alpha$  = koefisien temperatur resistivitas

### b) Rugi – Rugi dielektrik [7]

Rugi-rugi dielektrik adalah rugi-rugi yang terjadi pada bahan isolasi akibat ketidakidealan bahan isolasi.

Apabila arus bolak-balik melalui suatu kapasitor sempurna, maka arus mendahului tegangan sebesar  $90^0$ , seperti terlihat pada Gambar 2.16a, dan arusnya adalah  $I_c = \omega CV$ . Sedangkan pada kapasitor yang tidak ideal, maka  $I$  mendahului  $V$  dengan sudut kurang dari  $90^0$  karena terjadi kehilangan daya dielektrik. Keadaan tersebut dapat ditunjukkan oleh gambar 2.16 b. Sudut  $\phi$  adalah sudut fase kapasitor, dan  $\delta = 90^0 - \phi$ , adalah sudut kehilangan (*loss-angle*).



**Gambar 2.16 Diagram vector arus pada kapasitor**

Pada kapasitor sempurna kehilangan daya dielektriknya adalah nol, sedangkan pada bahan dielektrik yang tidak ideal, kehilangan daya dielektriknya adalah sebagai berikut:

$$P_D = \omega C V^2 \cdot \tan \delta \cdot W \quad (2-3)$$

Dimana :  $\omega = 2\pi f$ . dimana  $f$  adalah frekuensi [Hz]

$C$  = kapasitansi [F]

$V$  = tegangan [V]

$\tan \delta$  = faktor kehilangan (*loss factor*)

Kapasitansi pada kabel, menurut [6], untuk kabel bertunggal atau tiga inti berpelindung dengan konduktor silindris dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$C = \frac{0,024\epsilon}{\log d_{in}/d_c} \mu F / \text{phase/km} \quad (2-4)$$

Dimana :  $d_{in}$  = diameter bahan isolasi kabel [m]

$d_c$  = diameter konduktor [m]

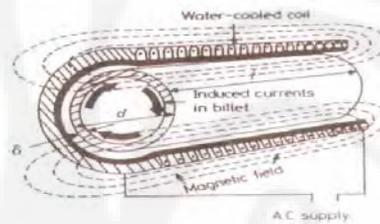
$\epsilon$  = permitivitas bahan dielektrik kabel

Pada saat terjadi pemanasan pada kabel, arusnya melebihi arus nominalnya. Sehingga pada saat hal tersebut terjadi pengamanan lebur harus bekerja mengamankan hantaran tersebut agar tidak mencapai

nilai maksimum yang diperbolehkan. Arus nominal kira-kira sama dengan 70% dari arus batasannya ( $I_g$ ). Apabila dibebani dengan arus batas secara menerus-menerus, pengamannya akan putus.

### II.3.2 Pemanasan Induktif

Pada pemanasan induktif panas diperoleh dari aliran arus pada suatu konduktor. Arus tersebut berasal dari induktif listrik yang terjadi di luar bidang pemanas. Pemanasan induktif selalu berhubungan dengan medan magnet yang selalu berubah-ubah. Pemanasan induktif dapat digambarkan seperti yang terjadi pada transformator di mana bidang pemanasnya dimisalkan sebagai kumparan sekunder.



Gambar 2.17 Pemanasan Induktif [8]

Pada gambar 2.17 digambarkan suatu transformator dengan kumparan satu lilitan pada sisi primer dan kumparan satu lilitan yang dihubungkan pada sisi sekundernya, dimana keduanya dipisahkan oleh ruang udara. Saat arus bolak-balik dialirkan pada kumparan primer, kumparan primer akan menginduksi kumparan sekunder. Sehingga pada kumparan sekunder terbentuk tegangan induksi yang mengakibatkan adanya aliran arus dalam kumparan sekunder. Aliran arus inilah yang menyebabkan panas pada bidang pemanas.

Kedua mekanisme pemanasan tersebut biasanya terjadi di kabel sebagai alat penghantar arus. Saat arus yang mengalir melebihi batas arus dari kabel tersebut maka akan terjadi pemanasan seperti yang disebutkan di atas. Saat terjadinya pemanasan yang diakibatkan oleh arus lebih maupun

arus hubun g s ingkat M CB s ebagai gawai pr oteksi da pat m engamankan dengan memutus aliran arus.

Pemutusan M CB ha rus s ecepat m ungkin s esuai de ngan be rasnya arus yang mengalir. Sesuai dengan PUIL 2000 Untuk hubung s ingkat yang berdurasi s ampai de ngan 5 de tik, m aka w aktu ( t ) s elama a rus hubun g pendek yang di tentukan, a kan m enaikkan s uhu pe nghantar d ari s uhu tertinggi yang di izinkan da lam ke rja nor mal s ampai m encapai s uhu ba tas. Sesuai dengan rumus pendekatan sebagai berikut : [2]

$$\sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I} \quad (2-5)$$

Dimana :

$t$  = waktu kerja maksimum [s]

$S$  = luas penampang penghantar [ $\text{mm}^2$ ]

$I$  = arus hubung pendek efektif [A]

$k$  = konstanta yang be rgantung pa da j enis l ogam da ri pe nghantar s erta tipe isolasinya

115 untuk penghantar tembaga diisolasi dengan PVC.

135 unt uk penghantar tembaga di isolasi dengan karet biasa, karet butil, polietilen sambung s ilang (XLPE), da n karet e tilenpropilen (EPR).

74 untuk penghantar aluminium diisolasi dengan PVC.

87 untuk penghantar aluminium diisolasi dengan karet biasa, karet butil, XLPE dan EPR.

115 untuk sambungan solder timah penghantar tembaga dengan suhu 160°C.

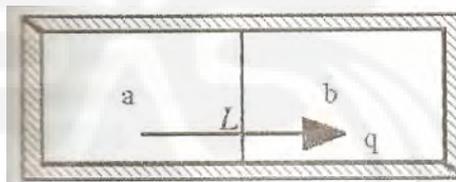
### II.3.3 Aliran Panas Pada Komponen Instalasi Listrik [8]

Proses pe manasan yang t erjadi pe nghantar seperti yang t elah dijelaskan diatas akan m enyebar ke s eluruh permukaan penghantar t ersebut dan selanjutnya ke sekelilingnya.

### a) Konduksi

Konduksi terjadi akibat interaksi antar atom dalam suatu molekul, tanpa adanya pergerakan langsung dari atom atau molekul tersebut. Menurut teori kinetik, temperatur suatu benda tergantung kepada besarnya energi kinetik rata-rata molekul-molekulnya. Ketika temperatur suatu benda mengalami peningkatan, maka energi kinetiknya (energi internal) akan meningkat. Peningkatan ini terjadi akibat pergerakan molekul-molekul yang semakin cepat. Apabila suatu bagian dari benda mengalami peningkatan energi internal maka energi ini akan disalurkan ke bagian lain dari benda yang memiliki energi internal yang lebih rendah (temperatur yang lebih rendah). Perpindahan energi ini dapat dalam dua tahapan;

1. Adanya tumbukan elastis antar molekul yang menyebabkan molekul lainnya ikut bergerak dengan kecepatan yang sama,
2. Khusus untuk logam selain proses tumbukan elastis, adanya elektron-elektron bebas yang berada di seluruh bagian logam juga membantu proses perpindahan energi. Atom-atom ini memberikan energi ketika mereka bertumbukan dengan atom-atom lain.



Gambar 2.18 Proses perpindahan panas secara konduksi

Laju perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan menggunakan hukum Fourier yang menyatakan bahwa besarnya laju perpindahan panas akibat proses konduksi berbanding lurus dengan besarnya gradien temperatur (perbandingan antara perubahan temperatur dengan arah aliran kalor) yang dapat dinyatakan dengan : [8]

$$\dot{q} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2-6)$$

Dimana :  $\dot{q}$  = fluks panas(perpindahan panas per satuan luas) [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

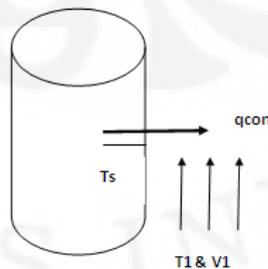
$k$  = konduktivitas termal dari suatu bahan [W/m.K]

$$\frac{dT}{dx} = \text{gradien suhu [K/m]}$$

Tanda negatif pada persamaan 2-6 menunjukkan bahwa vektor arah dari fluks panas berlawanan dengan arah perubahan temperatur yang terjadi. Konduktivitas termal merupakan suatu besaran yang menunjukkan jumlah panas yang mengalir dalam satu satuan luas jika gradien temperturnya satu. Pada umumnya nilai konduktivitas termal ini berubah terhadap perubahan temperatur yang terjadi. Akan tetapi nilai perubahannya pada beberapa jenis bahan cukup kecil sehingga bisa diabaikan.

#### b) Konveksi

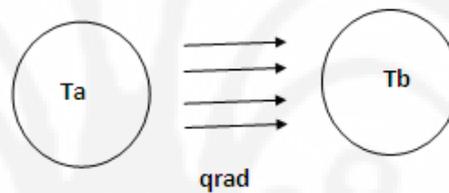
Konveksi adalah proses perpindahan panas yang melibatkan perpindahan massa secara langsung. Perpindahan panas secara konveksi terjadi apabila panas dipindahkan dengan bantuan fluida (seperti udara atau zat cair). Ketika suatu fluida dipanaskan, maka bagian batas dari fluida tersebut akan menerima panas secara konduksi. Nilai massa jenis dari fluida yang dipanaskan ini akan bertambah kecil, akibatnya molekul fluida yang tidak bersentuhan langsung dengan media pemanas akan bergerak ke bawah akibat adanya gravitasi dan menggantikan molekul fluida yang sudah dipanaskan. Proses konveksi bebas (*natural convection*). Sedangkan apabila pergerakan fluida digerakkan oleh pompa atau kipas, maka proses konveksi yang terjadi adalah konveksi paksa (*forced convection*).



Gambar 2.19 Proses perpindahan panas secara konveksi

c) **Radiasi**

Radiasi adalah bentuk perpindahan panas dengan melibatkan gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas ini terjadi di mana dua buah benda yang memiliki perbedaan temperatur terpisah dalam suatu ruang kosong, bahkan pada ruang hampa sekalipun. Semua benda merupakan penyerap dan pemancar energi. Ketika temperatur suatu benda mencapai kesetimbangan termal dengan lingkungan sekitarnya, hal ini berarti benda tersebut menyerap dan memancarkan energi dalam jumlah yang sama. Apabila temperatur suatu benda lebih tinggi dibandingkan dengan menyerap energi, begitu pula sebaliknya. Kemampuan memancarkan dan menyerap energi ini bergantung kepada temperatur dari sifat dari permukaan suatu benda.



**Gambar 2.20** Proses Perpindahan panas secara radiasi

## BAB III

### METODE PENGUJIAN

Untuk membuktikan faktor pemicu kebakaran yang telah dijelaskan pada bab II sebelumnya, penulis melakukan pengujian di laboratorium. Mengenai metode pengujian yang dilakukan yang meliputi peralatan yang digunakan pada pengujian dan prosedur pengujian akan dijelaskan pada sub bab ini. Dilakukan dua pengujian yaitu pengujian MCB (*Miniature Circuit Breaker*) dan pengujian kabel instalasi listrik perumahan (NYM dan NYA) baik standar ataupun non standar. Semua pengujian dilakukan di Laboratorium TTPL (Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik), Departemen Elektro FTUI.

#### III.1 Pengujian Pengaruh Kenaikan Arus Terhadap MCB

Dalam pengujian kenaikan arus terhadap MCB di mana arus dinaikkan melebihi arus nominal MCB 2A. Pengujian ini menggunakan MCB standar dan non standar. MCB standar mempunyai lambang SPLN, LMK dan SNI pada label di *body* MCB sedangkan MCB non standar tidak tertulis lambang yang terdapat pada MCB standar. Selain itu terdapat perbedaan harga, MCB non standar cenderung lebih murah selain itu beratnya lebih ringan dibandingkan dengan yang MCB standar.

##### III.1.1 Peralatan dan Rangkaian Pengujian

Tujuan dari pengujian ini untuk melihat unjuk kerja dari MCB yang digunakan pada instalasi listrik tegangan rendah terhadap arus hubung singkat yang terjadi.

##### a) Sampel Pengujian

Sampel yang digunakan untuk pengujian ini adalah MCB 2A dari beberapa tipe MCB yang dijual di pasaran. Diambil 6 sampel MCB dengan berbagai macam merek yaitu:

Gambar 3.1	Kutub	Harga	Spesifikasi MCB
 (Merek A)	1 kutub 	Rp 45.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Current Rating</i> = 2 A</li> <li>• <i>Breaking Capacity</i> = 4500</li> <li>• <i>Voltage Rating</i> = 230/400V</li> <li>• Standar LMK , SPLN 108/ SLI 175 (IEC 898)</li> <li>• Standar SNI 04-6507.1-2002</li> </ul>
 (Merek B)	1 kutub 	Rp 20.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Current Rating</i> = 2 A</li> <li>• <i>Breaking Capacity</i> = 4500</li> <li>• <i>Voltage Rating</i> = 230/400V</li> <li>• Standar SPLN 108/ SLI 175 (IEC 898)</li> <li>• Standar SNI 04-6507.1-2002</li> </ul>
 (Merek C)	1 kutub 	Rp 25.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Current Rating</i> = 2 A</li> <li>• <i>Breaking Capacity</i> = 6000</li> <li>• <i>Voltage Rating</i> = 230/400V</li> <li>• Standar LMK , SPLN 108/ SLI 175 (IEC 898)</li> <li>• Standar SNI 04-6507.1-2002</li> </ul>
 (Merek D)	1 kutub 	Rp 12.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Current Rating</i> = 2 A</li> <li>• <i>Breaking Capacity</i> = 6000</li> <li>• <i>Voltage Rating</i> = 240/415V</li> <li>• Standar IEC 898</li> </ul>
 (Merek E)	1 kutub 	Rp 15.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Current Rating</i> = 2 A</li> <li>• <i>Breaking Capacity</i> = 4500</li> <li>• <i>Voltage Rating</i> = 230/400V</li> <li>• Standar IEC 898</li> </ul>

## b) Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan untuk pengujian MCB adalah sebagai berikut :

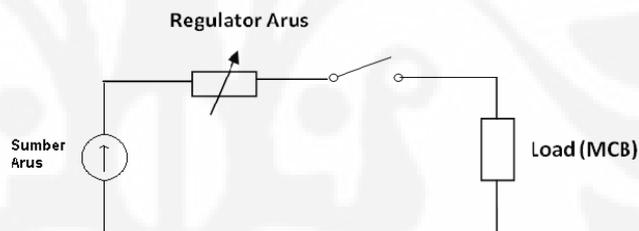
- *High Current Injector Test Set*



Gambar 3.2 Penampang *Current Injector* dan bagian-bagiannya

- Sumber tegangan AC 220 V
- MCB 2A dengan berbagai merek
- Kabel Penghubung MCB dengan alat menggunakan kabel NYM 2 x 1,5 mm<sup>2</sup> Standar SNI, LMK.

## c) Rangkaian Pengujian



Gambar 3.3 Rangkaian pengujian MCB

### III.1.2 Prosedur Pengujian

Pada pengujian digunakan 5 (lima) MCB merek A, B, C, D dan E. Pengujian dilakukan dengan menghitung waktu trip (pemutusan) MCB saat diinjeksi arus melebihi arus nominalnya. Menurut S PLN No. 108 tahun 1993 untuk pengujian MCB 2A yang dimaksud tipe CL untuk melihat karakteristik arus terhadap waktu pemutusan dengan memberikan arus lebih sekitar 1,05In; 1,2 In; 1,5 In; 4In dan 6In.[3] Pada pengujian ini injeksi arusnya yaitu 1,05In, 1,2In; 1,5 In, 1,75 In, 2 In, 2,5 In, 3 In, 4In dan 6 In untuk melihat perbedaan waktu pemutusannya. Serta melihat kondisi MCB trip atau tidak. Waktu dicatat saat MCB trip. Pada bagian ini

akan dijelaskan mengenai proses pengujian karakteristik arus temperatur kabel yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Persiapan awal pengujian
2. Proses pengujian

**a) Persiapan Awal Pengujian**

Sebelum memulai pengujian dilakukan persiapan awal terlebih dahulu yang meliputi :

1. Mencatat temperatur ruangan
2. Memastikan tuas MCB bekerja dengan baik *on – off*.
3. Memeriksa peralatan pengujian yang akan digunakan
4. Memastikan semua peralatan dan sampel pengujian sudah lengkap

**b) Prosedur Pengujian**

Setelah persiapan awal pengujian telah di penuhi proses pengujian dapat dimulai. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan pengujian.
2. Menyiapkan MCB yang akan diuji baik yang standar maupun tidak standar dan kabel NYM 2 x 1,5 mm<sup>2</sup> sebagai penghubung MCB ke alat.
3. Menyalakan sumber tegangan AC 220 V.
4. Menyalakan *Current Injector* (tombol *main power* diposisikan on) dan tunggu beberapa detik agar *current meter* menunjukkan angka nol Ampere.
5. Atur skala arus yang akan digunakan, dengan mengatur skala pada nilai 20 Ampere.
6. Tekan tombol JOG dan naikkan arus (*raise current*) perlahan – lahan sampai yang diinginkan (variasi arus yang diberikan adalah 2,1 A; 2,4A; 3 A; 3,5 A; 4 A; 5 A; 6 A; 8 A dan 12A).
7. Setelah itu, tekan tombol on pada daerah *high current* .
8. Jika berhasil maka timer akan menyala dan jika tidak berhasil tombol trip akan menyala.

9. Jika trip maka turunkan arus melalui tombol *raise current* dan tekan tombol reset, setelah itu, ulangi langkah nomor 7 sampai 9.
10. Saat arus naik melebihi batas MCB (In), tombol trip akan menyala dan MCB akan off secara otomatis waktunya berhenti serta arus pun perlahan.
11. Dilakukan pencatatan waktu saat kondisi 10 terjadi.
12. Untuk MCB yang berbeda merek dilakukan prosedur yang sama dari 1 sampai dengan 11.

### III.2 Pengujian Temperatur Dan Kondisi Kabel

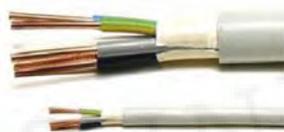
Tujuan dari pengujian kabel adalah untuk melihat temperatur dan keadaan kabel saat diinjeksi oleh arus yang melebihi kemampuan akhirnya (KHA). Kabel yang digunakan adalah kabel standar dan non standar serta kabel standar dengan umur 18 tahun.

Ada beberapa perbedaan antara kabel yang sesuai standar dengan yang tidak sesuai standar yaitu :

1. Kabel dengan label SPLN-42/SNI yang sesuai standar dijual dengan harga yang lebih mahal
2. Material isolasi kabel yang sesuai standar jauh lebih kaku dibanding kabel non standar
3. Konduktor kabel yang sesuai standar punya ukuran yang lebih besar jika dibandingkan kabel non standar.

#### III.2.1 Peralatan dan Rangkaian Pengujian

##### 1) Sample Pengujian



NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup>

**Gambar 3.4 Kabel Uji Standar**



(a) Berserabut 17

(b) Berserabut 10



(c) NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup>

**Gambar 3.5 Kabel Uji Non Standar**

- Kabel standar NYM baru dan lama (umur 18 tahun) 2 dan 3 x 2,5 mm<sup>2</sup>.

## 2) Peralatan Pengujian

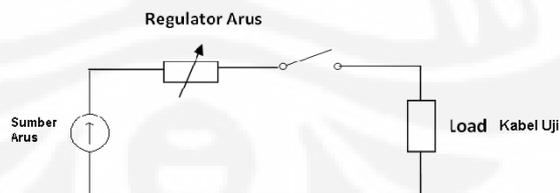
Peralatan yang digunakan untuk pengujian MCB adalah sebagai berikut :

- *High Current Injector Test Set*
- Sumber tegangan AC 220 V
- *Termometer*



**Gambar 3.6 Termometer**

## 3) Rangkaian Pengujian



**Gambar 3.7 Rangkaian pengujian kabel**

### III.2.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan tiga bagian yaitu pengujian kabel standar, kabel tidak standar dan kabel standar dengan umur 18 tahun. Semua prosedur pengujian untuk ketiga pengujian tersebut sama. Pada bagian ini

akan dijelaskan mengenai proses pengujian karakteristik arus temperatur kabel yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Persiapan awal pengujian
2. Proses pengujian

**a) Persiapan Awal Pengujian**

Sebelum memulai pengujian dilakukan persiapan awal terlebih dahulu yang meliputi :

1. Mencatat temperatur ruangan
2. Memeriksa peralatan pengujian yang akan digunakan
3. Memastikan semua peralatan dan sampel pengujian sudah lengkap

**b) Prosedur Pengujian**

1. Menyiapkan kabel yang akan diuji (kabel standar, tidak standar dan berumur 18 tahun).
2. Merangkai rangkaian percobaan seperti pada gambar 3.7
3. Menyalakan sumber tegangan AC 220 V dan *Current Injector*.
4. Atur skala arus yang akan digunakan, dengan mengatur skala pada nilai 200 Ampere.
5. Tekan tombol *JOG* dan dinaikkan arus (*raise current*) perlahan-lahan sampai yang diinginkan (variasi arus yang diberikan 2KHA, 3KHA dan 4KHA) KHA tergantung ukuran luas penampangnya untuk  $2,5 \text{ mm}^2 = 25 \text{ Ampere}$ .
6. Setelah itu, tekan tombol *on* pada daerah *high current*. Jika berhasil maka timer akan menyala dan jika tidak berhasil tombol trip akan menyala.
7. Jika trip maka turunkan arus melalui tombol *raise current* dan tekan tombol reset, setelah itu, ulangi langkah nomor 7 sampai 9.
8. Mencatat temperatur kabel pada bagian konduktor dan isolasi kabel dengan menggunakan *termometer* pada waktu 50 detik dan seterusnya setiap kenaikan 100 detik sampai dengan 1500 detik

selama 8 menit. Untuk tahapan ini besar arus yang diberikan adalah 2xKHA, 3xKHA dan 4xKHA.

9. Ulangi prosedur 1 s ampai 9 untuk setiap kabel non standar dan kabel berumur 18 tahun.



## **BAB IV**

### **HASIL DATA PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Bab hasil pengujian dan analisis akan membahas mengenai hasil pengujian yang diperoleh dari data atas pengujian yang dilakukan. Untuk pengujian sendiri adalah pengujian MCB dengan berbagai merk dan kabel standar dan tidak serta kabel dengan umur 18 tahun. Dari pengujian tersebut dapat dilihat hasilnya dan dianalisis terhadap peristiwa kebakaran yang sering terjadi, dimana kebakaran dianggap karena faktor korsleting listrik yang terjadi pada instalasi listrik.

#### **A. HASIL DATA DAN ANALISIS PENGUJIAN**

##### **IV.1 Hasil Data Pengujian dan Analisis Karakteristik MCB 2A**

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data dan kurva karakteristik arus terhadap waktu pemutusan MCB dengan menggunakan beberapa MCB 2A merk berbeda yaitu MCB A, B, C, D, dan E pada kenaikan arus 1,05 In; 1,2In; 1,5In; 1,75In; 2In; 2,5In; 3In, 4In dan 6 In. Jenis MCB 2 Ampere merupakan tipe CL yang menunjukkan bahwa gawai tersebut dapat putus atau trip jika dialiri arus 1,05 hingga 6 kali arus ratingnya.

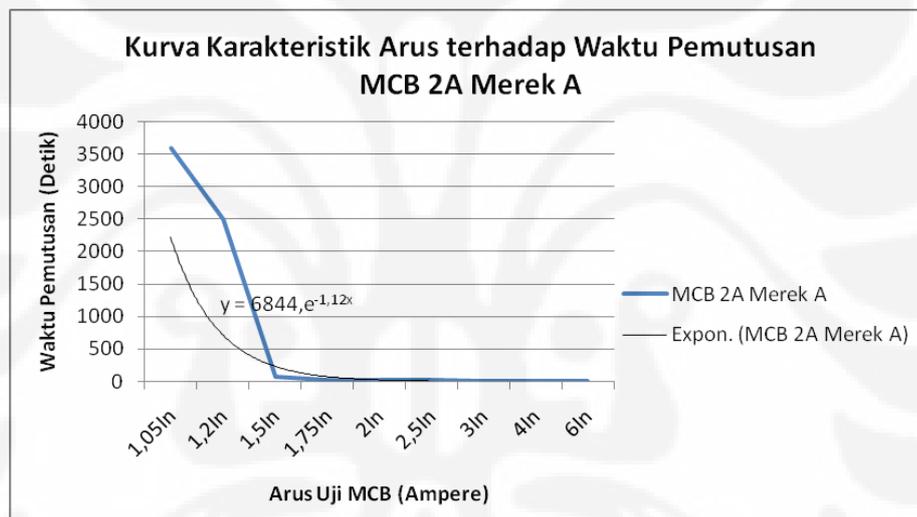
Data pengujian dapat dilihat di lampiran. Pada data pengujian juga selain melihat waktu pemutusan MCBnya juga melihat kondisi MCB apakah trip (*off*) atau tidak saat dialiri arus melebihi arus ratingnya.

##### **IV.1.1 MCB 2A Merk A**

Pengujian pertama dilakukan pada MCB 2A merk A dengan penggunaan kabel NYM 3 x 1,55 m<sup>2</sup> standar SNI dan LMK. Prosedur pengujian sesuai dengan metode pengujian yang telah disebutkan pada bab 3. Pengujian dilakukan dengan suhu kamar 26,8 °C dimana injeksi arus yang dilakukan sebanyak 9 kali. Dengan melihat perlakuan MCB terhadap arus lebih yang diinjeksikan. Dari tabel pengujian yang telah dilakukan dapat

digambarkan kurva karakteristik arus-waktu pemutusan tenaga MCB 2A dengan menggunakan *microsoft office excel*.

Gambar 4.1 menunjukkan gambar kurva karakteristik arus terhadap waktu pemutusan untuk MCB merk A. Pada saat arus yang mengalir 1,05 In waktu pemutusan MCB lebih dari 3600 detik pada kurva dianggap 3700 untuk memudahkan melihat kurva karakteristiknya. Dan saat arus mengalir 6 In waktu pemutusan yang diperoleh kurang dari 0,2 detik. Untuk kurva dianggap sama dengan 0,2 karena saat dialiri arus 6 In, MCB sangat cepat trip sementara alat yang digunakan pada pengujian skala 1 sehingga tidak diperoleh akurasi waktu yang tepat (milisekon).

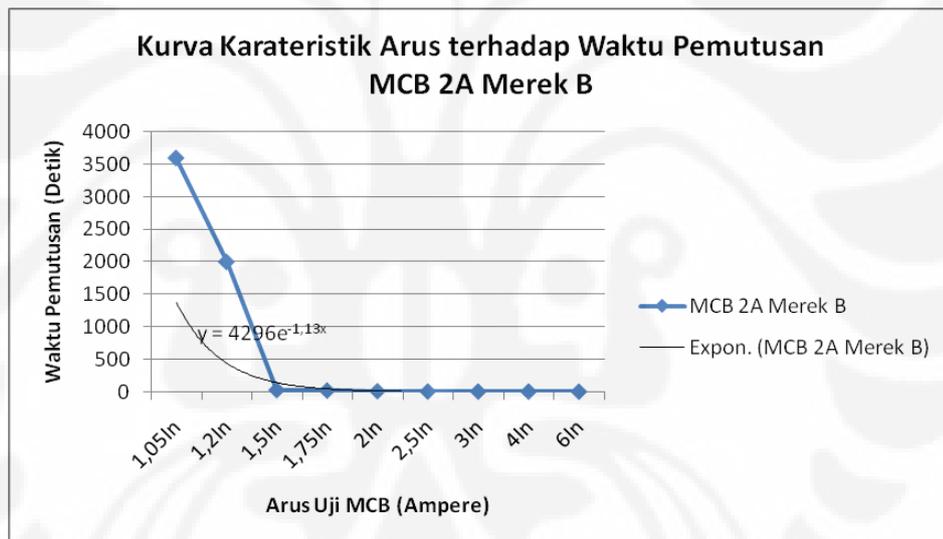


**Gambar 4.1 Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A Merk A**

Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir waktu pemutusannya semakin cepat. Saat dialiri arus lebih MCB merk A bekerja sesuai dengan karakteristiknya yaitu mentrip atau memutuskan aliran listrik tersebut. Arus yang mengalir 1,05 In waktu pemutusannya > 3600 detik ini sangat jauh berbeda ketika arus yang mengalir 1,2 In waktu pemutusannya menjadi lebih cepat yaitu sekitar 69,06 detik, berikutnya saat arus yang diinjeksi lebih besar lagi dari arus rating 6 In waktu pemutusan akan lebih cepat atau < 0,2 detik.

#### IV.1.2 MCB 2A Merk B

Pengujian kedua dilakukan pada MCB 2A merk B dengan spesifikasi yang berbeda dengan merk A. Saat pengujian perlakuan yang dilakukan pada MCB merk A sama dilakukan juga pada MCB merk B dengan temperatur ruang  $26,8^{\circ}\text{C}$ . Saat dialiri arus 1,05 In waktu pemutusan MCB merk B sama dengan merk A yaitu lebih dari 3600 tetapi tidak diketahui waktu yang lebih tepatnya. Karena pengujian hanya dilakukan dalam waktu 1 jam saja. Keadaan berbeda jauh saat arus yang diinjeksikan 1,5 In waktu pemutusan MCB merk B 24,27 detik berbeda dengan MCB merk A yaitu 69,06 detik. Tetapi keadaannya hampir sama saat arus yang diinjeksikan 4 In, waktu pemutusannya untuk MCB merk B 1,3 detik dan MCB A 1,19 detik.



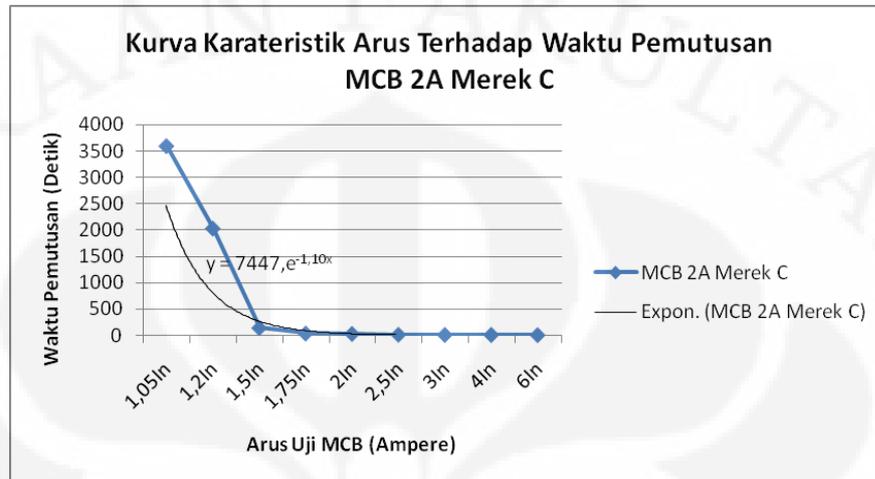
**Gambar 4.2 Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A merk B**

Pada gambar kurva tersebut ditunjukkan bahwa semakin tinggi injeksi arus yang diberikan semakin cepat pemutusan MCB.

#### IV.1.3 MCB 2A Merk C

Pengujian berikut adalah MCB merk C dengan prosedur pengujian yang sama pada MCB merk A dan B, MCB merk C merupakan MCB standar dengan spesifikasi yang telah dijelaskan pada metode pengujian. Temperatur ruang  $26,8^{\circ}\text{C}$  dan kabel penghubung NYM 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> standar SNI dan

LMK. Kondisi waktu pemutusan MCB untuk setiap kenaikan tidak jauh berbeda dengan MCB merk A dan B. Ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.3 dibawah ini



Gambar 4.3 Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A merk C

#### IV.1.4 MCB 2A Merk D

Pengujian menggunakan 5 (lima) buah MCB dengan merk dan spesifikasi yang berbeda. Pengujian berikutnya adalah MCB merk D dengan prosedur dan perlakuan pengujian yang sama dengan MCB merk A, B dan C. Keadaan temperatur ruang  $26,8^{\circ}\text{C}$  dan penggunaan kabel NYM  $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ . MCB merk D merupakan MCB non standar karena tidak tertulis label resmi dari lembaga kelistrikan yang ada.

Saat arus diinjeksikan ke MCB, MCB merk D tidak juga trip sampai waktu tertentu. Untuk arus 1,05 In MCB dan belum juga trip walaupun sudah mencapai waktu lebih dari 3600 detik, sedangkan untuk arus 1,5In; 1,75In; 2In; 2,5In; 3In dan 4In waktu pengujian hanya dibatasi sampai dengan 500 detik. Pengujian tidak bisa dilakukan lebih lama lagi karena kondisi MCB yang sudah mulai panas dan mengeluarkan suara. Hasil yang diperoleh dari kenaikan arus yang ada dalam waktu 500 detik MCB merk D tidak juga trip.

Melihat kondisi si ke rja MCB lagi, arus dinaikkan sampai batas KHA (Kemampuan Hantar Arus) kabel NYM 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> yaitu 19 Ampere, dinaikkan hingga 21 Ampere tetapi MCB tidak juga trip. Kinerja MCB sebagai gawai proteksi yang bekerja saat terjadinya arus lebih menjadi hal yang sangat penting.

Saat terjadinya hubung singkat dengan arus yang sangat besar sehingga injeksi arus dinaikkan lagi hingga 2 KHA = 38 A, 3 KHA = 57 dan 4 KHA = 76 A hasilnya MCB merk D tidak juga bekerja atau trip saat arus dinaikkan hingga 4 KHA.

Untuk memastikan bahwa tidak ada kesalahan dalam prosedur pengujian digunakan MCB lain dengan merk dan spesifikasi yang sama dengan merk D dan hasil yang didapatkan sama adanya, di mana MCB tidak juga trip saat diinjeksi arus melebihi arsu ratingnya. Dari pengujian yang dilakukan MCB merk D tidak bekerja sesuai dengan fungsinya.

#### **IV.1.5 MCB 2A Merk E**

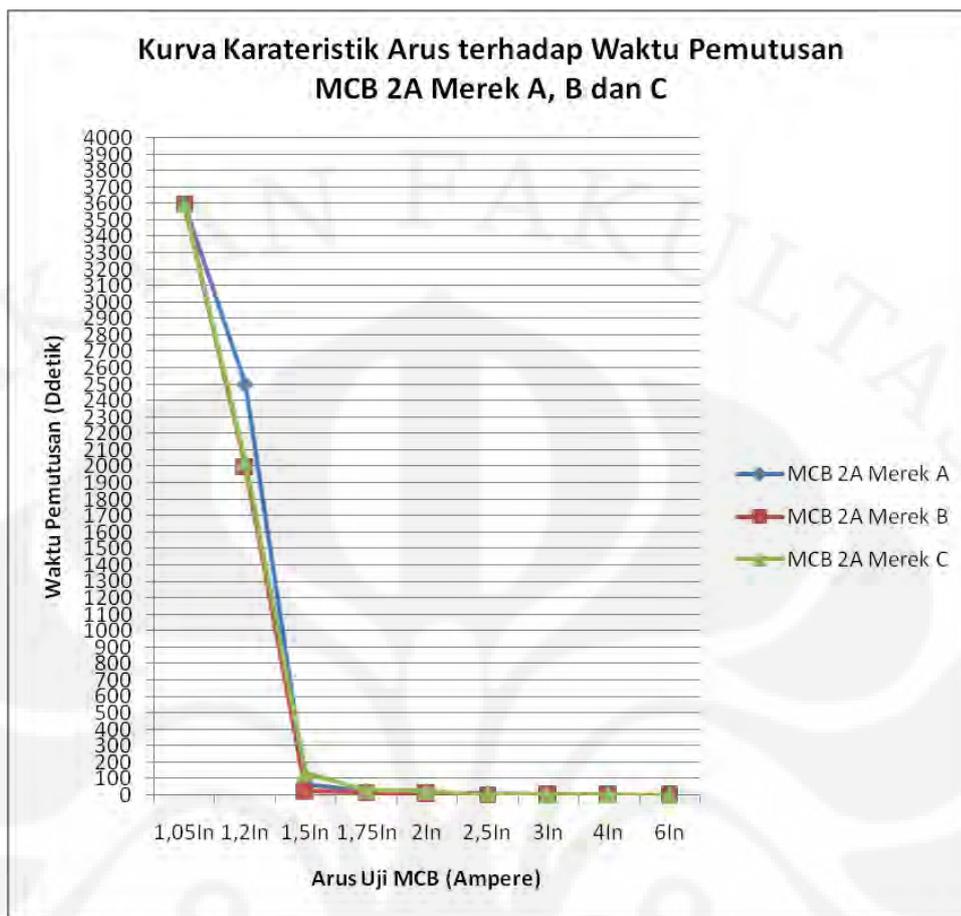
Pengujian selanjutnya adalah pada MCB merk E dengan prosedur dan perlakuan yang sama dengan MCB sebelumnya dan temperatur ruang 26,8<sup>0</sup>C. Keadaan yang terjadi pada MCB merk D terjadi pula pada MCB merk E walaupun spesifikasi dan mereknya berbeda.

Kondisi MCB tidak juga trip saat arus yang diinjeksi melebihi ratingnya. Saat pengujian dengan arus 1,05 In dalam waktu pengujian melebihi 3600 detik MCB tidak juga *off*. Sehingga arus terus dinaikkan sesuai dengan arus pengujian yang sudah ditentukan dalam waktu 500 detik sama dengan arus batasan yang dilakukan untuk pengujian pada arus 1,5In; 1,75In; 2In; 2,5In; 3In dan 4In MCB merk E tidak juga trip. Keadaan MCB malah semakin panas dan mengeluarkan bunyi sama dengan MCB merk D. Arus terus dinaikkan sampai batas KHA dari kabel NYM 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> (19 Ampere) dinaikkan hingga 21 Ampere MCB juga tidak trip.

Injeksi arus lebih 2 KAH, 3 KHA dan 4 KHA seperti yang dilakukan pada MCB merk D dilakukan juga pada MCB merk E dan hasilnya tetap sama MCB tidak juga bekerja untuk memutuskan aliran arus yang sangat besar tersebut.

Untuk pengujian dengan kondisi MCB yang tidak bekerja dilakukan pengulangan pengujian dengan menggunakan MCB yang berbeda saat pengujian pertama tetapi spesifikasi dan mereknya sama. Hasil yang diperoleh juga sama yaitu MCB tidak juga trip walaupun arus yang dinaikan cukup besar atau melebihi arus ratingnya.

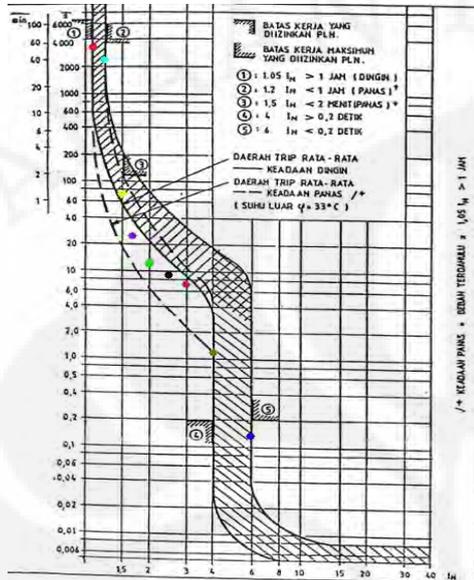
Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan pada MCB 2A dengan merk berbeda (A, B, C, D dan E) dapat dilihat kondisi kerja MCB saat arus yang mengalir melebihi batas rating dari MCB tersebut atau melebihi 2 Ampere. MCB merk A, B dan C bekerja sesuai dengan fungsi dengan mentrip MCB saat arus lebih mengalir dengan waktu pemutusan yang berbeda – beda untuk setiap kenaikan arusnya. Ini dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:



**Gambar 4.4 Kurva Karakteristik Pengujian Arus terhadap Waktu Pemutusan MCB 2A Merk A, B dan C**

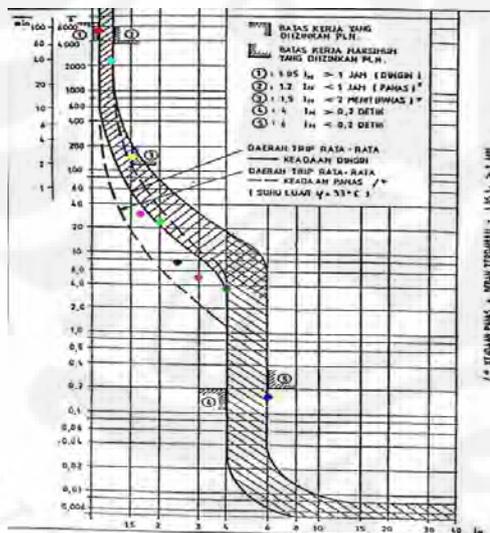
Dari gambar tersebut diatas dapat dilihat waktu pemutusan 3 (tiga) MCB yang berbeda A, B dan C. Untuk waktu pemutusan MCB saat arus yang mengalir melebihi ratingnya yaitu 1,05 detik semua trip melebihi 3600 de tik, saat arusnya 1,2 In waktu pemutusan untuk MCB merk A berbeda jauh dengan MCB merk B dan C sekitar 30% yaitu 2500 de tik. Kondisi lain yang berbeda adalah saat arus yang di alirkan 1,5 In , waktu pe mutusan MCB merk C m encapai 134,83 de tik sedangkan MCB merk A 69,06 d etik dan MCB merk B 24,67 de tik. Sementara untuk kondisi arus lebih lainnya yaitu 1,75 In; 2 In; 2,5 In; 3 In; dan 4 waktu pemutusannya h ampir be rsamaan. Waktu pe mutusan unt uk arus uji 6 I n ke tiga MCB adalah < 0,2 detik.

Sesuai dengan kurva karakteristik arus terhadap waktu untuk pemutus tenaga jenis CL (SPLN No. 108 Tahun 1993) dengan merk MCB yang berbeda dapat dilihat sebagai berikut



(a) Merk A

(b) Merk B



(c) Merk C

Keterangan Gambar :

- 1,05 In
- 1,2 In
- 1,5 In
- 1,75 In
- 2 In
- 2,5 In
- 3 In
- 4 In
- 6 In

Gambar 4.5 Kurva Karakteristik MCB Jenis CL [3]

Dapat dilihat pada kurva semakin besar arus yang diinjeksikan waktu pemutusannya pun semakin cepat. Kenaikan arus yang melebihi arusnya normalnya akan membuat kabel menjadi panas sehingga komponen bimetal pada MCB akan

bekerja. Dimana pada komponen bimetal terdapat dua logam yang berbeda dengan koefisien muai panjang yang berbeda pula. Sesuai dengan rumus pemuaian yaitu: [8]

$$L_t = L_0 + L_0 \alpha \Delta t \quad (4-1)$$

Di mana :  $L_t$  = Panjang pada suhu  $t$  [m]

$L_0$  = Panjang pada suhu awal [m]

$\alpha$  = Koefisien muai panjang

$\Delta t$  = Besarnya perubahan suhu [ $^{\circ}$ C]

Jika keping bimetal panas, maka akan melengkung ke arah logam yang angka koefisien muai panjangnya kecil dan mendorong tuas pemutus dan melepas kunci mekanisnya. Lalu MCB akan trip atau *off*, saat MCB *off* tidak ada lagi arus yang mengalir.

Secara keseluruhan untuk MCB merk A, B dan C bekerja sesuai dengan karakteristiknya yaitu trip atau *off* ketika terjadi kenaikan arus yang melebihi rating dari MCB itu sendiri. Untuk MCB 2 A pada pengujian yang dilakukan saat arus 1,05 In, MCB A, B dan C belum trip pada saat 3600 detik dan saat arus semakin besar (maksimal) untuk MCB 2A yaitu 6 In sudah trip saat < 0,2 detik. Apabila MCB tidak trip sesuai dengan karakteristiknya dan terjadi terus menerus dalam selang waktu tertentu dapat menurunkan kinerja dari MCB itu sendiri. Dan juga dapat menurunkan umur ketahanan dari kabel, karena terus menerus mengalami pemanasan melebihi kelas isolasinya.

Pada MCB 2A untuk merk D dan E, MCB tidak bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Walaupun sudah diinjeksi dengan batas kemampuan hantar arus untuk kabel uji yang digunakan NYM 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> yaitu 19 Ampere, dinaikkan hingga 38 A, 53 A dan 76 A tetapi MCB tidak juga trip. Kondisi MCB lebih panas karena pengaruh dari kabel yang panas juga, keadaan seperti ini akan sangat berbahaya karena MCB tidak dapat memproteksi arus lebih dengan baik.

Dengan keadaan ini, apabila arus yang sangat besar dan merusak isolasi kabel tetapi MCB tidak juga trip, kabel akan terbakar dan meleleh. Apabila terdapat benda-benda yang mudah terbakar di sekitarnya kabel yang meleleh tersebut akan menyambar dan membuat benda tersebut terbakar, hal ini yang bisa membuat terjadinya kebakaran pada bangunan.

Ini disebabkan MCB merk D dan E tidak sesuai dengan standar yang ada yaitu SNI atau SPLN, LMK. Jenis ini banyak dijual di pasaran dengan harga yang lebih murah dibandingkan dengan MCB merk A, B dan C. MCB merk A biasanya digunakan untuk MCB luar yang letaknya di meteran PLN, MCB jenis ini langsung dari PLN. Sedangkan untuk MCB merk B, C, D dan E merupakan MCB dalam berperan sebagai alat gawai proteksi untuk beberapa group saluran. Ini dimaksudkan apabila terjadi hubung singkat pada salah satu group saluran, group saluran yang lain tidak ikut padam saat MCBnya trip.

## **IV.2 Hasil Data Pengujian Dan Analisis Tempertur Serta Kondisi Kabel**

Pada pengujian kabel didapatkan hasil data pengujian untuk kabel standar dan non standar serta antara kabel standar yang masih baru dengan kabel standar yang sudah lama (umur 18 tahun).

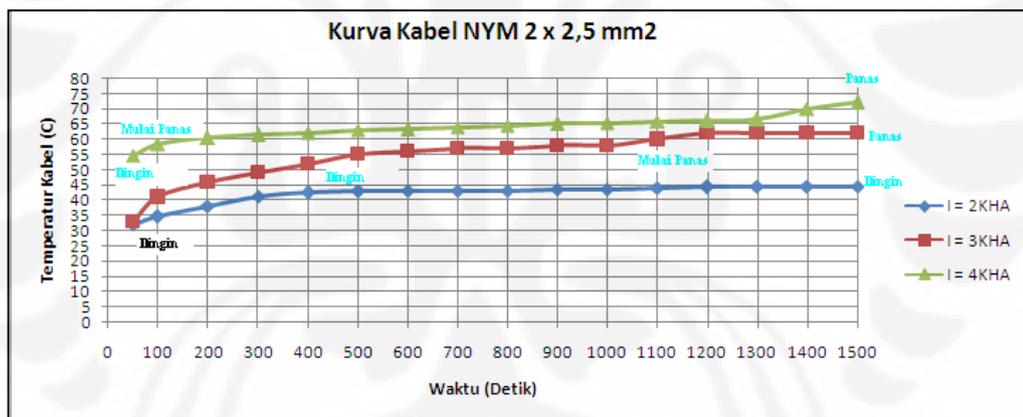
### **IV.2.1 Kabel Standar dan Non Standar**

Di pasaran banyak sekali dijual kabel dengan berbagai macam jenis baik yang standar dan non standar. Di masyarakat kebanyakan untuk pemasangan instalasi listrik perumahan penggunaan kabel digunakan kurang diperhatikan mutu apakah sesuai atau tidak dengan standar yang ada.

Dari hal tersebut dilakukan pengujian untuk melihat ketahanannya terhadap kenaikan arus yang melebihi K<sub>HA</sub> (Kemampuan H antar Arus). Dengan asumsi bahwa MCB tidak bekerja dengan baik saat terjadi kenaikan arus seperti yang terjadi pada pengujian sebelumnya dimana MCB merk D dan E tidak trip saat terjadi kenaikan arus walaupun sudah melebihi K<sub>HA</sub> dari kabel yang digunakan.

Saat terjadi kenaikan arus dan MCB tidak juga trip, temperatur pada kabel akan terus naik. Untuk kondisi hubung singkat yang disebabkan karena gangguan pada antar fasa, fasa dengan netral dan fasa itu sendiri. Pengujian kali ini menggunakan parameter pengujian saat terjadi kenaikan arus 2 x KHA, 3 x KHA dan 4 x KHA, waktu pengujannya dari 50 detik hingga 1500 detik dengan pengambilan data 50 detik pertama, selanjutnya setiap kenaikan waktu setiap 100 detik.

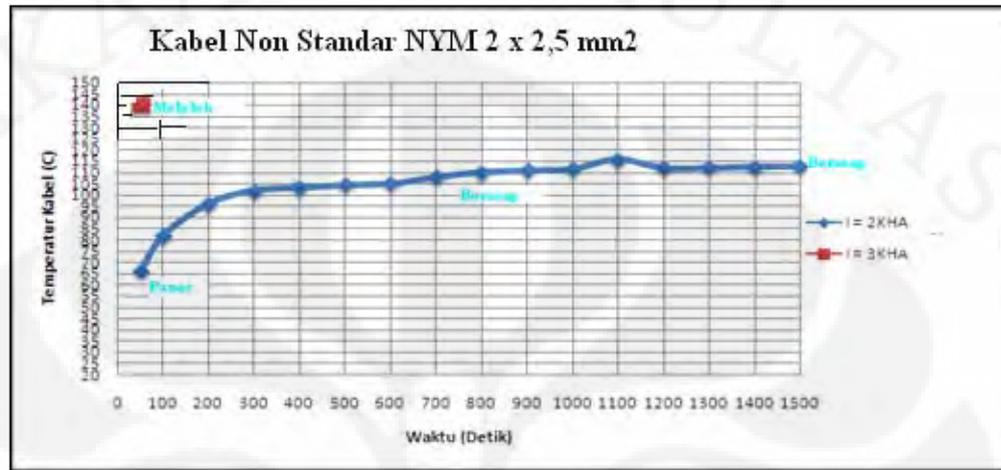
Dari pengujian tersebut di dapatkan data yang telah terlampir dan hasilnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Pada gambar 4.6 dan 4.7 menunjukkan keadaan untuk kabel yang sesuai dengan standar dan non standar. Kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> untuk kabel standar tercantum SNI, SPLN dan LMK, berbeda untuk kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> tidak sesuai standar dimana pada kabel tercantum label E MAX, S TN yang bukan merupakan standar peralatan listrik di Indonesia.



Gambar 4.6 Kurva Kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> Standar

Arus dinaikan 2 x KHA = 50 Ampere, pada waktu 50 detik temperatur kabel standar hanya 37,6°C kondisi kabel tetap dingin hingga waktu 1500 detik. Sementara kabel non standar sudah mencapai 66°C keadaan kabel panas. Saat waktu 800 detik temperatur kabel non standar sudah mencapai 110°C sedangkan kabel standar hanya mencapai 42°C. Pada waktu ini kabel non standar dalam kondisi beresap dan mengeluarkan bau dan terus mengalami kenaikan temperature hingga waktu 1500 detik dengan temperatur 112,8°C. Untuk arus yang dinaikan 3 x KHA = 75 detik temperatur kabel standar baru

dalam kondisi panas saat waktu 1100 detik dan selanjutnya temperatur kabel cenderung konstan hingga waktu 1500 detik. Sedangkan kabel non standar saat arus dinaikkan hingga 3 x KHA hanya kondisi kabel langsung meleleh sebelum mencapai detik ke 50 dengan temperatur mencapai 140°C.



**Gambar 4.7 Kurva Kabel Non Standar NYM 2 x 2,5mm<sup>2</sup>**

Dari gambar 4.6 dan 4.7 dapat dilihat bahwa kenaikan arus pada kabel akan mempengaruhi kenaikan temperturnya. Kabel sendiri terdapat beberapa kondisi keadaan yaitu dingin, panas, berasap dan meleleh (terbakar). Kenaikan arus dalam beberapa waktu tertentu dapat menaikkan temperatur dari kabel. Terlihat dengan jelas perbedaannya saat kabel dialiri arus melebihi batas kemampuan hantarnya untuk luas penampang 2,5 mm<sup>2</sup> kemampuan hantarnya adalah 25 Ampere.



**Gambar 4.8 Kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> non standar terbakar saat diinjeksi arus 3xKHA**

Pada kabel instalasi perumahan masyarakat sering menggunakan 2 (dua) kabel ini berikut yang biasanya digunakan untuk pemasangan lampu dan beberapa sambungan lainnya. Jenis kabel non standar ini konduktor berbentuk serabut yang terdiri dari 2 kawat untuk kabel serabut A jumlahnya 17 buah

dengan diameter 0,42, sedangkan untuk kabel serabut B jumlahnya 10 buah dengan diameter 0,41.



**Gambar 4.9 Kabel 2 kawat A berserabut 17 non standar terbakar saat arus 15 A**

Untuk kabel berserabut A saat diinjeksi arus 15 A, temperatur kabel mencapai suhu  $140^{\circ}\text{C}$  dan langsung berasap lalu meleleh dalam waktu singkat kurang dari 20 detik. Dan untuk kabel berserabut B diinjeksi dengan arus 10 A, kondisi kabel sudah berasap dan langsung meleleh dalam waktu singkat kurang dari 20 detik, suhu kabel mencapai  $140^{\circ}\text{C}$ .

Dari beberapa kondisi tersebut di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi arus semakin tinggi temperatur kabel. Standarnya untuk kemampuan daya antar arus maksimum kabel sampai 3 kali daya yang tertera [11]. Sehingga pada pengujian yang telah dilakukan kabel standar masih dapat bertahan (tidak terbakar) walaupun arus yang dinaikkan melebihi 3 x KHA. Hal ini berbeda dengan jenis kabel non standar ketika dinaikkan arus 3 x KHA langsung terbakar dan meleleh.

#### **IV.2.2 Kabel Standar Kondisi Baru dan Kondisi Lama**

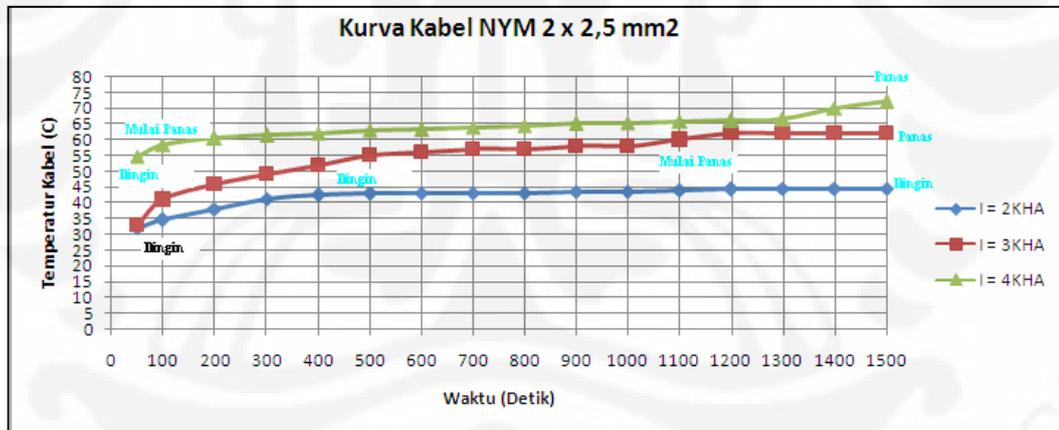
Salah satu faktor pemicu kebakaran lainnya adalah pengaruh instalasi listrik yang sudah lama. Umur instalasi menurut aturan yang harus diganti saat mencapai lebih dari 15 tahun. Karena akan mempengaruhi kinerja dari peralatan itu sendiri. Untuk itu dilakukan pengujian pada kabel standar dengan kondisi lama yaitu berumur 18 tahun, bila dibandingkan dengan kabel dalam kondisi baru yang sama sekali belum pernah dialiri oleh arus. Untuk kabel kondisi 18 tahun saat diinjeksi arus melebihi KHAny temperatur kabelnya sangat tinggi dalam waktu yang relatif cepat bila dibandingkan dengan kabel kondisi baru.

a) NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup>

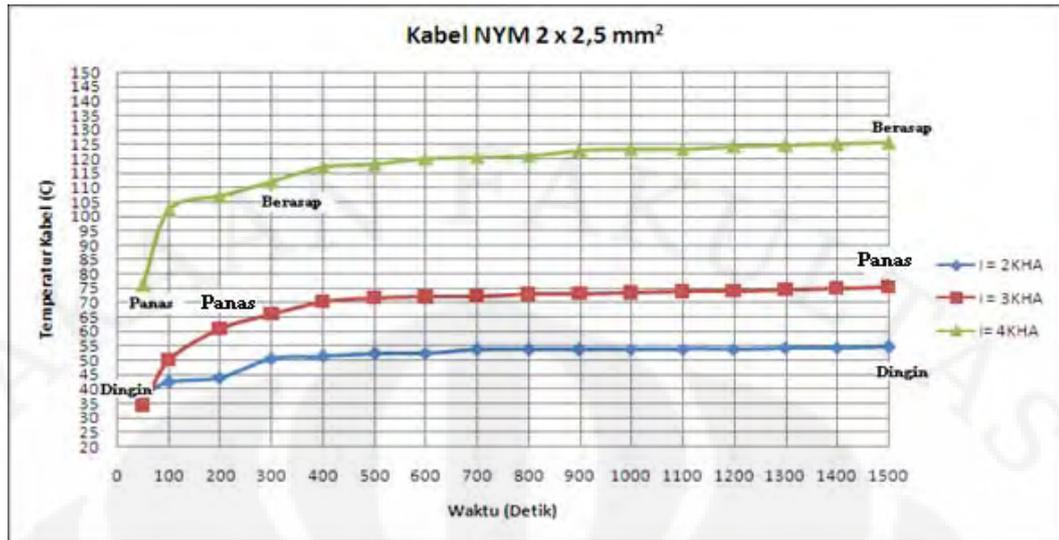
Dari gambar yang ditunjukkan di bawah ini umur instalasi mempengaruhi kondisi kabel. Saat diberikan arus 3 x KHA kabel dengan umur 18 tahun pada detik ke 50 kondisi kabel langsung panas, ini berbeda dengan kabel yang masih baru dimana kondisinya masih dingin atau normal. Untuk arus 4 x KHA = 100 Ampere pada waktu 300 detik kabel berumur (18 tahun) sudah berasap dengan temperatur mencapai 112 °C dan terus mengalami kenaikan hingga 125,4 °C pada waktu 1500 detik. Sedangkan kabel yang masih baru keadaan pada waktu 300 detik temperatur kabel mencapai 61,4 °C dan saat waktu 1500 detik temperaturnya 70 °C dengan kabel dalam kondisi panas.



Gambar 4.10 Kabel NYM 2 x 2,5mm<sup>2</sup> standar berumur 18 tahun terbakar saat arus 4 x KHA



(a) Masih Baru

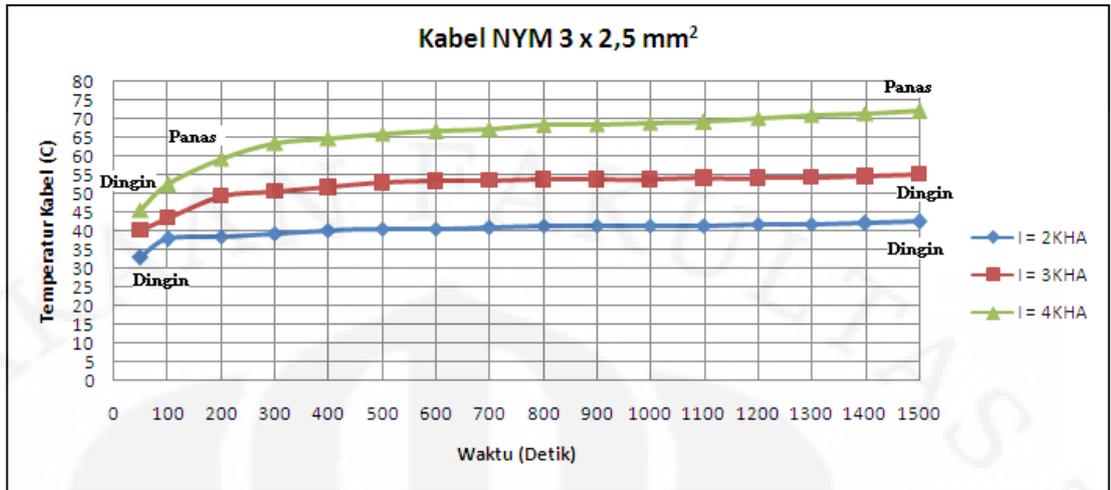


(b) Umur 18 tahun

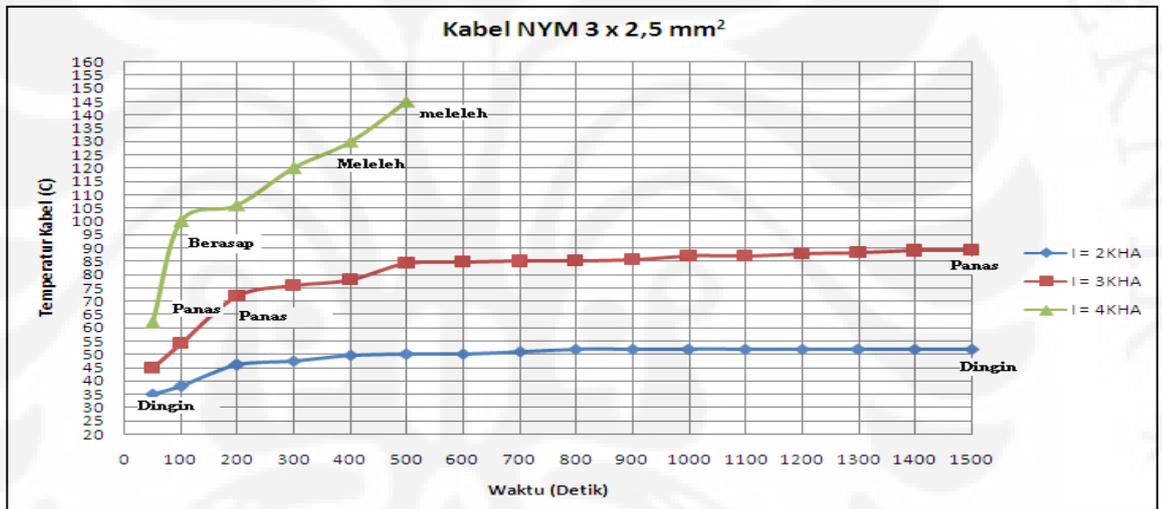
Gambar 4.11 Kurva kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> standar untuk kondisi baru dan lama

### b) NYM 3 x 2,5 mm<sup>2</sup>

Kabel instalasi lainnya yang dilakukan pengujian adalah kabel jenis NYM 3 x 2,5 mm<sup>2</sup>. Untuk kabel berumur saat diinjeksi arus 2 x KHA kondisinya masih normal (dingin) dengan temperatur 52,1<sup>0</sup>C saat waktu 1500 detik. Tetapi kondisi tampak berbeda dengan kabel NYM baru saat diinjeksi arus 4 x KHA kabel pada waktu 50 detik langsung dalam kondisi panas dengan temperatur 62<sup>0</sup>C sedangkan kabel baru masih berada pada temperatur 45,6<sup>0</sup>C kondisi dingin. Dan kabel berumur sudah meleleh saat diinjeksi arus 4 x KHA dengan temperatur mencapai 145<sup>0</sup>C dalam waktu 50 detik, sementara kabel baru hingga waktu 1500 detik temperaturnya cuma 72<sup>0</sup>C.



(a) Masih Baru



(b) Umur 18 tahun

Gambar 4.12 Kurva kabel NYM 3 x 2,5 mm<sup>2</sup> standar untuk kondisi baru dan lama



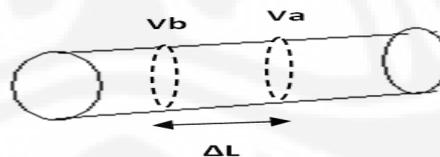
Gambar 4.13 Kabel NYM 3 x 2,5mm<sup>2</sup> standar umur 18 tahun terbakar saat arus 4 x KHA

Pada pengujian untuk kabel kondisi baru dan kondisi umur 18 tahun, dapat disimpulkan bahwa untuk kabel dengan kondisi melebihi 15 tahun akan cepat meleleh apabila terjadi kenaikan arus bila dibandingkan dengan kabel

dengan kondisi baru yang hanya mengalami panas saat arus yang diinjeksi sampai 4 x KHA. Hal ini disebabkan kabel kondisi lama sering dialiri arus dibandingkan dengan kabel dalam kondisi baru.

Secara keseluruhan pada pengujian untuk mengukur temperatur dan kondisi kabel yang dilakukan saat arus yang mengalir ke kabel naik melebihi KHA terjadi itu sendiri sehingga temperaturnya juga terus meningkat. Pemanasan pada penghantar (konduktor) berpindah ke lapisan isolasi dari kabel, hal ini yang membuat kabel menjadi panas dari luar. Pemanasan pada kabel tersebut mengakibatkan rugi-rugi pada konduktor  $I^2R$ . Nilai resistivitas kabel dipengaruhi oleh temperatur dari konduktor seperti yang tertulis pada persamaan 2-2. Nilai resistivitas tersebut akan mempengaruhi pemanasan pada kabel, semakin tinggi temperatur semakin tinggi juga resistivitas yang dihasilkan oleh kabel sehingga rugi-rugi yang dihasilkan pun semakin besar.

Saat terjadi panas pada kabel kondisinya tidak terjadi pada keseluruhan isolasi tetapi awalnya terjadi pada satu titik. Ini disebabkan karena intensitas medan magnet sepanjang kabel tidak sama, hal terjadi karena pergerakan elektron-elektron dalam kabel. Saat arus mengalir terjadi medan listrik pada konduktor. Medan listrik bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah, potensial pada titik a lebih besar dari pada potensial titik b. Sehingga akan menimbulkan beda potensial antara titik a dan b.



Gambar 4.14 Suatu segmen kawat yang membawa arus I

Beda potensial yang dihubungkan dengan medan listrik oleh  $V_a$  ke  $V_b$  adalah [5]

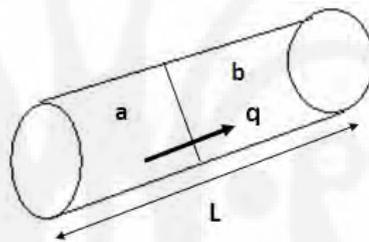
$$V = V_a - V_b = E \cdot \Delta L \quad (4-2)$$

Dimana:  $V$  = Beda potensial titik a dan titik b [V]

$E =$  Medan listrik [V/m]

$\Delta L =$  Perubahan panjang [m]

Beda potensial ini yang mempengaruhi resistansi dari kabel pada ke dua titik a dan b. Semakin tinggi arus yang mengalir maka beda potensialnya juga semakin tinggi dan resistansinya meningkat. Sama halnya dengan temperatur yang berpindah dari titik a ke titik b, sehingga dalam keadaan tertentu seluruh kabel memiliki temperatur yang sama dan berada pada kondisi setimbang dimana panas yang dihasilkan seimbang dengan panas yang dilepaskan. Perpindahan panas didalam kabel secara konduksi dimana perpindahan dari titik a ke titik b. Sedangkan yang membuat seluruh kabel menjadi panas adalah perpindahan secara konveksi dan radiasi seperti yang telah dijelaskan pada bab II bagaimana proses perpindahan itu bisa terjadi.



Gambar 4.15 Perpindahan panas pada kabel

Pada pengujian yang telah dilakukan apabila arus meningkat maka temperatur dari kabel pun meningkat. Perubahan temperatur akan menyebabkan terjadinya perubahan pada ukuran dan keadaan bahan dalam hal ini konduktor kabel. Bila temperatur naik maka jarak rata-rata di antara atom-atom akan bertambah, yang mengakibatkan suatu ekspansi dari seluruh benda tersebut baik panjang, lebar maupun tebalnya secara linier. [8]

$$\Delta L = \alpha \cdot l \cdot \Delta T \quad (4-3)$$

Dimana:  $\Delta L =$  Perubahan panjang [m]

$\alpha =$  Coefficient of linier expansion

$l =$  Panjang mula-mula [m]

$$\Delta T = \text{Perubahan temperatur } [^{\circ}\text{C}]$$

Sehingga saat temperatur mengalami perubahan maka panjang bahan pun akan berubah, ketika temperatur naik maka panjang dari bahan pun bertambah dimana konduktor dari kabel semakin panjang.

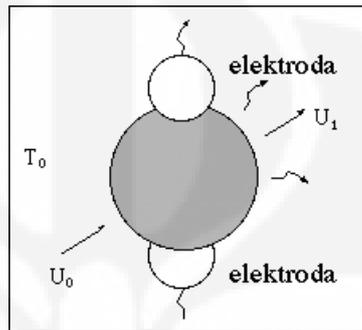
Untuk kabel standar dan non standar berbeda jenis bahan isolasinya. Isolasi untuk kabel non standar tidak kuat menahan panas sehingga mudah meleleh saat temperaturnya naik dibandingkan dengan isolasi kabel standar. Isolasi kabel non standar lebih lunak dibandingkan dengan kabel standar selain itu ketebalannya sangat tipis.

Temperatur berpengaruh terhadap kekuatan mekanis, kekerasan, viskositas, ketahanan terhadap pengaruh kimia dan sebagainya. Bahan isolasi dapat rusak diakibatkan oleh panas pada kurun waktu tertentu [4]. Waktu tersebut disebut umur panas bahan isolasi. Sedangkan kemampuan bahan menahan suhu tertentu tanpa terjadi kerusakan disebut ketahanan panas. Makin lama usia kabel tersebut dengan pemakaian yang terus menerus akan menurunkan sifat ketahanan terhadap panas dari bahan isolasi tersebut.

Hal ini diperlihatkan pada pengujian yang dilakukan, dimana kabel dengan umur 18 tahun lebih cepat terbakar dibandingkan dengan kabel kondis baru. Menurut IEC (*International Electrotechnical Commission*) didasarkan atas batas suhu kerja bahan, bahan isolasi yang digunakan pada suhu di bawah nol derajat perlu juga diperhitungkan karena pada suhu di bawah nol bahan isolasi akan menjadi keras dan regas [4]. Untuk instalasi listrik pada bangunan seperti rumah dan gedung minimal tujuh tahun sekali dilakukan pemeriksaan. Hal ini dimaksudkan untuk menganti kabel instalasi apabila sudah rusak akibat digit binatang atau kondisinya yang sudah aus.

Selain itu bahan isolasi untuk kabel non standar tidak mampu menahan panas sehingga membuat kabel tersebut lebih cepat panas saat terjadi kenaikan arus sehingga dapat terjadi kegagalan isolasi. Dimana isolasi tidak bekerja sesuai dengan fungsinya yang semestinya. Untuk isolasi kabel standar saat terjadi kenaikan temperatur, panas yang disebabkan oleh rugi-rugi yang ada dapat

didipasi secara baik. Sedangkan kabel non standar pembangkitan panas di suatu titik dalam bahan kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkitan panas yang disebabkan kenaikan arus lebih melebihi kecepatan pembuangan panas ke luar. Akibatnya terjadi keadaan tidak stabil sehingga pada suatu saat bahan mengalami kegagalan. Kegagalan isolasi jenis ini biasanya disebut sebagai kegagalan termal. Gambar kegagalan ini ditunjukkan seperti :



Gambar 4.16 Kegagalan termal [4]

Sesuai dengan hukum kekekalan energi, energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat juga dimusnahkan. Maka rugi-rugi daya tersebut akan diubah menjadi bentuk energi lain, dalam hal ini diubah menjadi energi panas. Sehingga dari gambar 4.16 hukum konversi energi dapat dituliskan sebagai [4]

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad (4-4)$$

Dimana :  $U_0$  = Panas yang dibangkitkan

$U_1$  = Panas yang disalurkan keluar

$U_2$  = Panas yang menaikkan suhu bahan

Kondisi kegagalan termal ini pun terjadi untuk kabel kondisi lama. Untuk ketahanan isolasi terhadap kenaikan arus yang ada sampai dengan batas kemampuan suhu kerja maksimum dari kelas isolasi yang ada. Apabila suhu dari isolasi melebihi suhu kerja maksimum maka dapat membakar kabel dan kemudian percikan api yang terjadi tersebut dapat membakar bahan-bahan yang ada disekitarnya. Kabel standar yang apabila isolasinya terbakar isolasinya akan hangus dan tidak menimbulkan lelehan. Sementara untuk kabel non standar saat

isolasinya terbakar, lelehan isolasi dapat mengeluarkan api. Bila lelehan ini jatuh atau menempel di bahan yang mudah terbakar dapat langsung membakar benda tersebut dan terjadilah kebakaran.

## **B. ANALISIS LAPANGAN**

Perilaku instalasi listrik konsumen bisa menjadi faktor penyebab terjadinya kebakaran antara lain sebagai berikut :

### **IV.3 Penyambungan yang Tidak Benar**

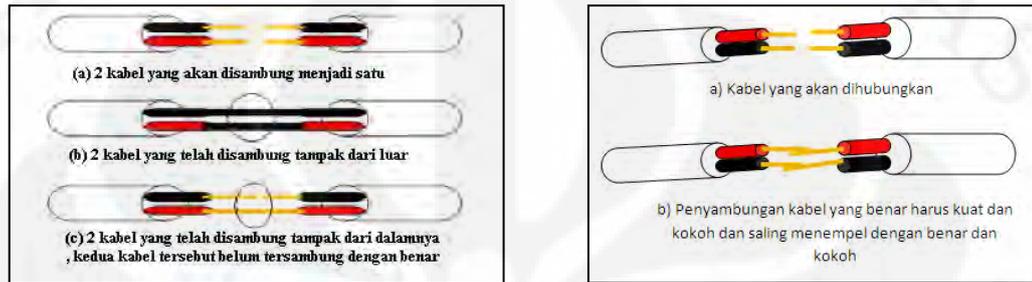
Selain faktor-faktor pemicu diatas yaitu MCB dan kualitas kabel, faktor pemicu kebakaran yaitu penyambungan yang tidak benar pada instalasi listrik. Seperti yang ditunjukkan pada gambar instalasi listrik penambahan titik beban dengan penyambungan yang tidak benar sering terjadi tanpa memperhatikan kondisi saluran termaksud kondisi kabelnya. Apakah kabel tersebut mampu menahan arus dengan beban berlebih yang terjadi. Selain itu pada saat penyambungan kurang diperhatikan secara baik apakah sudah benar atau sudah terpasang dengan baik semua fasa – fasa antar kabel yang disambungkan.

Sambungan ideal harus memenuhi 2 (dua) persyaratan yaitu :

1. Secara mekanik, dimana sambungan harus benar-benar tepat dan kuat, tidak mudah terlepas.
2. Secara listrik, dimana semua sambungan listrik harus baik sehingga tahanan kontak sampai seminimal mungkin. Sambungan antarpengantar dan antarpengantar perlengkapan listrik yang lain harus dibuat sedemikian sehingga terjamin kontak yang aman dan andal. [2]

Apabila penyambungan yang dilakukan tidak benar yaitu dengan adanya konduktor yang tidak tersambung dengan baik antarpengantar yang ada seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17a penyambungan kabel tersebut

tidak benar-benar kokoh, sehingga saat dialiri arus akan terjadi lonjakan elektron pada kedua kutub. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya percikan api pada kedua konduktor. Berbeda dengan 4.17b penyambungannya benar dan kokoh sehingga tidak ada celah udara pada penghantar tersebut yang dapat menyebabkan terjadinya loncatan elektron antarpenghantar.



a. Penyambungan tidak benar

b. Penyambungan yang benar

**Gambar 4.17 Penyambungan kabel yang tidak benar dan benar**

Selain gambar 4.17a penyambungan yang tidak benar lainnya adalah pada penyambungan kabel ke MCB. Kabel tidak tepat masuk ke MCB dimana terjadi kelonggaran. Apabila kondisi ini terus terjadi MCB akan menjadi panas dan lama ke lamaan akan hitam. Selain itu hal tersebut yang dapat membuat MCB sering trip walaupun arus yang mengalir di bawah rating dari MCB tersebut.

Semua penyambungan resistansinya merupakan bagian dari lintasan arus beban. Apabila penyambungan tersebut tidak benar, terjadi pemusatan arus pada satu titik pada sambungan dan resistansinya menjadi sangat tinggi pada titik sambungan tersebut ini disebabkan muatan tertahan pada titik sambungan sehingga medan listriknya menjadi naik. Kondisi inilah yang membuat terjadinya panas pada tempat tersebut yang dapat menyebabkan rugi-rugi konduktor dan di elektrik pada kabel. Pada penyambungan yang baik dengan menggunakan peralatan sambung yang benar, bidang kontak tidak akan mengakibatkan panas yang berlebihan, karena panas yang ditimbulkan relatif kecil dan dapat didisipasikan dengan baik oleh konduktor.

Sedangkan pada kon disipasi nyambungan yang buruk, panas berkonsentrasi pada sambungan dan panas tidak dapat dilepaskan secara memadai oleh konduktor yang menyebabkan rugi konduktor dapat terjadi. Selain karena pergerakan elektron yang tertahan pada titik sambungan tersebut yang membuat resistansinya menjadi sangat tinggi, dampak lain adalah adanya celah udara di titik sambungan. Celah udara ini mengakibatkan resistansi sambungan menjadi bertambah besar, celah udara dapat mempercepat terjadi pelapukan dan penuaan pada kabel karena adanya oksidasi. Makin banyak panas yang ditimbulkan dengan terus menerus terjadi oksidasi, konduktor akan teroksidasi semakin parah yang mengakibatkan terjadi rangkaian terbuka (*open circuit*) tanpa bahaya api, atau dapat menjadi panas yang ditimbulkan untuk memercikan api ke material-material di sekelilingnya.



**Gambar 4.18 Penyambungan kabel yang dilakukan masyarakat**

Pada gambar 4.18 diperlihatkan bagaimana masyarakat menyambung kabel yang hanya menggunakan plastik biasa tanpa memperhatikan apakah sambungan tersebut tersambung dengan benar atau tidak. Meski tetap mampu mengalirkan arus ke peralatan, sambungan buruk seperti yang telah dijelaskan di atas dapat menyebabkan percikan api. Dengan bahan sambungan yang digunakan tidak memenuhi standar yang ada yaitu plastik yang merupakan bahan yang mudah terbakar, saat terjadinya percikan api pada sambungan dapat langsung melelehkan plastik yang digunakan sebagai penyambungan tersebut. Lelehan dari bahan plastik itulah yang akan mengenai bahan lain dan dapat membakar bahan itu juga.

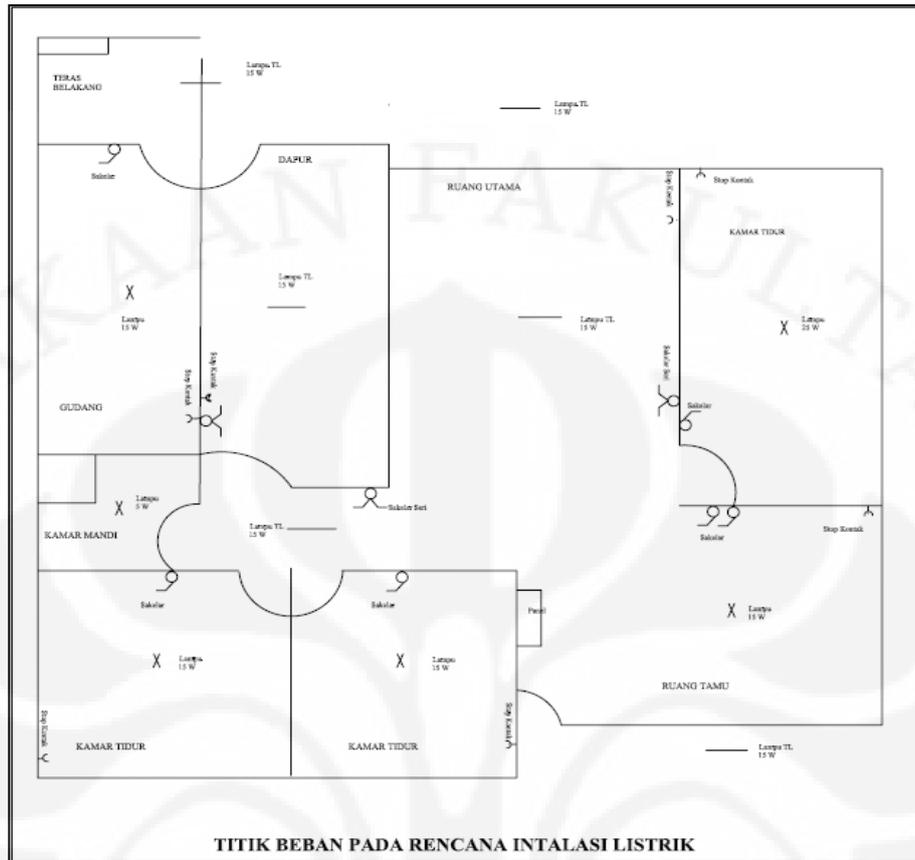
## **IV.4 Instalasi Listrik Tidak Sesuai Standar**

### **IV.4.1 Pemasangan MCB yang Tidak Sesuai**

Pada saat pembangunan gedung ataupun rumah terlebih dahulu selain memperhatikan letak ruang, hal yang penting diperhatikan adalah instalasi listrik dan penempatan titik beban. Penempatan titik beban dilakukan oleh pemilik rumah dan pemasangan dilakukan oleh pihak PLN. Penempatan titik beban bertujuan dalam pemakaian daya yang akan digunakan. Pada instalasi rumah sederhana menggunakan satu fasa sedangkan untuk rumah besar dengan banyak beban memakai tiga fasa. Variasi daya yang diberikan PLN adalah 900 VA, 1320 VA, 2200 VA, 3600 VA dan 4600 VA.

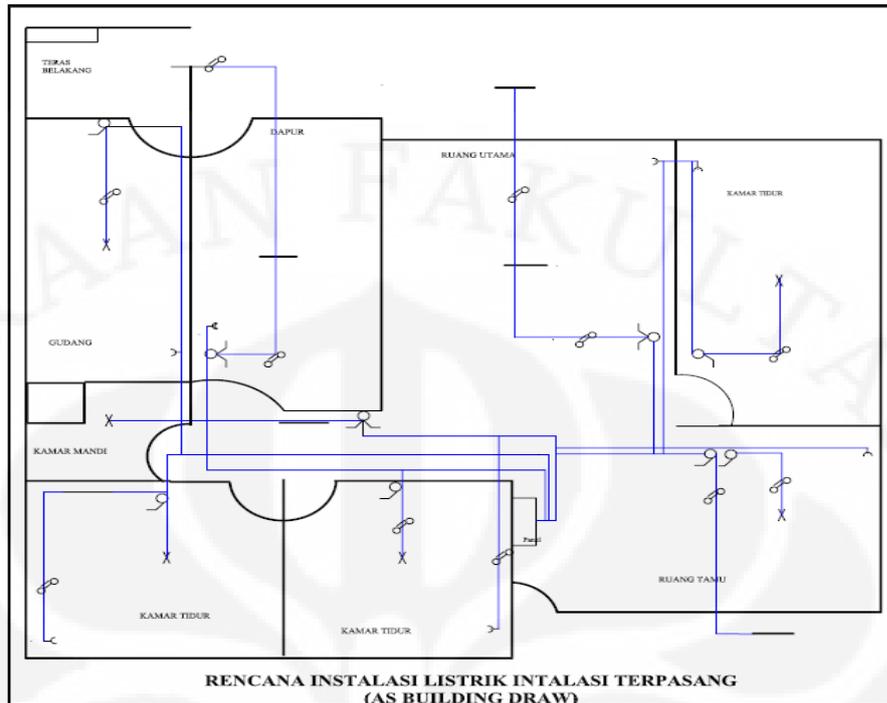
Pemberian daya tersebut yang akan menentukan MCB yang akan dipasang. Daya 900 VA menggunakan MCB 4 A, 1320 VA menggunakan MCB 6 A, 2200 VA menggunakan MCB 10 A, 3600 VA menggunakan MCB 16 A dan 4600 VA menggunakan 20 A. Ini bertujuan apabila arus yang mengalir melebihi arus rating MCB, MCB akan trip dan memutuskan aliran arus.

Dibawah ini adalah gambar dari instalasi listrik untuk rumah sederhana. Dengan daya yang terpasang adalah 900 VA. Sesuai dengan ketentuan yang ada daya 900 VA, gawai proteksi (MCB) yang terpasang adalah 4A. Gambar 4.19 menunjukkan titik beban dari beban yang ada.



**Gambar 4.19 Titik beban pada rencana instalasi listrik sederhana**

Gambar 4.20 menunjukkan group dari masing-masing beban yang tersambung menjadi satu ke panel dan gawai proteksi yang ada. Dari gambar 4.19 dan 4.20 yang ada serta beban yang terpasang dapat ditentukan apakah MCB yang digunakan sudah sesuai dengan daya yang disediakan atau tidak.



**Gambar 4.20 Rencana instalasi listrik terpasang (As building draw)**

Diasumsikan bebannya sebagai berikut :

Group 1 terdiri dari :

- Mesin Cuci ( Kapasitas daya = 375 W, pf = 0,6 lag )
- Pompa Air ( Kapasitas daya = 400 W, pf = 0,8 lag )
- Kulkas ( Kapasitas daya = 200 W, pf = 0,75 lag )
- Lampu ( Kapasitas daya = 30 W, pf = 0,5 lag )

Group 2 terdiri dari :

- Kipas Angin 2 buah ( Kapasitas daya = 35 W x 2 = 70 W, pf = 0,55 lag )
- Lampu TL 15 W 3 buah + 5 W 3 buah ( Kapasitas daya = 50 W, pf = 0,6 lag )

Group 3 terdiri dari :

- Lampu TL 15 W + 25 W ( Kapasitas daya = 85 W, pf = 0,6 lag )
- Televisi ( Kapasitas daya = 200 W, pf = 0,6 lag )

Dengan kondisi semua beban tersebut menyala dalam waktu yang sama. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\vec{S} = \frac{\vec{P}}{\cos \theta} < \arccos \theta \quad (4-5)$$

$$\vec{S} = \vec{V} \cdot \vec{I}^* \quad (4-6)$$

Dimana :  $S$  = Daya kompleks [VA]

$P$  = Daya real [Watt]

$\cos \theta = \text{pf}$  = Faktor daya

$V$  = Tegangan sistem [V]

$I$  = Arus yang mengalir pada penghantar [A]

Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai arus yang mengalir ke semua beban dari panel adalah  $6,15 - j4,72$  atau  $9,87 < -51,46^\circ$  Ampere. Dengan ini terjadi kelebihan beban lebih pada sistem yang ada dan seharusnya MCB pasang adalah 10 Ampere.

Pemasangan MCB harus sesuai dengan rating daya yang ada atau terpasang. Agar apabila terdapat pembebanan berlebih yang menyebabkan terjadinya kenaikan harus yang melebihi rating nominal dari MCB, maka MCB akan mendeteksi itu sebagai arus lebih dan akan trip. Tetapi apabila pemasangan MCB tidak sesuai dengan daya yang ada misalnya lebih besar dari daya yang dipasang dan melebihi batas kemampuan hantar dari kabel yang ada, saat terjadi arus lebih kabel sudah lebih dulu panas dan meleleh sementara MCB mulai mendeteksi adanya arus lebih tersebut. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya kebakaran pada bangunan.

#### IV.4.2 Jenis Penghantar Pada Saluran

Setiap titik beban mempunyai daya masing-masing ini nantinya yang menentukan besar arus yang mengalir ke beban tersebut. Pemasangan titik beban pada instalasi listrik sederhana dapat dilihat pada gambar 4.19. Titik beban tersebut dihubungkan dengan panel yang menyalurkan daya ke beban-beban tersebut. Saluran utama ke panel pada gambar 4.20 ada 3 saluran yang menuju ke satu fasa pada panel. Dan beban-beban lainnya menyambung ke 3 saluran utama tersebut.

Hal yang sering tidak diperhatikan dalam pemasangan adalah jenis kabel yang digunakan pada saluran utama. Sesuai dengan teori yang ada semestinya untuk beban yang berbeda jenis kabel yang digunakan juga berbeda. Tetapi kenyataan di lapangan malah dengan alasan untuk menghemat biaya dan mempermudah pemasangan biasanya kabel yang digunakan pada saluran utama adalah satu jenis, biasanya digunakan kabel NYM dan NYA berkawat 3, 2 dan 1 dengan luas penampang yang bervariasi. Luas penampang tersebut harus disesuaikan dengan batas arus dari beban tersebut, luas penampang  $1,5 \text{ mm}^2$  KHA = 19 Ampere,  $2,5 \text{ mm}^2$  KHA = 25 Ampere,  $4 \text{ mm}^2$  = 34 Ampere.

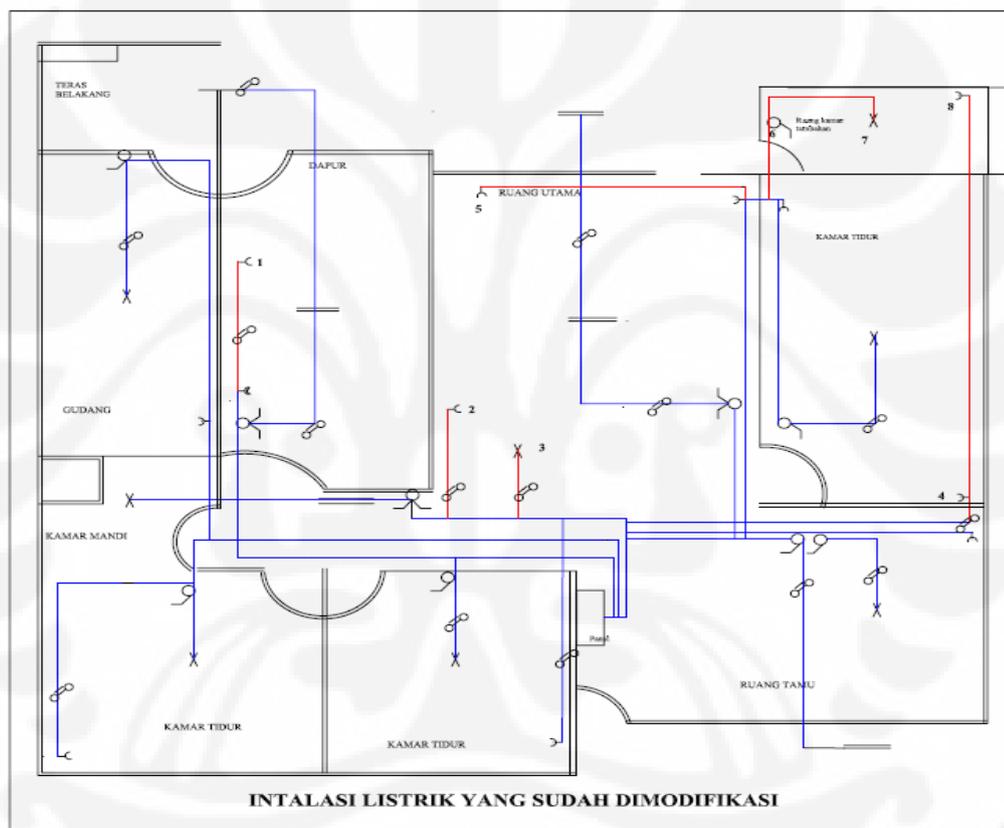
Jika arus yang mengalir pada penghantar tidak sesuai dengan kemampuan hantar dari penghantar misalnya karena beban pada saluran yang begitu besar tidak sebanding dengan kemampuan hantar dan kemampuan isolasi dari kabel tersebut akan menyebabkan kenaikan temperatur dan terjadi pemanasan berlebih. Jika isolasi dari kabel tidak mampu menahan panas dari penghantar dapat membuat kabel menjadi panas dan meleleh. Selain itu jenis penghantar yang tidak sesuai dengan beban yang ada dapat mempengaruhi umur dari kabel itu sendiri menjadi lebih pendek dari yang seharusnya.

#### IV.4.3 Modifikasi Instalasi Listrik

Hal yang kurang diperhatikan masyarakat pada instalasi listrik adalah pemasangan dan penyambungan. Pada gambar 4.21 instalasi yang sudah dimodifikasi dengan penambahan beban. Masyarakat sering menambahkan

beban dan penyambungan yang tidak benar tanpa memperhatikan kemampuan saluran serta akan terjadi penumpukan beban pada satu saluran saja. Misalnya pada titik 8 ditambahkan beban komputer, titik 2 televisi plasma, titik 1 kulkas 2 pintu dan beban – beban tambahan lainnya. Semua beban – beban tersebut dipasang satu saluran dengan beban lama.

Apabila beban yang ditambahkan sangat besar dan ke mudian disambungkan pada satu saluran yang sudah membebani banyak saluran beban. Kemampuan penghantar dari saluran tersebut akan melebihi kapasitasnya.



**Gambar 4.21 Instalasi listrik yang sudah dimofikasi**

Dengan arus yang besar dari masing-masing beban akan membuat kabel menjadi panas, ini akan semakin parah lagi apabila beban-beban tersebut dinyalakan dalam waktu yang sama. Sementara jarak antara saluran dengan MCB sangat jauh sehingga MCB belum mendeteksi adanya panas pada saluran. Untuk kondisi yang seharusnya

$$\text{kecepatan MCB} < \text{kecepatan } \Delta \text{Temperature}$$

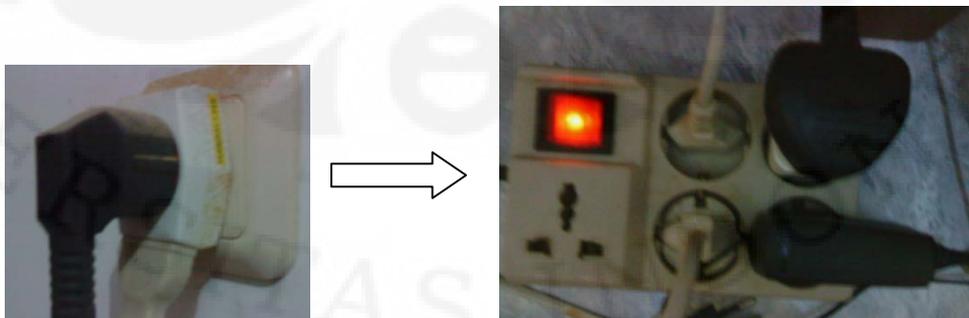
Saat sudah terjadi kenaikan temperature pada kabel saluran yang disebabkan oleh beban lebih MCB semestinya sudah harus trip untuk mengamankan saluran. Ini akan menyebabkan kabel meleleh dan merusak kabel. Apabila saluran yang berdekatan dengan saluran yang meleleh tadi mengalami hal sama penghantarnya juga meleleh dan mengalami kerusakan. Karena saluran yang bertumpuk-tumpuk di sebabkan pemasangan yang asal-asalan akan terjadi gesekan antara penghantar yang satu dengan yang lain saat dialiri listrik. Sehingga peristiwa hubung singkat pun terjadi dan menimbulkan percikan api disekitar penghantar tersebut.

#### IV.4.4 Pengoperasian Terhadap Peralatan Instalasi Listrik

Pada pembahasan analisis kali ini menyoroti perilaku pelanggan dalam menggunakan peralatan instalasi listrik di rumah mereka yaitu penggunaan stop kontak. Berikut beberapa perilaku masyarakat terhadap stop kontak.

##### 1. Penggunaan stop kontak dengan banyak sambungan beban

Pada instalasi rumah pemasangan stop kontak pada awal perancangan sangatlah sedikit. Sering berjalannya waktu penggunaan peralatan listrik meningkat, sehingga peralatan listrik tersebut membutuhkan *supply* dari jaringan dengan menggunakan stop kontak sebagai alat penghubung. Akibatnya terjadi penumpukan pada satu stop kontak saja, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.22 Stop Kontak dan Terminal Hubung dengan banyak sambungan beban

Biasanya penumpukan yang terjadi dari 2-4 kabel dari peralatan langsung atau disambung ke terminal hubung lainnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.22. Biasanya konsumen melakukan hal tersebut agar peralatan listrik lain yang tidak mendapat *supply* dari stop kontak secara langsung dapat memperoleh daya meski lebih dari satu peralatan yang dihubungkan dalam satu terminal hubung. Selain itu penggunaan terminal hubung digunakan juga untuk peralatan listrik yang jangkanya jauh dari stop kontak.

Apabila pemakaian beban yang terlalu banyak (bertumpuk) pada satu stop kontak saja dengan daya yang besar pada peralatan tersebut stop kontak akan menjadi panas. Hal tersebut tidak akan langsung membuat stop kontak menjadi meleleh tetapi dengan pemakaian terus menerus hal tersebut dapat terjadi. Stop kontak meleleh akan berpengaruh ke seluruh jaringan instalasi listrik yang ada.

Apabila stop kontak ditempatkan pada dinding yang bahannya mudah terbakar (kayu atau tripleks) leleh api dari bahan stop kontak akan langsung menyambar dinding dan terjadilah kebakaran.

Perlu diperhatikan juga bahwa penggunaan terminal hubung dengan beban lebih dapat menaikkan suhu dari terminal hubung tersebut. Pengujian yang telah dilakukan dengan menghubungkan beberapa tusuk kontak dari peralatan yang berbeda ke satu terminal hubung dengan bebannya terdiri dari televisi 17 inci, kipas angin, kompor listrik, setrika dan charger HP. Setrika dan charger HP digabungkan lagi menjadi satu dengan menggunakan stop kontak dengan 3 terminal.



**Gambar 4.23 Terminal hubung dengan beban bertumpuk**

Kelima peralatan tersebut di nyalakan dalam waktu yang bersamaan selama ± 2 jam dengan jumlah beban 1068 Watts sementara kapasitas maksimum dari terminal hubung adalah 1300 Watt. Setelah 2 jam berlangsung dilakukan pengukuran temperatur terhadap masing-masing terminal hubung dari tusuk kontakannya diperoleh data sebagai berikut :

No	Jenis Beban	Kapasitas Beban (Watt)	Temperatur (°C)
1.	Televisi 17"	300	49
2.	Setrika Listrik	300	44
3.	Kipas Angin	35	45
4.	Kompore Listrik	400	48
5.	Charger HP	33	42

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa suhu dari terminal hubung mengalami kenaikan karena pengaruh pembebanan yang berlebihan. Untuk beban dengan kapasitas lebih besar temperatur yang ditimbulkan ke terminal hubung juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan beban tersebut memerlukan arus yang lebih besar sesuai dengan kapasitasnya sehingga titik pada terminal hubung untuk beban tersebut akan mengalami pemanasan. Kenaikan arus menyebabkan panas pada konduktor titik terminal hubung yang ada.

## 2. Tusuk Kontak dari Peralatan yang Tidak Pas Ke Stop Kontak

Kita sering mengabaikan saat mencolok tusuk kontak dari peralatan ke stop kontak yang ada. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.24 tusuk kontak tidak tepat masuk ke stop kontak. Secara mekanis tusuk kontak yang disambungkan ke stop kontak dalam kondisi goyang.



**Gambar 4.24 Tusuk kontak yang tidak tepat pemasangannya**

Tusuk kontak tersebut terjadi peristiwa elektrostatik dimana interaksi antara dua benda bermuatan yang dimensi geometrinya dapat diabaikan terhadap jarak antar keduanya. Maka dalam pendekatan dapat dianggap bahwa kedua benda bermuatan tersebut sebagai titik muatan. Dimana sesuai dengan hukum Coulomb gaya listrik yang diperoleh adalah [5]

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \hat{r}_{12} \quad (4-7)$$

Dimana:  $F_{12}$  = Gaya listrik yang bekerja pada muatan yang berdekatan [N]

$q_1$  = Muatan pada titik 1 [C]

$q_2$  = Muatan pada titik 2 [C]

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12}$ ) [F/m]

$r_{12}$  = Jarak kedua muatan [m]

Muatan listrik yang diletakkan di dalam medan listrik mengalami gaya listrik. Besar gaya listrik yang ditimbulkan oleh muatan listrik di dalam medan berbeda-beda dari satu titik ke titik lain. Fungsi yang mendefinisikan medan vektor pada persamaan 4-7 disebut sebagai intensitas medan listrik atau kuat medan listrik. Intensitas medan listrik menjabarkan gaya yang dialami oleh sebuah muatan uji bernilai satu satuan muatan positif. Intensitas medan listrik dinyatakan dalam satuan volt per meter (V/m) yaitu : [5]

$$E = \frac{F_t}{Q_t} \quad (4-8)$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} a_R \quad (4-9)$$

Dimana:  $E$  = Intensitas medan listrik [V/m]

$Q$  = Muatan titik [C]

$a_R$  = Vektor yang searah dengan vektor  $R$  [m]

$R$  = Jarak dari muatan titik  $Q$  ke titik yang hendak dicari intensitas medan [m]

Intensitas medan listrik yang ditimbulkan banyak muatan, sehingga intensitas medan resultan  $\vec{E}$  dititik tersebut adalah [5]

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (4-10)$$

Antara titik yang satu dengan yang lainnya terdapat beda potensial yaitu : [5]

$$V = - \int_B^A E \cdot dL \quad (4-11)$$

Beda potensial yang ditimbulkan oleh kuat medan listrik inilah sangatlah besar. Beda potensial yang besar dapat menimbulkan percikan api kepada daerah sekitar stop kontak dan dapat membakar stop kontak.

Dari uraian analisis pengujian serta lapangan yang telah dilakukan, saat terjadi kenaikan temperatur pada peralatan/komponen instalasi listrik yang ada yang diakibatkan arus lebih yang terjadi. Pemanasan pada komponen instalasi listrik yang melebihi batas kemampuan suhu kerja maksimumnya dapat menyebabkan komponen tersebut meleleh atau terbakar. Seperti yang sudah dijelaskan pada analisis di atas masalahnya untuk kabel non standar saat terjadi kenaikan temperatur pada kabel tersebut yang melebihi batas suhu kerja maksimumnya dan mengakibatkan isolasi terbakar dan meleleh. Apabila lelehan tersebut menempel pada benda-benda yang mudah terbakar dalam arus dan waktu tertentu benda tersebut dapat terbakar.

**Tabel 3-1 Kondisi Material Terhadap Besarnya Perubahan Arus dan Waktu**

Berasap/Meleleh			Terbakar		
Arus (I)	Bahan Uji	Waktu (s)	Arus (I)	Bahan Uji	Waktu (s)
50 A	Karpet	1,55	70 A	Kertas	0,88
	Daun	2,11		Daun	0,91
	Kain	3,23		Kain	5,07
55 A	Karpet	1,24	85 A	Kertas	0,37
	Daun	1,55		Daun	0,37
	Kain	2,32		kayu	4,2
	Kayu	2,72		Kain	27,48
	Kertas	Dalam 1 detik berasap dan beberapa detik kemudian hangus			
75 A	Fibre	1,41			

Sumber : S kripsi “ Analisis Karakteristik Termal pada Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt.” Arifianto, DTE FTUI Desember 2008

Pada tabel kondisi material di atas dapat dilihat ketika kabel yang menempel pada karpet dialiri arus hingga 50 A, karpet tersebut sudah meleleh pada waktu 1,55 detik. Sementara saat arus yang mengalir 85 A kertas sudah terbakar dalam waktu 0,37 detik. Hal ini menunjukkan bahwa untuk perambatan panas pada bahan uji sampai mencapai titik bakarnya membutuhkan arus yang sangat besar dan suhu yang sangat tinggi meskipun beberapa bahan uji merupakan bahan yang mudah terbakar.

Dari penjelasan analisis di atas dapat ditentukan potensi listrik terhadap terjadinya kebakaran pada bangunan yaitu sebagai berikut :

<b>Potensi Terjadi Kebakaran</b>	<b>Non Potensi Terjadi Kebakaran</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arus lebih yang menyebabkan temperatur penghantar naik sampai dengan melebihi suhu kerja maksimum kelas isolasi.</li> <li>• Peralatan instalasi listrik yang tidak standar (MCB dan kabel)</li> <li>• Penyambungan yang tidak benar</li> <li>• Instalasi listrik yang sudah lama</li> <li>• Instalasi listrik yang asal-asalan               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemasangan MCB yang tidak sesuai.</li> <li>- Jenis penghantar pada saluran dan kelas isolasinya yang sangat berpengaruh terhadap kemampuan penghantar tersebut saat terjadi kenaikan temperatur.</li> <li>- Modifikasi tanpa memperhatikan kondisi saluran dan daya.</li> </ul> </li> <li>• Perilaku terhadap peralatan listrik               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penggunaan stop kontak dengan banyak sambungan beban.</li> <li>- Tusuk kontak yang tidak pas ke stop kontak.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemasangan beban sesuai dengan daya yang disediakan.</li> <li>• Penggunaan peralatan/komponen listrik yang sesuai dengan standar yang ada (PUIL 2000, SPLN)</li> <li>• Perancangan, pemasangan dan pengoperasian terhadap peralatan/komponen instalasi listrik baik dan benar.</li> </ul>

Potensial listrik tersebut di atas dapat menjadi pemicu timbulnya kebakaran pada bangunan, apabila sesuai dengan standar dan aturan yang ada kebakaran yang terjadi karena listrik dapat dikurangi.

## BAB V

### KESIMPULAN

1. Kebakaran dapat terjadi apabila peralatan proteksi (MCB) tidak bekerja sesuai dengan seharusnya. MCB 2A merk A, B dan C trip sesuai dengan aturan yang ada saat arus yang mengalir melebihi rating yaitu saat arus 1,05 In belum trip saat 1 jam saat arus 6 In waktu trip <0,2 detik. Sedangkan MCB 2A merk D dan E tidak bekerja sampai arus 2 KHA = 38 A, 3 KHA = 57 A dan 4 KHA = 76 A .
2. Kabel non standar dan kabel standar dengan kondisi lama (usia 18 tahun) berpotensi menyebabkan terjadinya kebakaran, karena lebih cepat panas saat arus dinaikkan melebihi KHA. Kabel non standar kondisi baru NYM 2 x 2,5 m<sup>2</sup> saat diinjeksi arus 3 x KHA isolasi kabel sudah meleleh dan kabel NYM 3 x 2,5 m<sup>2</sup> usia 18 tahun diinjeksi arus 4 x KHA isolasi kabel sudah meleleh sedangkan kabel standar kondisi baru hanya mengalami panas.
3. Terminal hubungan dengan kapasitas maksimum 1300 Watt di berikan beban bertumpuk-tumpuk dengan jumlah kapasitas bebannya 1068 Watt dalam waktu ±2 Jam temperatur kontak dari terminal hubungan bisa mencapai 42<sup>0</sup>C - 49<sup>0</sup>C tergantung dari besar bebannya.
4. Potensi listrik yang dapat menyebabkan kebakaran adalah pemasangan dan pengoperasian peralatan/komponen instalasi listrik yang tidak baik dan tidak benar dapat mengakibatkan pemanasan pada peralatan/komponen yang ada apabila melebihi kemampuan temperatur kerja maksimum (kelas bahan isolasi) dari bahan penyekat/isolasi yang ada.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Harten, P. Van, Setiawan, Ir.E. *Instalasi Listrik Arus Kuat I*. Bandung : Binacipta, 1980.
- [2] Badan Standarisasi Nasional (BSN). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), Standar Nasional Indonesia (SNI)* .Jakarta: Yayasan PUIL, 2000.
- [3] Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN). *Pemutus Tenaga Mini Untuk Pembatas Dan Pengaman Arus Lebih Untuk Instalasi Gedung Dan Rumah (SPLN 108:1993)*. Jakarta : PLN,1993
- [4] Ir. Karel Pijpaert. Asal Mula Terjadinya Kebakaran. *Elektro Indonesia*, Nomor 26, Tahun V, Juni 1999. < <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener26.html>>
- [5] William H. Hayt, John A. Buck. *Elektromagnetika*. Edisi ketujuh, Terjemahan : Irzam Harmein, S.T.. Jakarta : Erlangga, 2006
- [6] Endangsih, Tri. *Pengaruh Material Terhadap Bahaya Kebakaran Ditinjau Dari Design Bagunan dan Waktu Evakuasi*. 2006.
- [7] Miniature Circuit Breaker <<http://glassica.blogspot.com/2009/08/miniature-circuit-breaker.html>> Diakses tanggal : November 2009.
- [8] Farahatan, Nur. *Analisis Pengaruh Temperatur Ruang Terhadap Waktu Pemutusan Gawai Pemutus Tenaga Listrik*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007. hal 16, 19-22.
- [9] Faizal, Rukdas Iman. *Analisis Temperatur Kabel Terhadap Penekukan Dan Besar Arus*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2009. hal : 21-23.
- [10] Nugroho, Yulianto Sulisty. *Membangun, Kepedulian, Displin, dan Keunggulan dalam Bidang Teknik Keselamatan Kebakaran (Fire Safety Engineering)*. Pidato pada Upacara Pengukuhan Sebagai Guru Besar Tetap Bidang Ilmu Teknik Keselamatan Kebakaran. Depok : 2009.
- [11] Cermat Pilih Kabel, Hindari Kebakaran. ( <http://www.plnjateng.co.id/?p=303>) Diakses tanggal 8 Juni 2010
- [12] Ilmu Bahan Listik – Bahan Penyekat. (<http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/03/>.. ). Tanggal akses: 6 Juni 2010.

## DAFTAR PUSTAKA

Buletin Listrik Watch . Keselamatan Listrik. Edisi Juni 2003.

Suryatmo, F. Teknik Listrik Instalasi Penerangan. Jakarta: Rineka Cipta, 2004.

Farahatan, Nur. *Analisis Pengaruh Temperatur Ruang Terhadap Waktu Pemutusan Gawai Pemutus Tenaga Listrik*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007.

Hapiddin, Asep. Tata Cara Memasang Instalasi Listrik di Rumah (Jakarta : Griya Kreasi, 2009).

Fuse (electrical). <<http://www.wikipedia.com/fuse-electrical.html>>. Diakses tanggal: 10 Oktober 2009

Ir. Deni Almanda. Penyebab Terjadinya Kebakaran. Elektro Indonesia, Edisi ke 15, November 1998. <<http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener15b.html>> Diakses: tanggal 23 September 2009

Kasus Kebakaran Banyak Disebabkan (<http://bataviase.co.id/detailberita-10429393.html>) Diakses tanggal: 20 April 2010

## LAMPIRAN I

### TABEL PERCOBAAN KARATERISTIK MCB 2A

1) JENIS MCB : **MERLIN 2A**

JENIS KABEL : **NYM 3 x 1,55 mm<sup>2</sup> SNI, SPLN, LMK**

Arus nominal MCB (In) = 2 Ampere

No	Arus uji MCB (Ampere)	Kondisi MCB	Waktu Pemutusan (detik)
1.	1,05In	trip	> 1 Jam
2.	1,2In	trip	2500
3.	1,5In	trip	69,06
4.	1,75In	trip	24,37
5.	2In	trip	13,09
6.	2,5In	trip	9,15
7.	3In	trip	7,46
8.	4In	trip	1,19
9.	6In	trip	Trip sangat cepat (<0,2)

2) JENIS MCB : **SHUKAKU 2A**

JENIS KABEL : **NYM 3 x 1,55 mm<sup>2</sup> SNI, SPLN, LMK**

Arus nominal MCB (In) = 2 Ampere

No	Arus uji MCB (Ampere)	Kondisi MCB	Waktu Pemutusan (detik)
1.	1,05In	trip	> 1 Jam
2.	1,2In	trip	2000
3.	1,5In	trip	24,67
4.	1,75In	trip	16,8
5.	2In	trip	7,52
6.	2,5In	trip	2,67
7	3In	trip	1,73
8	4In	trip	1,3
9	6In	trip	Trip sangat cepat < 0,2

3) JENIS MCB : **MASHUKO 2A**

JENIS KABEL : **NYM 3 x 1,55 mm<sup>2</sup> SNI, SPLN, LMK**

Arus nominal MCB (In) = 2 Ampere

No	Arus uji MCB (Ampere)	Kondisi MCB	Waktu Pemutusan (detik)
1.	1,05In	Trip	>1Jam
2.	1,2In	Trip	2030
3.	1,5In	Trip	134,83

No	Arus uji MCB (Ampere)	Kondisi MCB	Waktu Pemutusan (detik)
4.	1,75In	Trip	31,16
5.	2In	Trip	24,08
6.	2,5In	Trip	7,35
7.	3In	Trip	4,27
8.	4In	Trip	3,95
9.	6In	Trip	Trip sangat cepat <0,2

4) JENIS MCB : **NEWLESS 2A**

JENIS KABEL : **NYM 3 x 1,55 mm<sup>2</sup> SNI, SPLN, LMK**

Arus nominal MCB (In) = 2 Ampere

No	Arus uji MCB (Ampere)	Kondisi MCB
1.	1,05In	Belum trip
2.	1,2In	Belum trip
3.	1,5In	Belum trip
4.	1,75In	Belum trip
5.	2In	Belum trip
6.	2,5In	Belum trip
7.	3In	Belum trip
8.	4In	Belum trip
9.	6In	Belum trip

Saat diinjeksi arus 2 KHA, 3 KHA dan 4 KHA MCB belum trip juga

5) JENIS MCB : **MENTARI 2A**

JENIS KABEL : **NYM 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> SNI, SPLN, LMK**

Arus nominal MCB (In) = 2 Ampere

No	Arus uji MCB (Ampere)	Kondisi MCB
1.	1In	Belum trip
2.	1,2In	Belum trip
3.	1,5In	Belum trip
4.	1,75In	Belum trip
5.	2In	Belum trip
6.	2,5In	Belum trip
7.	3In	Belum trip
8.	4In	Belum trip
9.	6In	Belum trip

Saat diinjeksi arus 2 KHA, 3 KHA dan 4 KHA MCB belum trip juga

## LAMPIRAN II

### TABEL PENGUJIAN TEMPERATUR DAN KONDISI KABEL

#### A. KABEL STANDAR DAN NON STANDAR

##### 1) Kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> STANDAR

t (detik)	I = 2 x KHA		I = 3 x KHA		I = 4 x KHA	
	T kabel ( <sup>0</sup> C)	Kondisi Kabel	T kabel ( <sup>0</sup> C)	Kondisi Kabel	T kabel ( <sup>0</sup> C)	Kondisi Kabel
50	32	Dingin	33	Dingin	54,6	Dingin
100	34,6	Dingin	41	Dingin	58,4	Mulai Panas
200	38	Dingin	46	Dingin	60,4	Panas
300	41,2	Dingin	49	Dingin	61,4	Panas
400	42,4	Dingin	52	Dingin	62,2	Panas
500	42,8	Dingin	55	Dingin	63	Panas
600	43	Dingin	56	Dingin	63,2	Panas
700	43,2	Dingin	57	Dingin	63,8	Panas
800	43,2	Dingin	57	Dingin	64,4	Panas
900	43,6	Dingin	58	Dingin	65	Panas
1000	43,6	Dingin	58	Dingin	65,2	Panas
1100	44	Dingin	60	Mulai Panas	65,8	Panas
1200	44,2	Dingin	62	Panas	66	Panas
1300	44,4	Dingin	62	Panas	66,4	Panas
1400	44,4	Dingin	62	Panas	70	Panas
1500	44,6	Dingin	62,1	Panas	72	Panas

##### 2) Kabel NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> NON STANDAR

t (detik)	I = 2 x KHA	
	T kabel ( <sup>0</sup> C)	Kondisi Kabel
50	66	Panas
100	82	Panas
200	96	Panas
300	102	Panas
400	103,2	Panas
500	104,4	Panas
600	105,2	Panas
700	108	Panas

t (detik)	T kabel (°C)	Kondisi Kabel
800	110	Berasap
900	110,8	Berasap
1000	111,4	Berasap
1100	116	Berasap
1200	112	Berasap
1300	112	Berasap
1400	112,4	Berasap
1500	112,8	Berasap

Pada Arus 3 x KHA kabel sudah langsung meleleh sebelum detik ke 50 dengan suhu mencapai 140°C

## B. KABEL STANDAR KONDISI BARU DAN LAMA (18 TAHUN)

### 1) NYM NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> KONDISI BARU

t (detik)	I = 2 x KHA		I = 3 x KHA		I = 4 x KHA	
	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel
50	32	Dingin	33	Dingin	54,6	Dingin
100	34,6	Dingin	41	Dingin	58,4	Mulai Panas
200	38	Dingin	46	Dingin	60,4	Panas
300	41,2	Dingin	49	Dingin	61,4	Panas
400	42,4	Dingin	52	Dingin	62,2	Panas
500	42,8	Dingin	55	Dingin	63	Panas
600	43	Dingin	56	Dingin	63,2	Panas
700	43,2	Dingin	57	Dingin	63,8	Panas
800	43,2	Dingin	57	Dingin	64,4	Panas
900	43,6	Dingin	58	Dingin	65	Panas
1000	43,6	Dingin	58	Dingin	65,2	Panas
1100	44	Dingin	60	Mulai Panas	65,8	Panas
1200	44,2	Dingin	62	Panas	66	Panas
1300	44,4	Dingin	62	Panas	66,4	Panas
1400	44,4	Dingin	62	Panas	70	Panas
1500	44,6	Dingin	62,1	Panas	72	Panas

### 2) NYM NYM 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> LAMA

t (detik)	I = 2 x KHA		I = 3 x KHA		I = 4 x KHA	
	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel
50	38	Dingin	34	Dingin	76,2	Panas
100	42,4	Dingin	50	Dingin	102	Panas
200	44	Dingin	60,8	Mulai Panas	107	Panas

t (detik)	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel
300	50,6	Dingin	66	Panas	112	Berasap
400	51,2	Dingin	70,4	Panas	117	Berasap
500	52,2	Dingin	71,6	Panas	118	Berasap
600	52,4	Dingin	72	Panas	120	Berasap
700	53,6	Dingin	72,2	Panas	120,4	Berasap
800	53,6	Dingin	72,8	Panas	121	Berasap
900	53,6	Dingin	73,1	Panas	123	Berasap
1000	53,8	Dingin	73,4	Panas	123,4	Berasap
1100	54	Dingin	73,8	Panas	123,4	Berasap
1200	54	Dingin	74,2	Panas	124,2	Berasap
1300	54,2	Dingin	74,6	Panas	124,8	Berasap
1400	54,4	Dingin	75	Panas	125	Berasap
1500	54,6	Dingin	75,4	Panas	125,4	Berasap

### 3) NYM 3 x 2,5 mm<sup>2</sup> KONDISI BARU

t (detik)	I = 2 x KHA		I = 3 x KHA		I = 4 x KHA	
	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel	T kabel (°C)	Kondisi Kabel
50	32,8	Dingin	40,2	Dingin	45,6	Dingin
100	37,8	Dingin	43,4	Dingin	52,4	Dingin
200	38,4	Dingin	49,2	Dingin	59,2	Mulai Panas
300	39,2	Dingin	50,4	Dingin	63,4	Panas
400	40,2	Dingin	51,6	Dingin	64,6	Panas
500	40,4	Dingin	52,8	Dingin	66	Panas
600	40,4	Dingin	53,2	Dingin	66,6	Panas
700	40,8	Dingin	53,4	Dingin	67,2	Panas
800	41,2	Dingin	53,6	Dingin	68,2	Panas
900	41,2	Dingin	53,6	Dingin	68,4	Panas
1000	41,4	Dingin	53,6	Dingin	68,8	Panas
1100	41,4	Dingin	54	Dingin	69	Panas
1200	41,8	Dingin	54	Dingin	70,2	Panas
1300	41,8	Dingin	54,2	Dingin	71	Panas
1400	42	Dingin	54,4	Dingin	71,4	Panas
1500	42,4	Dingin	55	Dingin	72	Panas

#### 4) Kabel NYM 3 x 2,5 mm<sup>2</sup> LAMA

t (sekon)	I = 2 x KHA		I = 3 x KHA		I = 4 x KHA	
	T kabel (°C)	kondisi Kabel	T kabel (°C)	kondisi Kabel	T kabel (°C)	kondisi Kabel
50	35	Dingin	45	Dingin	62	Panas
100	38	Dingin	54,2	Dingin	100	Berasap
200	46	Dingin	72	Panas	106	Berasap
300	47,6	Dingin	76	Panas	120	Berasap
400	49,6	Dingin	78	Panas	130	Meleleh
500	50,2	Dingin	84,2	Panas	145	Meleleh
600	50,2	Dingin	84,8	Panas		
700	51	Dingin	85	Panas		
800	52	Dingin	85,2	Panas		
900	52	Dingin	85,6	Panas		
1000	52,1	Dingin	87	Panas		
1100	52,1	Dingin	87	Panas		
1200	52,1	Dingin	88	Panas		
1300	52,1	Dingin	88,2	Panas		
1400	52,1	Dingin	89	Panas		
1500	52,1	Dingin	89,2	Panas		