



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KARAKTERISTIK TERMAL DAN RESISTANSI
KONDUKTOR PADA KABEL INTI GANDA NYM 2 X 1.5 mm²**

SKRIPSI

**Rafael Falcon
04 04 03 069 5**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KARAKTERISTIK TERMAL DAN RESISTANSI
KONDUKTOR PADA KABEL INTI GANDA NYM 2 X 1.5 mm²**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik

Rafael Falcon

04 04 03 069 5

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

DESEMBER 2008

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Rafael Falcon

NPM : 0404030695

Tanda Tangan :

Tanggal : 18 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rafael Falcon
NPM : 04 04 03 069 5
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Karakteristik Termal Dan Resistansi
Konduktor Pada Kabel Inti Ganda NYM 2 x 1,5
mm²

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Rudy Setiabudy ()

Penguji : Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT ()

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

Ditetapkan di : Kampus UI Depok

Tanggal : 18 Desember 2008

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang merupakan salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia, tempat saya menuntut ilmu sejak tahun 2004. Saya sangat menyadari bahwa, tanpa bantuan dari berbagai pihak, sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu beliau untuk memberikan arahan, bimbingan dan diskusi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Ibu, Bapak dan Adik tercinta yang telah memberikan motivasi dan dukungan.
3. Rekan-rekan mahasiswa Departemen Teknik Elektro FTUI yang telah memberikan bantuan dalam penulisan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya dalam penyusunan skripsi ini. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pembacanya.

Depok, 10 Desember 2008

Penulis

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

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

Nama : Rafael Falcon
NPM : 04 04 03 069 5
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Analisis Karakteristik Termal Dan Resistansi Konduktor Pada Kabel Inti
Ganda NYM 2 x 1,5 mm²**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan 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 Desember 2008
Yang menyatakan

(Rafael Falcon)

ABSTRAK

Nama : Rafael Falcon
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis karakteristik termal dan resistansi konduktor pada kabel inti ganda NYM 2 x 1,5 mm²

Pada suatu kabel, faktor termal atau panas merupakan suatu hal yang harus diperhatikan. Dimana kapasitas arus suatu kabel sangat dipengaruhi oleh karakteristik termal dari bahan-bahan penyusunnya khususnya bahan konduktor dari kabel tersebut. Rugi-rugi panas akibat arus yang besar akan dilepaskan pada bahan penyusun kabel tersebut. Pemanasan yang sangat tinggi, melebihi ketahanan bahan kabel tidak hanya mengakibatkan kegagalan isolasi saja, namun dapat mengakibatkan putusnya bahan konduktor pada kabel.

Pengujian karakteristik termal dan resistansi konduktor pada kabel NYM 2 x 1.5mm² ini dilakukan dengan memberikan arus yang sangat besar, jauh melebihi arus maksimalnya. Pengujian dilakukan dengan level arus yang berbeda sampai dengan putusnya bahan konduktor pada kabel.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa pemberian arus listrik pada kabel mengakibatkan kenaikan temperatur pada kabel. Kabel dapat mencapai suhu yang sangat tinggi karena arus listrik yang melewati kabel jauh lebih besar dari kemampuan kabelnya. Kemudian terjadi kegagalan isolasi kabel hingga mencapai titik bakar. Jika hal tersebut terjadi terlalu lama maka panasnya akan sangat tinggi, kemudian dengan adanya udara yang mengandung oksigen dan ditambah lagi dengan adanya benda kering yang mudah terbakar maka dapat menyebabkan timbulnya api. Api yang tidak bisa dikendalikan dapat menyebabkan kebakaran.

Kata kunci: Karakteristik termal, konduktor, kabel

ABSTRACT

Name : Rafael Falcon
Study Program : Electrical Engineering
Title : The Analysis of Thermal Characteristics and Conductor Resistance on The Dual Core NYM Cable 2 x 1,5 mm²

In a cable, thermal factor is a matter that must be considered. Where the current capacitance of a cable is affected by the thermal characteristics of materials, especially basic conductor materials of the cable. Heat-loss or joulean loss due to the high current will be dissipated in the material of the cable. Overheating, exceeding the resilience of the cable not only lead to failure of the insulation, but can lead to the rupture of the conductor.

The Testing of thermal characteristics and conductor resistance on the cable NYM 2 x 1.5mm² is done by providing a high current, far exceed the maximum current rating for the cable. The tests conducted with a different current levels until reach the limit of the conductor.

Based on the testing, found that the current of electrical cable could increase the temperature in the cable. Cable can reach very high temperatures because the electric current passing through the cable far more than the ability of the cord. Then the cable insulation failure could reach a burning point. If it happened too long, the heat will be very high, with the air which is containing oxygen, and by the objects which is combustible dry, can make the onset of fire. Fire that can not be controlled could be a fire disaster.

Key words: Thermal characteristic, conductor, cable

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
2 KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI DAN PROTEKSIYA.....	3
2.1. Dasar-dasar Mekanisme Perpindahan Panas.....	3
2.1.1 Konduksi	3
2.1.2 Konveksi.....	5
2.1.3 Radiasi.....	5
2.2 Tembaga Sebagai Konduktor	6
2.3 Karakteristik Termal	7
2.3.1 Kapasitas Kalor (<i>Heat Capacity</i>).....	7
2.3.2 Muai Panas (<i>Thermal Expansion</i>).....	8
2.3.3 Daya Hantar Panas (<i>Thermal Conductivity</i>).....	8
2.4 Kerja Panas Pada Kabel	9
2.4.1 Temperatur dan Aliran Panas Pada Kabel.....	9
2.5 Api Karena Listrik.....	10
2.5.1 Penyebab Utama Api Karena Listrik	11
2.6 Konstruksi Dan Material Kabel	12
2.6.1 Kriteria Umum Kabel.....	12
2.6.2 Konstruksi Dan Material Kabel NYM	12
2.6.2.1 Bagian Utama	12
2.6.2.2 Bagian Pelengkap	14
3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Peralatan Dan Rangkaian Pengujian	15
3.1.1 Peralatan Pengujian.....	15
3.1.2 Rangkaian Pengujian	16
3.2 Prosedur Pengujian	18

4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Data Hasil Pengujian Kenaikan Temperatur Kabel	20
4.1.1 Data Pengujian Kenaikan Temperatur Terhadap Waktu	20
4.1.2 Data Pengujian Perubahan Fisik Konduktor Terhadap Perubahan Temperatur, Arus, dan Waktu.....	31
4.1.3 Data Pengujian Perubahan Kondisi Material Terhadap Perubahan Temperatur Dan Arus Kabel.....	34
4.2 Analisa Perbandingan Temperatur Konduktor Pada Kuat Hantar Arus Maksimum Dengan Batas Resistansi Konduktor Berdasarkan Kenaikan Temperatur Terhadap Waktu	36
4.3 Analisa Perbandingan Temperatur Dan Perubahan Fisik Pada Kawat	39
4.3.1 Perubahan Warna Kawat Penghantar	39
4.3.2 Putusnya Kawat Penghantar.....	40
4.4 Analisa Perubahan Fisik Pada Material	40
4.4.1 Perubahan Kondisi Kayu Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.....	41
4.4.2 Perubahan Kondisi Kertas Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.....	42
4.4.3 Perubahan Kondisi Daun Kering Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel	44
4.4.4 Perubahan Kondisi Fiber Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.....	46
4.4.5 Perubahan Kondisi Karpet Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel	47
4.4.6 Perubahan Kondisi Kain Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.....	49
4.5 Analisa Perbandingan Arus Dengan Temperatur Setimbang.....	51
5 KESIMPULAN	56
DAFTAR REFERENSI	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aliran panas pada saat terjadi konduksi	5
Gambar 2.2	Kabel Instalasi NYM.....	12
Gambar 2.3	Konstruksi Kabel Inti Ganda NYM.....	13
Gambar 3.1	Contoh Material Uji.....	16
Gambar 3.2	Sumber Arus Phenix Technologies	16
Gambar 3.3	Rangkaian Pengujian Resistansi Konduktor	17
Gambar 3.4	Foto Rangkaian Pengujian.....	17
Gambar 3.5	Foto Rangkaian Pengujian.....	17
Gambar 4.1	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 1A	21
Gambar 4.2	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 5A	21
Gambar 4.3	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 10A	22
Gambar 4.4	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 15A	23
Gambar 4.5	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 19A	23
Gambar 4.6	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 20A	24
Gambar 4.7	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 25A	25
Gambar 4.8	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 35A	25

Gambar 4.9	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 45A	26
Gambar 4.10	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 50A	27
Gambar 4.11	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 60A	27
Gambar 4.12	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 70A	28
Gambar 4.13	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 75A	29
Gambar 4.14	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 90A	29
Gambar 4.15	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 95A	30
Gambar 4.16	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 100A	31
Gambar 4.17	Grafik Perubahan Fisik Kawat Penghantar	33
Gambar 4.18	Grafik Perubahan Fisik Kawat Penghantar	33
Gambar 4.19	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 19A & 100A	38
Gambar 4.20	Kayu pada 45A (194°C) dan 50A (252°C)	41
Gambar 4.21	Kayu pada 55A (274°C) dan 70A (407°C)	41
Gambar 4.22	Kayu pada 75A (481°C) dan 85A (545°C)	41
Gambar 4.23	Kertas pada 45A,50A (Kiri) dan 55A (Kanan)	42
Gambar 4.24	Kertas pada 70A (407°C)	43

Gambar 4.25	Kertas pada 75A (481°C)	43
Gambar 4.26	Kertas pada 85A (545°C)	43
Gambar 4.27	Daun Kering pada 45A (194°C) dan 50A (252°C)	44
Gambar 4.28	Daun Kering pada 55A (274°C) dan 70A (407°C)	45
Gambar 4.29	Daun Kering pada 75A (481°C) dan 85A (545°C)	45
Gambar 4.30	Fiber pada 45A,50A (Kiri) dan 55A (Kanan)	46
Gambar 4.31	Fiber pada 70A (407°C) dan 75A (481°C).....	46
Gambar 4.32	Fiber pada 85A (545°C)	46
Gambar 4.33	Karpet pada 45A (194°C) dan 50A (252°C)	47
Gambar 4.34	Karpet pada 55A (274°C) dan 70A (407°C)	47
Gambar 4.35	Karpet pada 70A (407°C) dan 75A (481°C)	48
Gambar 4.36	Karpet pada 85A (545°C).....	48
Gambar 4.37	Kain pada 55A,50A (Kanan) dan 45A (Kiri).....	49
Gambar 4.38	Kain pada 70A (407°C) dan pada 75A (481°C).....	49
Gambar 4.49	Kain pada 85A (545°C).....	49
Gambar 4.40	Kain pada 85A (545°C).....	49
Gambar 4.41	Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ²	53

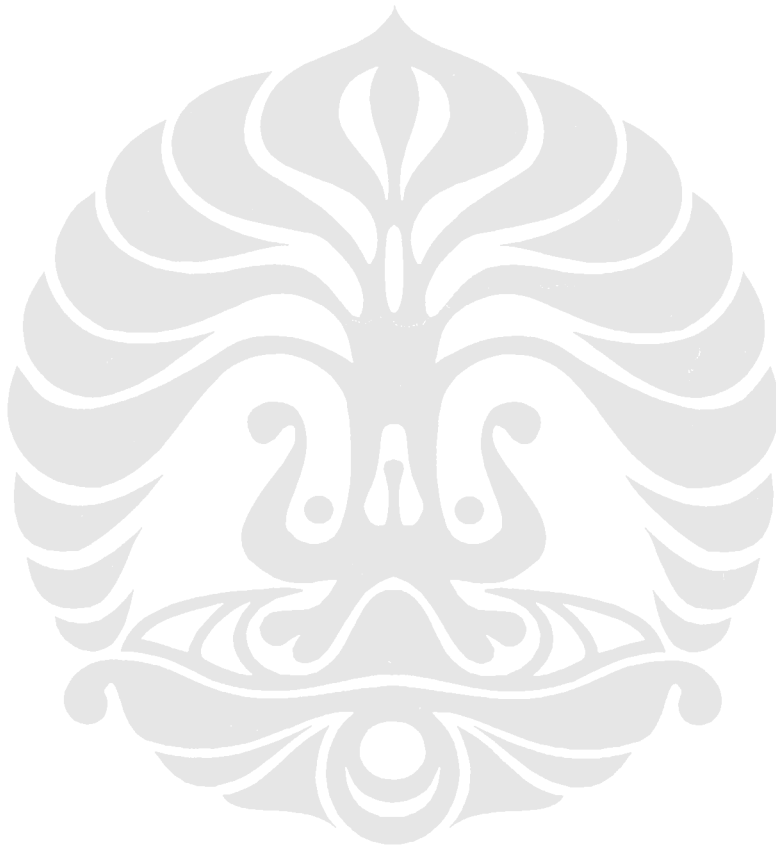
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 1A	20
Tabel 4.2	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 5A	21
Tabel 4.3	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 10A	22
Tabel 4.4	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 15A	22
Tabel 4.5	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 19A	23
Tabel 4.6	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 20A	24
Tabel 4.7	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 25A	24
Tabel 4.8	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 35A	25
Tabel 4.9	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 45A	26
Tabel 4.10	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 50A	26
Tabel 4.11	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 60A	27
Tabel 4.12	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 70A	28

Tabel 4.13	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 75A	28
Tabel 4.14	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 90A	29
Tabel 4.15	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 95A	30
Tabel 4.16	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ² Dialiri Arus 100A	30
Tabel 4.17	Tabel Perubahan Fisik Kawat Penghantar.....	31
Tabel 4.18	Tabel Perubahan Fisik Material Terhadap Perubahan Temperatur Dan Arus Kabel.....	34
Tabel 4.19	Tabel Perubahan Fisik Material Terhadap Perubahan waktu.....	36
Tabel 4.20	Tabel Perbandingan Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Dialiri Arus 19A dan 100A	37
Tabel 4.21	Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm ²	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Dan Grafik Kenaikan Temperatur Kabel	59
Lampiran 2	Data Pengujian.....	76



BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Kasus kebakaran yang disebabkan oleh listrik seringkali terjadi. Hal ini dapat disebabkan oleh perlengkapan listrik yang digunakan tidak sesuai dengan prosedur yang benar dan standar yang ditetapkan, rendahnya kualitas peralatan listrik dan kabel yang digunakan, serta instalasi yang asal-asalan dan tidak sesuai peraturan. Kebakaran sebagian besar terjadi pada perumahan dan tempat usaha. Kebakaran dapat terjadi jika terdapat tiga unsur yaitu bahan yang mudah menyala dan terbakar serta adanya suhu cetusan api (biasanya 200° - 500°), adanya energi menyala menghasilkan suatu sumber panas dengan daya yang cukup dan lama pengaruhnya, serta gas oksigen dalam jumlah yang cukup. Untuk itu dalam instalasi listrik, kabel memegang peranan yang sangat penting. dan dalam pemilihan kabel yang digunakan perlu diperhatikan bahan materialnya, kapasitas arus, serta daya tahan termal yang tentunya berhubungan erat dengan pengaruh rugi-rugi dalam kabel.

Pada prinsipnya semua penghantar memiliki sifat menghantarkan baik itu listrik maupun energi panas. Permasalahan yang lebih khusus dibahas adalah membahas pengaruh besarnya arus dalam suatu konduktor dalam hubungannya dengan temperatur dan resistansi bahan konduktornya. Pengujian ini memerlukan kondisi tertentu. Kondisi yang dimaksud adalah pengaruh suhu lingkungan, hambatan konduktor, serta lamanya arus yang dialirkan pada konduktor. Kapasitas arus yang dibolehkan pada suatu kabel sangat dipengaruhi oleh karakteristik termal dari bahan-bahan penyusun kabel tersebut. Pemanasan yang berlebih dapat mengakibatkan kegagalan isolasi bahkan dapat mengakibatkan putusnya konduktor dalam kabel.

Jenis kabel yang seringkali digunakan dalam jaringan instalasi listrik rumah tangga dan perkantoran adalah kabel NYM. Kabel ini biasanya dipasang pada dinding, kayu, bahkan di ruangan lembab dan basah. Kabel ini memiliki dua jenis konstruksi penghantaran yaitu inti tunggal dan inti serabut. Tulisan ini akan membahas karakteristik termal dan resistansi konduktor dari kabel ini.

I.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui karakteristik termal, resistansi konduktor dan pengaruh pemanasan dari kabel inti ganda NYM 2 x 1.5 mm² apabila dibebani dengan arus yang sangat besar.

I.3 BATASAN MASALAH

Untuk memudahkan perumusan dan penyelesaian masalah yang dibahas di dalam skripsi ini, maka dilakukan pembatasan masalah. Batasan masalah pada skripsi ini adalah pengujian karakteristik termal dan resistansi konduktor pada kabel NYM 2 x 1.5mm² yang dilakukan dengan memberikan arus listrik AC dengan besar yang bervariasi pada potongan kabel yang diletakan di udara. Resistansi konduktor yang dimaksud adalah daya tahan konduktor sampai mencapai titik putusnya terhadap perubahan arus dan suhu. Karakteristik yang diperhatikan adalah temperatur pada konduktor ketika diberi arus dari kondisi transien sampai mencapai keadaan setimbang (*steady-state*). Pada pengujian data yang diukur adalah temperatur pada kawat penghantarnya, dan daya tahan kawat sampai kawat penghantar terputus. Pengamatan juga dilakukan atas pengaruh pemanasan konduktor terhadap beberapa material uji.

I.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab 1 berisi latar belakang, tujuan penulisan skripsi, batasan masalah, dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran umum mengenai penulisan skripsi ini. Bab 2 membahas dasar teori mengenai tembaga, konduktansi, serta konstruksi dan material kabel NYM. Bab 3 berisi metodologi percobaan yang akan membahas apa yang akan dilakukan dalam penelitian seperti prosedur pengujian, alat-alat yang akan digunakan, dan rangkaian pengujian. Bab 4 merupakan pembahasan dan analisa mengenai besarnya arus dengan resistansi konduktor kabel dan temperaturnya. Bab 5 berisi kesimpulan dari penulisan skripsi ini.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Dasar–Dasar Mekanisme Perpindahan Energi Panas

Pada dasarnya terdapat tiga macam proses perpindahan energi panas. Proses tersebut adalah perpindahan energi secara konduksi, konveksi, dan radiasi [4]. Perpindahan energi secara konduksi dan konveksi terjadi pada material padat dan cair. Sedangkan proses perpindahan energi panas secara radiasi terjadi pada ruang hampa. Berikut pembahasan lebih lanjut mengenai ketiga perpindahan energi panas tersebut.

2.1.1 Konduksi

Perpindahan energi panas secara konduksi merupakan perpindahan energi panas yang disalurkan secara langsung antar molekul tanpa adanya perpindahan dari molekul yang bersangkutan. Proses konduksi terjadi pada benda padat, cair maupun gas jika terjadi kontak secara langsung dari ketiga macam benda tersebut. Ada empat hal penting dalam konduksi yaitu: 1. konduktivitas panas, 2. konduktansi panas, 3. resistivitas panas, dan 4. resistansi panas.

Konduktivitas panas (k) merupakan perhitungan kapasitas hantar panas suatu material atau disebut dengan indeks hantar panas per unit luas konduksi per gradient temperatur dari suatu material. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{\dot{Q}}{A \Delta T/m} \left[\frac{W}{m^2 \cdot \Delta_1 \text{ } ^\circ C/m} \right] \quad (2.1)$$

keterangan : \dot{Q} = kecepatan aliran panas [W]

A = luas daerah hantaran panas [m^2]

$\Delta T/m$ = gradient temperatur disepanjang material

[$\Delta_1 \text{ } ^\circ C/m$]

Konduktansi panas (K) merupakan perhitungan kapasitas dari perpindahan panas materi dalam menghantarkan panas. Perumusannya adalah:

$$K = \frac{\dot{Q}}{A \Delta T} \left[\frac{W}{m^2 \Delta_1 ^\circ C} \right] \quad (2.2)$$

Keterangan : \dot{Q} = kecepatan aliran panas [W]

A = luas daerah hantaran panas [m^2]

ΔT = selisih temperatur [$\Delta_1 ^\circ C$]

Konduktansi panas \underline{K} untuk proses konduksi adalah sebagai berikut:

$$K = A\underline{K} = \frac{\dot{Q}}{\Delta T} \left[\frac{W}{\Delta_1 ^\circ C} \right] \quad (2.3)$$

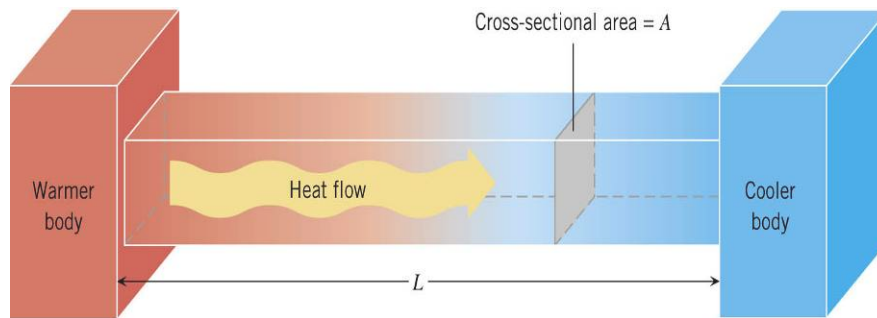
Sedangkan untuk resistivitas panas (r) dan resistansi panas (R) masing – masing merupakan kebalikan dari konduktivitas panas dan konduktansi panas yaitu dirumuskan sebagaimana seperti dibawah ini :

$$R = A(1/K) \left[\frac{m^2 \Delta_1 ^\circ C}{W} \right] \quad (2.4)$$

$$\underline{R} = 1/\underline{K} = 1/AK = R/A \left[\frac{\Delta_1 ^\circ C}{W} \right] \quad (2.5)$$

Konduktivitas panas merupakan properti dari suatu material yang menentukan kemampuan suatu benda menghantarkan panas. Materi yang memiliki konduktivitas panas rendah dapat disebut dengan isolator yang baik. Setiap materi memiliki lebar batasan dari konduktivitas panas.

Konsep dasar konduktivitas panas adalah kecepatan dari proses difusi energi kinetik molekular pada suatu material yang menghantarkan panas. Walaupun mekanisme perambatan gerakan secara molekular pada perambatan panas hampir sama dengan perambatan dari suara dan sifat elektik dari material itu, tetapi hanya ada sebagian dari hubungan secara teoritis yang bisa dicapai.



Gambar 2.1 Aliran panas pada saat terjadi konduksi

2.1.2 Konveksi

Perpindahan energi panas dengan proses konveksi terjadi hanya pada benda cair. Perpindahan ini disertai dengan perpindahan benda cair secara fisik.. Pada saat energi panas yang diterima oleh benda cair tersebut melebihi titik batas maka benda cair itu akan mengalami perubahan fasa.

2.1.3 Radiasi

Perpindahan panas dengan proses radiasi ini berbeda dengan proses- proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Energi radiasi dirambatkan menggunakan gelombang elektromagnetik diantara dua objek yang dipisahkan oleh jarak dan perbedaan temperatur dan tanpa medium penghantar. Hal ini sangat berbeda dengan perambatan energi cahaya yang hanya menggunakan panjang gelombang masing – masing. Gelombang elektromagnetik ini (radiant energi) dapat melalui ruangan hampa dengan sangat cepat dan juga dapat melalui cair, gas dan beberapa benda padat. Energi yang dirambatkan (radiant energi) ini diserap oleh permukaan benda yang dikenainya dengan jumlah yang berbeda – beda. Hal ini tergantung pada kemampuan menyerap dari benda yang dikenainya. Matahari merupakan contoh yang mudah untuk perpindahan panas dengan radiasi. Radiant energi dari matahari dirambatkan melalui ruang hampa dan atmosfer bumi. Energi yang dirambatkan ini akan diserap dan tergantung pada karakteristik permukaan. Semua objek yang memiliki warna yang gelap terutama berwarna hitam akan lebih mudah menyerap energi ini.

Konsep *blackbody* (benda gelap) dan emisivitas sangat erat dengan radiant energi emisi suatu benda. Daya serap (*absorptivity*), daya pantul (*reflectivity*), dan *transmissivity* juga berhubungan dengan radiant energi, yang datang dari sumber

lainnya. Sebuah benda gelap memiliki radiasi yang ideal dalam karakteristik hantaran panas yaitu :

- memiliki radiasi energi maksimum pada temperatur benda.
- menyerap semua energi radiasi yang mengenainya pada panjang gelombang tertentu.

2.2 Tembaga Sebagai Konduktor

Pada saat ini terdapat dua jenis material yang banyak digunakan untuk keperluan konduktor, yaitu tembaga dan aluminium. Tembaga memiliki kemampuan hantar arus yang tinggi, sehingga tembaga lebih efisien dibandingkan dengan penghantar listrik yang lain. Karena konduktivitasnya yang baik, tembaga tempa merupakan standar internasional untuk pembandingan bagi penghantar listrik lain. Pada tahun 1913, berdasarkan pengukuran konduktivitas tembaga pada semua tingkatan dan kemurnian tembaga serta campurannya diukur, maka IEC menetapkan bahwa konduktivitas tembaga tempa adalah 100 % (International Annealed Copper Standard (IACS)) [6]. Hal ini menyatakan bahwa tembaga memiliki kemampuan hantar arus yang terbaik sebagai konduktor. Sekarang, penghantar tembaga yang digunakan pada instalasi gedung mempunyai rating konduktivitas berdasarkan skala IACS.

Tembaga tahan terhadap pemuluran dan lainnya. Tembaga memiliki kekuatan yang lebih baik, dibandingkan dengan penghantar aluminium. Pemuluran yang terjadi dapat menyebabkan kapasitas hantar arusnya berkurang, memboroskan energi, dan menimbulkan panas berlebih. Tembaga juga memiliki kemampuan untuk menahan panas dan tekanan elektromagnetis akibat pembebanan yang berlebih, hal ini menjadi pertimbangan tersendiri dari segi keamanan dalam instalasi listrik.

Perubahan bentuk atau deformasi pada penghantar terjadi dikarenakan tekanan terhadap penghantar yang tidak seimbang. Hal ini mampu menimbulkan busur api, dan *overheating*, namun dapat diatasi oleh tingkat kekerasan dan kekuatan tembaga yang baik.

Titik cair dan daya hantar listrik yang tinggi mampu mengurangi kemungkinan kerusakan yang disebabkan oleh pemanasan titik (*hot spot*) atau lompatan api (*flash over*) yang tiba-tiba pada saat pengoperasiannya. Apabila terjadi

pemanasan yang sangat tinggi maka tembaga akan diuapkan, oleh karena itu tembaga dapat menahan pembakaran apabila terjadi penyalaan api yang tiba-tiba.

Resistivitas listrik tembaga, sebagaimana yang terjadi pada semua logam murni lainnya, akan berubah menurut temperatur. Perubahan resistansi dapat dihitung dengan:

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha_{11} (t_2 - t_1)]$$

di mana α_{11} adalah konstanta koefisien temperatur resistansi tembaga pada $t_1^\circ\text{C}$. Untuk temperatur acuan 0°C persamaannya menjadi:

$$R_t = R_o (1 + \alpha_{ot})$$

Walaupun resistansi dapat dianggap sebagai fungsi linier dari temperatur untuk tujuan praktis, harga koefisien temperatur tidaklah konstan tetapi bergantung dan berubah menurut temperatur acuan sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$\alpha_t = 1/(1/\alpha_0 + t)$$

$$\text{karena, } 1/\alpha_0 = 234,45$$

$$\text{maka, } \alpha_t = 1/(234,45 + t)$$

berdasarkan sifat di atas maka, untuk kekuatan, daya tahan, dan keandalan tembaga adalah yang terbaik.

2.3 Karakteristik Termal [6]

2.3.1 Kapasitas Kalor (*Heat Capacity*)

Suhu dan kandungan kalor suatu bahan merupakan dua hal yang berbeda. Suhu atau temperatur adalah level aktivitas termal sedang kandungan kalor adalah besarnya energi termal. Keduanya berkaitan dengan kapasitas kalor.

Bila tidak ada perubahan isi maka kapasitas kalor sama dengan perubahan kandungan kalor per $^\circ\text{C}$. Dalam tabel teknik seringkali tercatat panas jenis sebagai pengganti kapasitas kalor. Panas jenis (*specific heat*) suatu bahan adalah perbandingan antara kapasitas kalor dari bahan tersebut dengan kapasitas kalor air. Diketahui

kapasitas panas air sama dengan 1 kal/g.^oC (4.184 joule/g.^oC atau 1 Btu/lb.^oF), jadi kita dapat menghitung dalam satuan yang kita pilih.

Nilai panas transformasi untuk berbagai bahan perlu diketahui. Yang banyak digunakan adalah panas peleburan (*heat of fusion*) dan panas penguapan (*heat of vaporization*) yaitu kalor yang diperlukan untuk mencairkan atau menguapkan suatu bahan. Keduanya melibatkan perubahan struktur atom atau molekul. Akan diketahui kelak bahwa dalam keadaan padat pun dapat terjadi perubahan struktur dan ternyata bahwa perubahan-perubahan ini mengakibatkan adanya perubahan dalam kapasitas panas atau energi termal bahan.

2.3.2 Muai Panas (*Thermal Expansion*)

Muai panas adalah pemuaian yang lazim dialami oleh bahan yang dipanaskan sehingga timbul peningkatan getaran termal atom-atom. Pemuaian dapat mengakibatkan pertambahan panjang ΔL .

$\Delta L/L$ yang sebanding dengan naiknya suhu ΔT

$$\Delta L/L = \alpha_L \Delta T \quad (2.6)$$

Ternyata pada umumnya α_L (koefisien muai linier) naik sedikit dengan naiknya suhu.

Pada muai volume, akibat pemuaian maka bahan selain mengalami perubahan panjang juga mengalami perubahan volume yang sebanding dengan kenaikan suhu. Koefisien muai volume α_V mempunyai hubungan serupa dengan persamaan diatas dengan perubahan volume $\Delta V/V$ dan kenaikan suhu ΔT . Nilai α_V adalah 3 kali nilai α_L . Diskontinuitas koefisien muai disebabkan oleh perubahan dalam susunan atom bahan.

2.3.3 Daya Hantar Panas (*Thermal Conductivity*)

Perambatan panas melalui bahan padat biasanya terjadi oleh konduksi. Koefisien daya hantar panas k adalah konstanta yang menghubungkan aliran panas (*heat flux*) Q dengan gradien suhu $\Delta T/\Delta x$.

$$Q = k \left(\frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2.7)$$

Koefisien daya hantar panas juga tergantung pada suhu, akan tetapi berlainan dengan koefisien muai panas. Naiknya suhu yang tinggi terhadap suatu bahan akan mengakibatkan perubahan atom yang mengiringi pencairan dan pengaturan kembali susunan atom-atom yang diakibatkan perubahan suhu akan menyebabkan daya hantar panas terganggu.

$$\frac{\text{energi}}{\text{luas, waktu}} = k \left(\frac{\text{perbedaan suhu}}{\text{tebal}} \right)$$

Jadi satuan daya hantar panas, k adalah $J/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})/(\text{°C}/\text{mm})$ atau $(\text{W}/\text{mm}^2)/(\text{°C}/\text{mm})$.

2.4 Kerja Panas Pada Kabel

2.4.1 Temperatur dan Aliran Panas pada Kabel

Pada kabel, panas yang timbul dari dalam kabel akan dialirkan ke luar kabel melalui proses konduksi panas. Pada proses konduksi, aliran panas rata-rata, q [W], melalui suatu resistansi termal, R_t [°C/W], dan perbedaan temperatur, ΔT [°C], pada daerah yang dilewatinya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta T = R_t \cdot q \quad (2.8)$$

Resistansi termal dapat dianalogikan dengan resistansi listrik, dan satuannya mengikuti hukum Ohm yaitu ‘termal ohm’. Oleh karena itu resistansi termal dapat dinyatakan dengan:

$$R_t = r \frac{l}{A} \quad (2.9)$$

dengan:

r : resistivitas termal [°C · m / W]

l : panjang [m]

A : luas permukaan yang benda padat yang dilewati [m²]

Kebalikan dari resistivitas termal dan resistansi termal adalah konduktivitas termal dan konduktansi termal. Konduktivitas termal dinyatakan dengan:

$$k = \frac{q}{A \cdot \left(\frac{\Delta T}{m} \right)} \text{ [W / m / °C]} \quad (2.10)$$

yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menyalurkan panas, dan konduktansi panas dinyatakan dengan:

$$K = 1/R_t = q/\Delta T \quad [W/^\circ C] \quad (2.11)$$

Konduktivitas termal merupakan besaran yang bersifat *temperature dependent*, artinya nilainya berubah-ubah sesuai dengan perubahan temperatur. Semakin bertambah temperatur, nilai konduktivitas termal dapat bertambah atau berkurang sesuai dengan jenis bahannya.

Kemampuan suatu bahan untuk menyimpan panas dinyatakan sebagai kapasitas termal.

$$C_t = \rho \times V \times c_p \quad [J/^\circ C] \quad (2.12)$$

dengan:

C_t : kapasitas termal [$J/^\circ C$]

V : volume [m^3]

ρ : massa jenis [kg/m^3]

c_p : panas jenis [$J/kg/^\circ C$]

Banyaknya panas yang dapat disimpan suatu bahan adalah $Q = C_t \times \Delta T$ [J].

Bentuk tersebut analog dengan penyimpanan muatan listrik pada kapasitor. Panas yang tersimpan tersebut kemudian dibuang melalui proses konduksi, radiasi atau konveksi.

2.5 Api Karena Listrik

Api karena listrik merupakan api yang berasal dari peralatan listrik. Akibat dari api ini bervariasi dari kebakaran kecil pada papan isolasi atau kabel isolasi sampai ke bencana besar yang dapat mengakibatkan kerusakan fatal. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh adalah ketahanan material terhadap api, Hal yang paling baik untuk dilakukan untuk meminimalkan kerusakan adalah dengan mengatasi sumbernya, contohnya ialah dengan mencegah timbulnya api.

2.5.1 Penyebab-penyebab utama dari api karena listrik

Berikut adalah penyebab-penyebab utama dari api karena listrik:

a) Beban berlebih

Beban berlebih pada peralatan listrik menghasilkan arus berlebih. Panas juga bertambah pada kabel dan proporsional dengan kuadrat arus sehingga menjadi terlalu panas. Isolasi kabel umumnya dibuat material yang mudah sekali rusak akibat temperatur berlebih. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat. Karena banyak material isolasi yang mudah terbakar, bahkan dapat menyebabkan kebakaran apabila mencapai temperatur penyalaan.

b) Kegagalan isolasi

Kerusakan atau pengurangan kemampuan dari isolasi listrik dapat menghasilkan hubung singkat dan munculnya busur listrik secara kontinu, diikuti dengan terbakarnya material isolasi yang mudah terbakar. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, hal ini diakibatkan suhu busur listrik yang sangatlah tinggi.

c) Kegagalan tekanan kontak

Penurunan kemampuan dan kegagalan tekanan kontak antara variasi komponen dalam instalasi listrik yang bisa menyebabkan busur api, pemanasan lokal dan terbakarnya material isolasi yang mudah terbakar. Dalam kasus tertentu, ada kemungkinan tidak terjadi busur listrik tetapi dengan pemanasan berlebih sudah dapat menyalakan api. Hubung singkat dan busur listrik dapat terjadi kemudian, namun mereka bukan merupakan penyebab utama munculnya api.

d) Kerusakan konduktor

Kerusakan dari komponen arus konduktor yang disebabkan tekanan mekanis dapat menyebabkan busur listrik lokal pada titik terjadinya kerusakan. Temperatur busur listrik listrik sangatlah tinggi dan apabila terdapat material yang mudah terbakar disekitarnya, api dapat dengan mudah tersulut.

2.6 Konstruksi dan Material Kabel

2.6.1 Kriteria Umum Kabel

Dalam merancang suatu kabel terdapat beberapa kriteria umum yang harus diperhatikan yaitu:

1. Konduktor yang dipilih harus memiliki ukuran yang optimum sehingga dapat menyalurkan arus beban atau arus hubung singkat dalam waktu tertentu tanpa *overheating* serta memenuhi batas *voltage drop* yang ditentukan.
2. Bahan isolasi yang digunakan pada kabel harus memadai untuk operasi kontinyu pada level tegangan yang telah ditetapkan, dengan tingkat kestabilan termal, keamanan dan reliabilitas yang tinggi.
3. Material yang digunakan harus memiliki stabilitas fisik dan kimia yang baik di seluruh umur operasi kabel pada suatu lingkungan tertentu.
4. Kuat secara mekanik, serta cukup fleksibel untuk bertahan pada saat pabrikan maupun pada saat pemasangan.
5. Perlindungan eksternal harus cukup memadai, baik dari segi mekanik maupun kimia sehingga dapat bertahan pada kondisi lingkungan tertentu.

2.6.2 Konstruksi Dan Material Kabel NYM

Kabel dirancang dengan berbagai macam konstruksi sesuai dengan kebutuhannya. Pada bagian ini akan dibahas konstruksi kabel NYM 2 x 1,5 mm², dengan tegangan pengenal 300/500V [7].

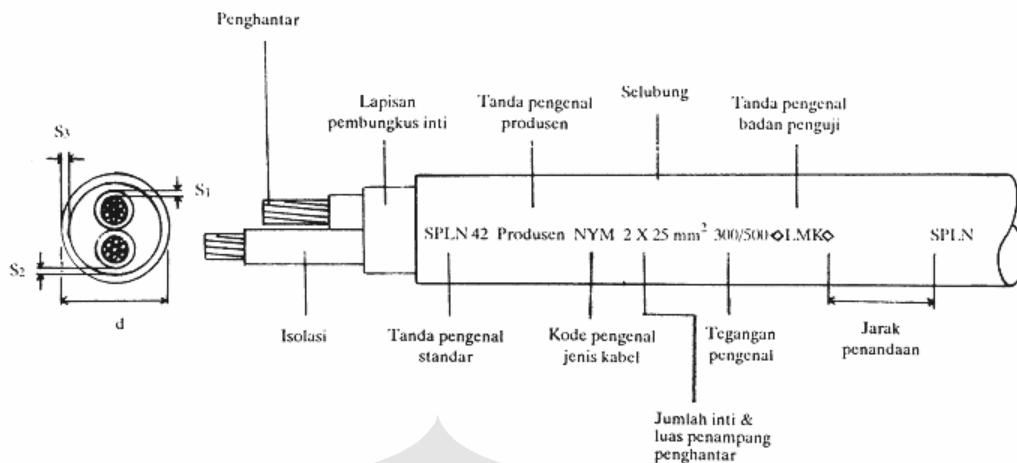
Konstruksi kabel NYM, dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian utama dan bagian pelengkap.

2.6.2.1 Bagian Utama

Bagian utama dari suatu kabel NYM, yaitu :



Gambar 2.2 Kabel instalasi NYM



Gambar 2.3 Konstruksi kabel inti ganda NYM

A. Konduktor.

Merupakan bagian dari kabel yang bertegangan dan berfungsi untuk menyalurkan energi listrik. Umumnya tidak berupa satu hantaran pejal, tetapi kumpulan kawat yang dipilin agar lebih fleksibel. Bahan yang digunakan adalah tembaga atau aluminium. Bentuk penampangnya bisa bulat tanpa rongga, bulat berongga, maupun bentuk sektoral.

B. Bahan isolasi.

Isolasi suatu kabel merupakan bahan yang berfungsi untuk menahan tekanan listrik sehingga energi listrik tidak bocor kemana-mana. Terdapat berbagai jenis bahan isolasi yang umumnya dikelompokkan menjadi bahan isolasi cair, isolasi gas dan isolasi padat.

C. Selubung (*sheath*).

Lapisan ini 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. Untuk kabel NYM selubungnya menggunakan bahan termoplastik PVC.

2.6.2.2 Bagian Pelengkap

Bagian pelengkap adalah bagian yang melengkapi suatu kabel untuk memperkuat, memberikan informasi, memberikan perlindungan mekanis dan memperbaiki sifat-sifat kabel. Bagian tersebut terdiri dari:

Lapisan pembungkus inti

Lapisan ini harus terbuat dari bahan elastis atau plastis yang dapat dibuka tanpa merusak inti-inti kabel, fungsinya adalah mengisi celah-celah dari inti yang dibelit serta menutupi inti-inti secara keseluruhan.

Pemilinan Inti

Inti-inti kabel harus dipilin secara konsentris, dengan langkah pilinan inti kabel tidak boleh lebih besar dari 35 kali diameter luar yang terbentuk dari inti-inti yang dipilin.

Penandaan pada kabel

Huruf kode	Keterangan
N	Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
Y	Isolasi PVC
M	Selubung PVC
re	Penghantar padat bulat
rm	Penghantar bulat berkawat banyak
- I	Kabel dengan sistem pengenalan warna inti hijau-kuning
- O	Kabel dengan sistem pengenalan warna inti tanpa hijau-kuning

Penandaan kode pengenalan dilengkapi dengan luas penampang penghantar, tegangan pengenalan, standar SPLN, tanda pengenalan produsen, dan tanda pengenalan badan pengujian.

BAB 3

METODE PENGUJIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode yang dilakukan dalam pengujian resistansi konduktor pada kabel inti ganda NYM 2 x 1.5 mm², peralatan dan rangkaian yang digunakan dalam pengujian, serta jalannya pengujian.

3.1 Peralatan dan Rangkaian Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (LTTPL), Lantai 2, Departemen Teknik Elektro FTUI.

3.1.1 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan untuk pengujian karakteristik termal pada kabel inti ganda NYM 2 x 1.5 mm² adalah sebagai berikut :

1. Phenix High Current Injector Test Set model HC – 2.
2. Kabel Eterna NYM 2 x 1,5 mm²
3. Digital Thermometer APPA-51
4. Thermocouple
5. Multimeter Digital Kyoritsu.
6. Stopwatch
7. Mini Temperatur Raytek.
8. Termometer Ruang Fisher Scientific.

Sedangkan bahan yang dibutuhkan dalam pengujian resistansi material terhadap kabel NYM 2 x 1,5mm² adalah sebagai berikut:

1. Potongan Kain
2. Potongan Kayu.
3. Potongan Kertas.
4. Potongan Serat Fibre.
5. Potongan Karpet.
6. Daun Kering.



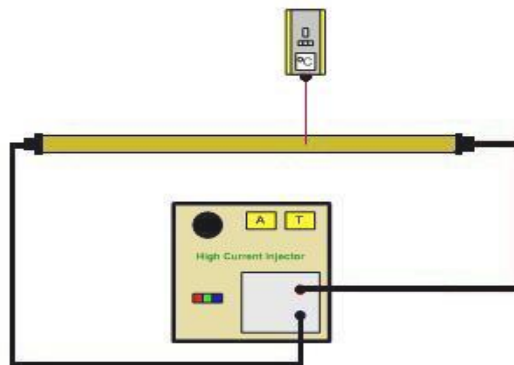
Gambar 3.1 Contoh Material Uji

3.1.2 Rangkaian Pengujian

Pengujian ini merupakan pengujian resistansi konduktor kabel, pengujian dilakukan pada inti kabel NYM dengan pengamatan atas temperatur, besarnya arus, putusnya kawat penghantar, dan terbakarnya beberapa material. Rangkaian pengujian akan diberikan pada bagian selanjutnya.



Gambar 3.2 Sumber arus Phenix Technologies



Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Resistansi Konduktor



Gambar 3.4 Foto Rangkaian Pengujian



Gambar 3.5 Foto Rangkaian Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kenaikan temperatur kabel apabila dialiri arus yang bervariasi. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan thermocouple. Data temperatur di catat untuk rentang waktu setiap lima menit, pada kondisi 75 ampere ke atas. Pengamatan dilakukan selama 30 menit. Pengujian dilakukan pada temperatur ruang.

3.2 PROSEDUR PENGUJIAN

Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur pada inti kabel NYM menggunakan thermocouple dan Digital Thermometer APPA-51. Berikut adalah prosedur pengujiannya:

1. Rangkai seperti pada gambar. Untuk percobaan resistansi konduktor, kabel NYM yang ada dikuliti hingga hanya kawat tembaga penghantarnya saja.
2. Mengukur temperatur ruangan
3. Menyalakan sumber tegangan AC 220 V.
4. Nyalakan sumber arus Phenix Technologies dan tetapkan suatu nilai sumber arus kemudian ukur temperatur pada konduktor kabel.
5. Menyalakan *Current Injector* (tombol *main power* diposisikan on) dan tunggu beberapa detik agar *current meter* menunjukkan angka nol Ampere.
6. Mengatur skala arus pada *Current Injector* sesuai dengan arus yang akan digunakan.
7. Tekan tombol JOG dan naikkan arus perlahan-lahan dengan memutar tombol *raise current* pada *Current Injector*, sampai mencapai level arus yang diinginkan.
8. Setelah itu tekan tombol ON pada daerah *high current*
9. Jika berhasil maka timer akan menyala dan jika tidak berhasil tombol trip akan menyala.
10. Jika trip maka turunkan arus melalui tombol *raise current* dan tekan tombol reset, setelah itu, ulangi langkah nomor 6 dan 7.
11. Mengukur temperatur inti kabel pada 0-5s, 25s, 50s, 75s, 100s, 125s, 150s, 200s, 250s, dan 300s. kemudian amati perubahan fisik dan suhu pada kawat penghantar.
12. Lakukan pengujian terhadap bahan-bahan material yang ada, seperti kayu, kertas, karpet, kain, fibre, dan daun kering.

13. Tempelkan material-material tersebut pada kawat kemudian amati perubahan yang terjadi pada material-material tersebut.
14. Setelah pengambilan data selesai maka turunkan arus pada *raise current* sampai tombol trip menyala.
15. Tekan tombol reset.
16. Matikan *current injector* dan matikan sumber tegangan AC 220 V.
17. Amati perubahan yang terjadi dan catat setiap kenaikan suhu pada kabel.
18. Variasikan arus yang ada, terus naik. Pada 75A keatas amati kondisi kawat sampai kawat penghantar kabel terputus. Lakukan pengamatan sampai dengan 30 menit.



BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Data Hasil Pengujian Kenaikan Temperatur Kabel

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kenaikan temperatur terhadap waktu, kenaikan temperatur terhadap arus, dan pengujian resistansi material lain terhadap panas kabel. Pengujian dilakukan pada temperatur ruang $27,8^{\circ}\text{C} - 28,5^{\circ}\text{C}$.

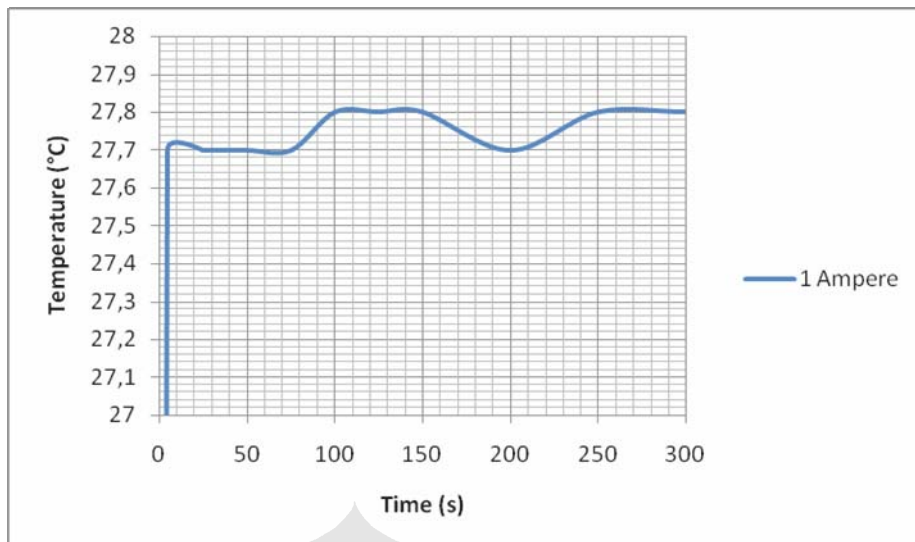
4.1.1 Data Pengujian Kenaikan Temperatur Terhadap Waktu

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kenaikan temperatur pada inti kabel apabila dialiri arus sampai dengan batas arus maksimalnya dan batas resistansi inti kabelnya. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan Phenix High Current Injector Test Set model HC – 2 dan thermocouple. Data temperatur di catat untuk berbagai rentang waktu sampai dengan kondisi stabil ($\pm 300\text{s}$).

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data-data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 1A

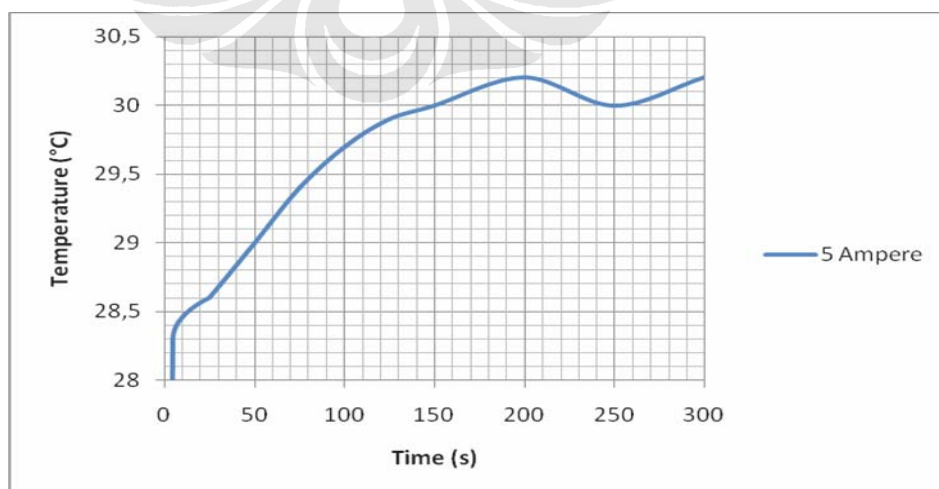
Arus (I)	1 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	27,7	27,7	27,7	27,7	27,8	27,8	27,8	27,7	27,8	27,8



Gambar 4.1 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 1A

Tabel 4.2 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 5A

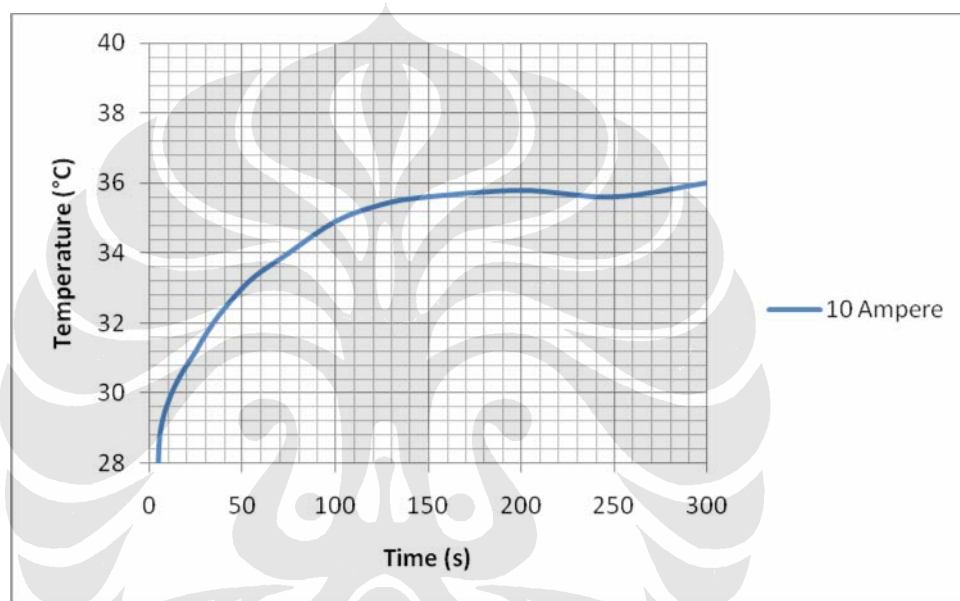
Arus (I)	5 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	28,3	28,6	29	29,4	29,7	29,9	30	30,2	30	30,2



Gambar 4.2 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 5A

Tabel 4.3 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 10A

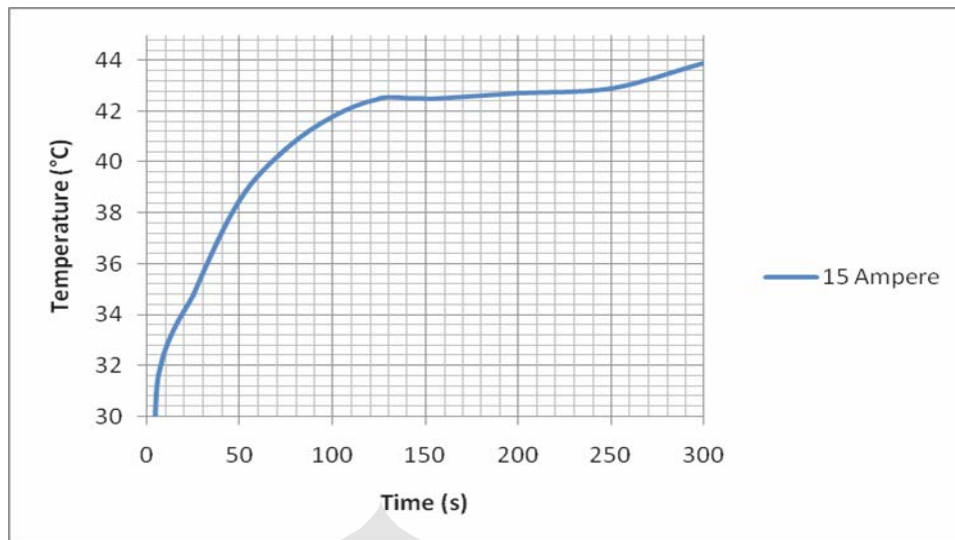
Arus (I)	10 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	28,5	31,2	33	34	34,9	35,4	35,6	35,8	35,6	36



Gambar 4.3 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 10A

Tabel 4.4 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 15A

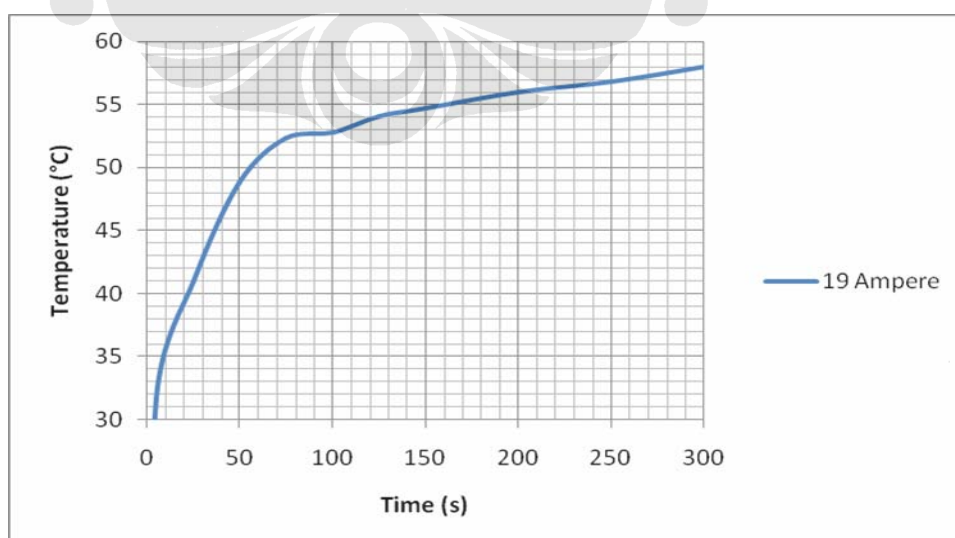
Arus (I)	15 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	30,9	34,8	38,5	40,5	41,8	42,5	42,5	42,7	42,9	43,9



Gambar 4.4 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 15A

Tabel 4.5 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 19A

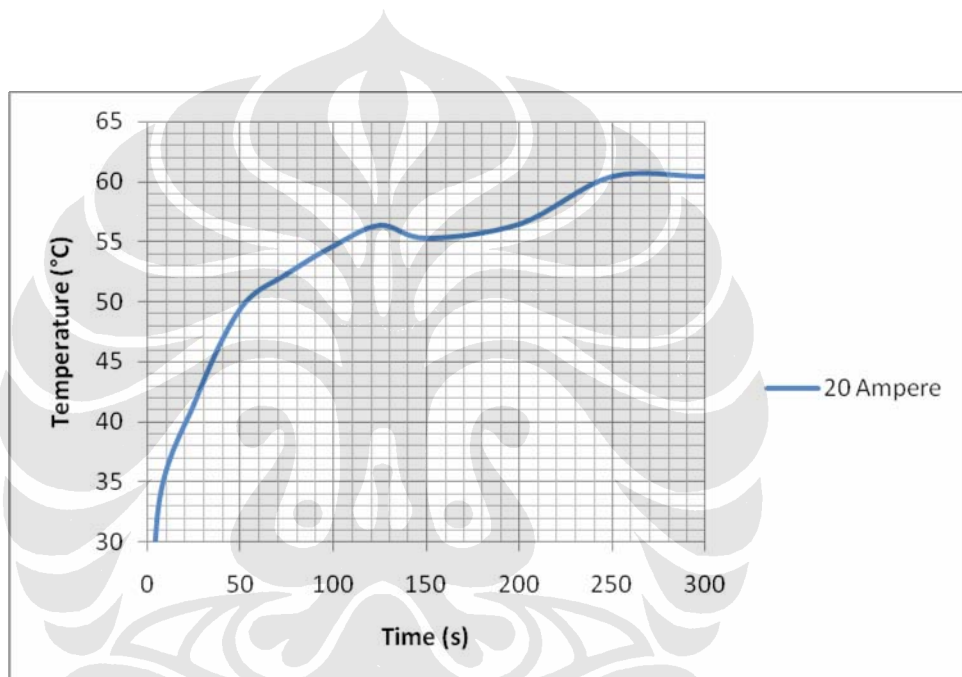
Arus (I)	19 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	31,7	41	48,8	52,3	52,8	54,1	54,7	56	56,8	58



Gambar 4.5 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 19A

Tabel 4.6 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 20A

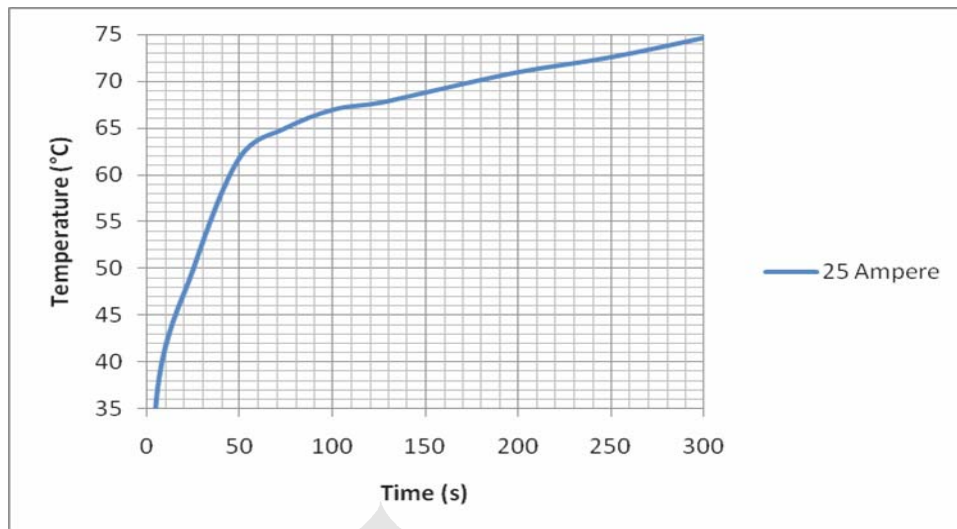
Arus (I)	20 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	31,9	41,5	49,4	52,3	54,7	56,4	55,3	56,5	60,4	60,4



Gambar 4.6 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 20A

Tabel 4.7 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 25A

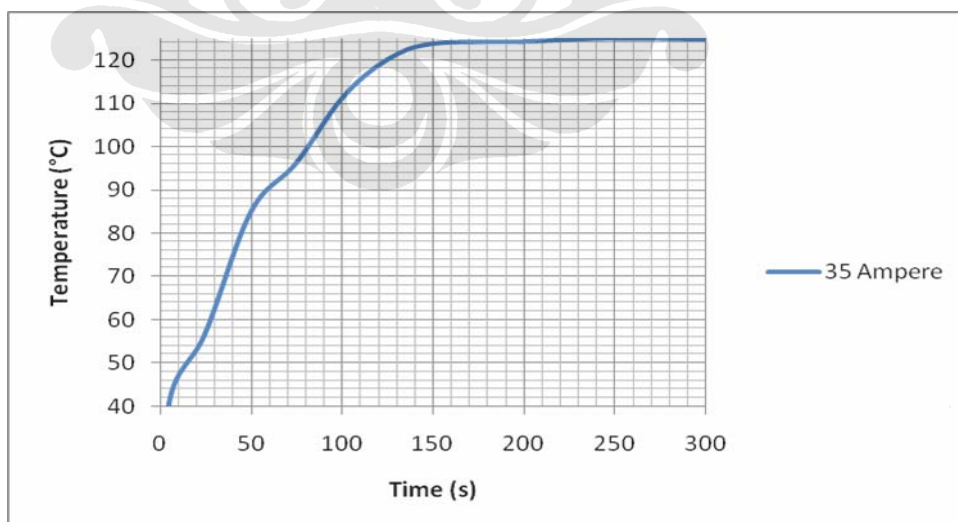
Arus (I)	25 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	35,9	50	61,8	65	67	67,7	68,8	71	72,6	74,7



Gambar 4.7 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 25A

Tabel 4.8 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 35A

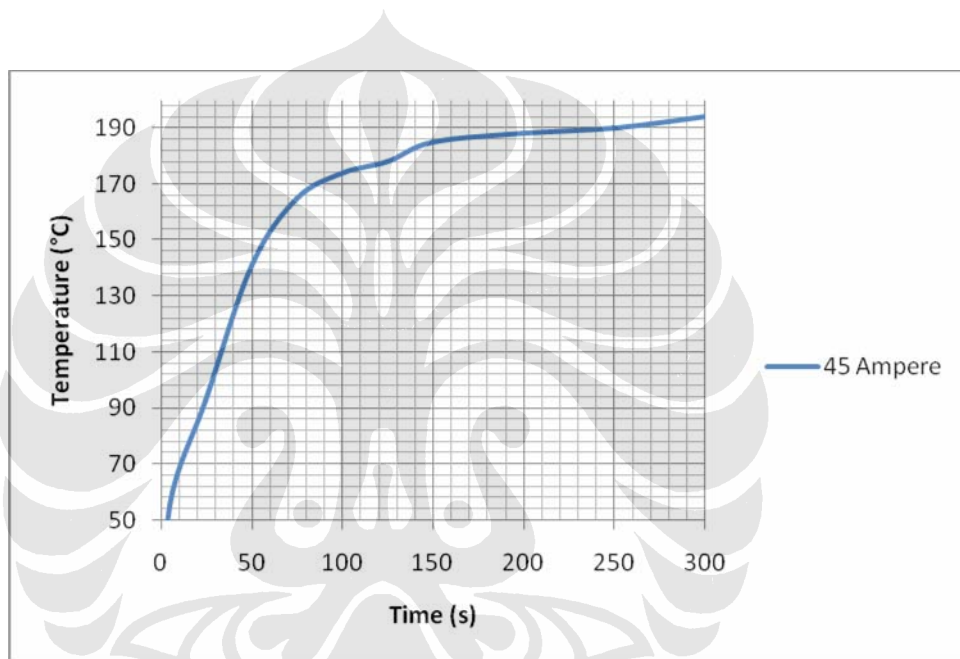
Arus (I)	35 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	40,6	56,7	85	96,1	111,4	120	123,8	124,2	125	124,8



Gambar 4.8 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 35A

Tabel 4.9 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 45A

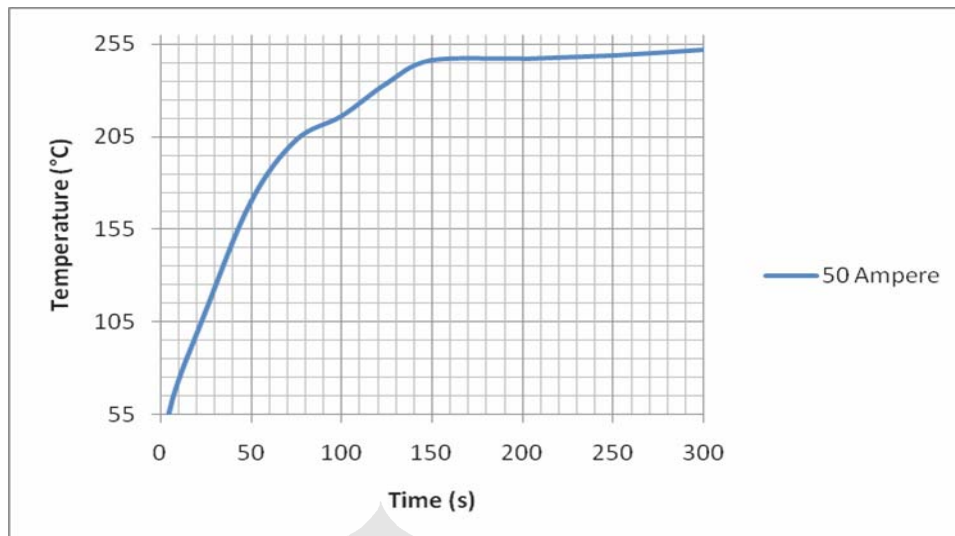
Arus (I)	45 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	55,2	93	141	165	174	178	185	188	190	194



Gambar 4.9 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 45A

Tabel 4.10 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 50A

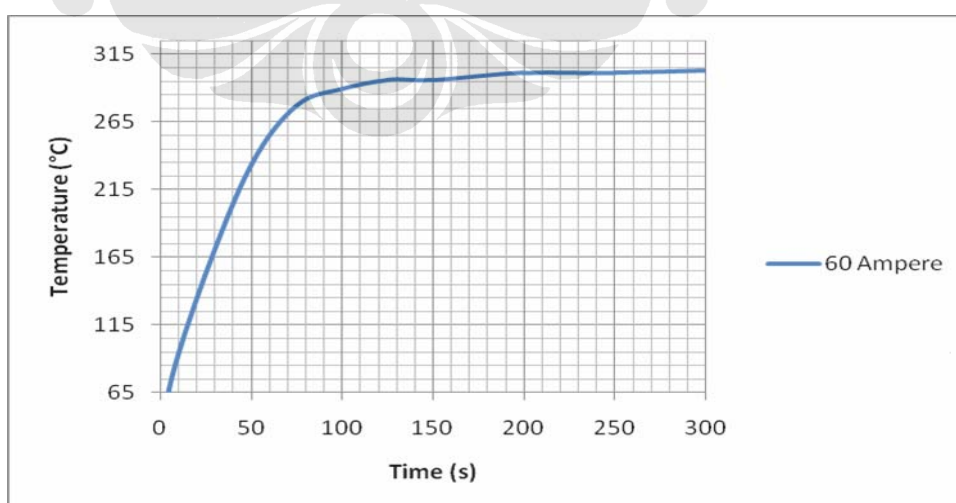
Arus (I)	50 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	56,1	110	170	203	216	234	246	247	249	252



Gambar 4.10 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 50A

Tabel 4.11 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 60A

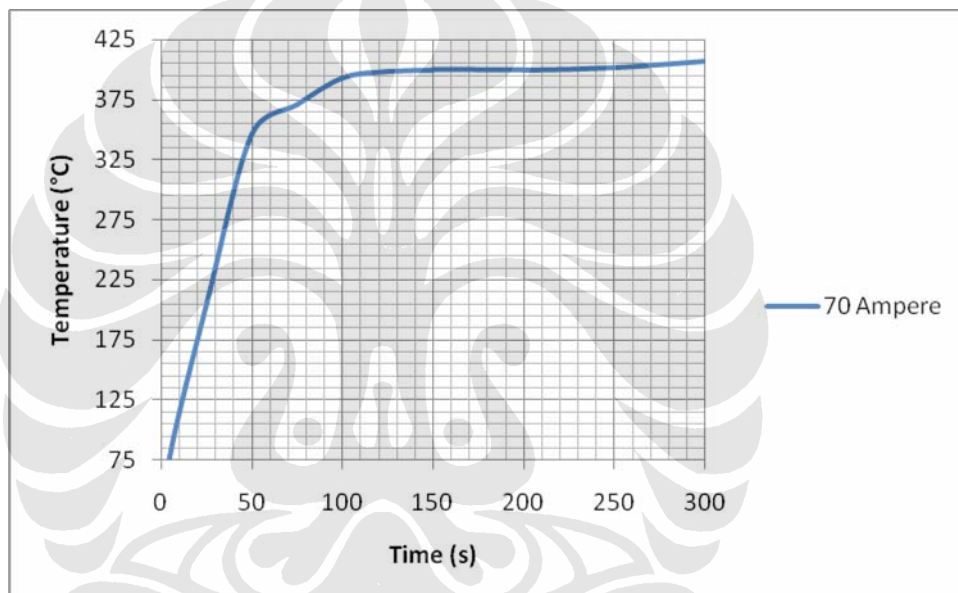
Arus (I)	60 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	67	151	233	277	289	296	296	301	301	303



Gambar 4.11 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 60A

Tabel 4.12 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 70A

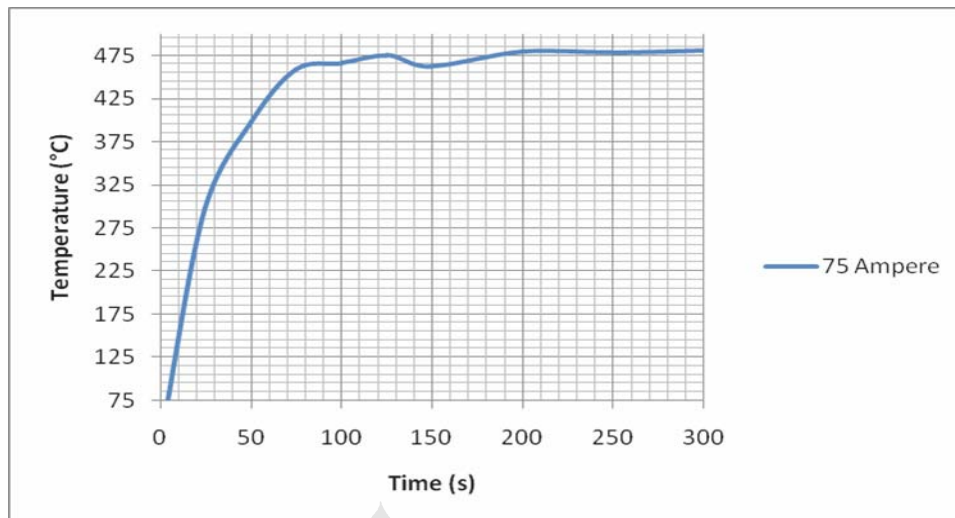
Arus (I)	70 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	78	202	346	371	393	398	400	400	402	407



Gambar 4.12 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 70A

Tabel 4.13 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 75A

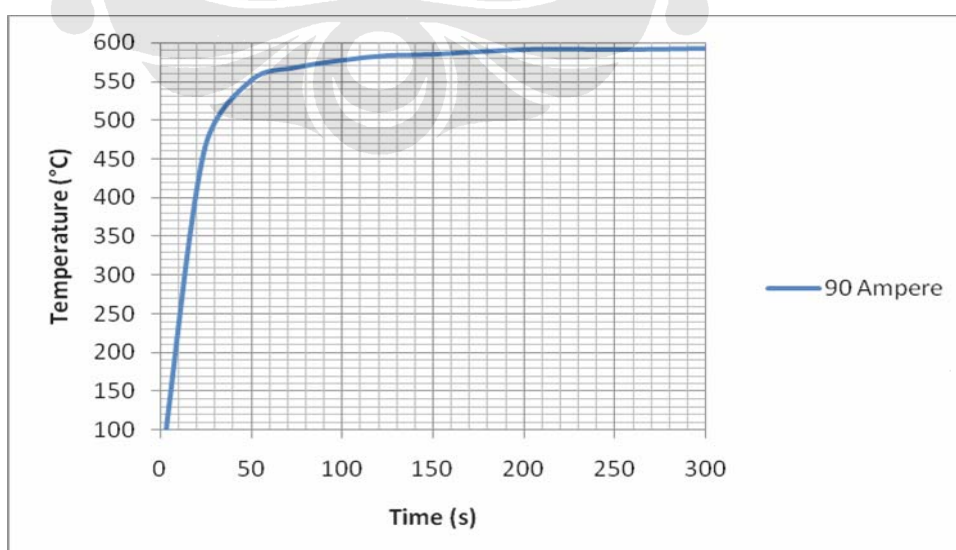
Arus (I)	75 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	84	298	398	459	466	475	462	479	478	481



Gambar 4.13 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 75A

Tabel 4.14 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 90A

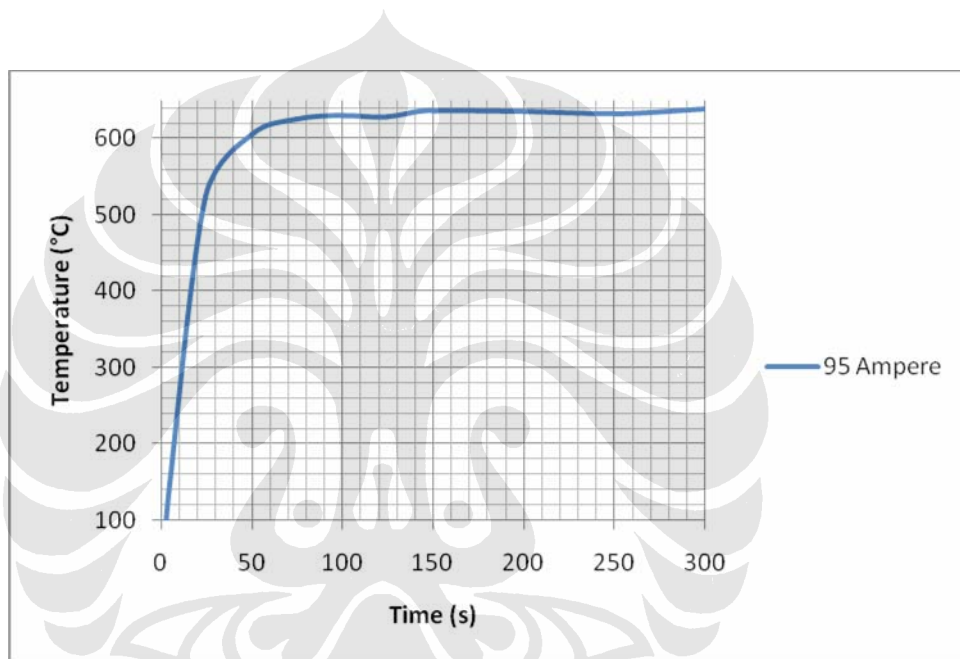
Arus (I)	90 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	130	465	551	568	578	583	585	591	591	592



Gambar 4.14 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 90A

Tabel 4.15 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 95A

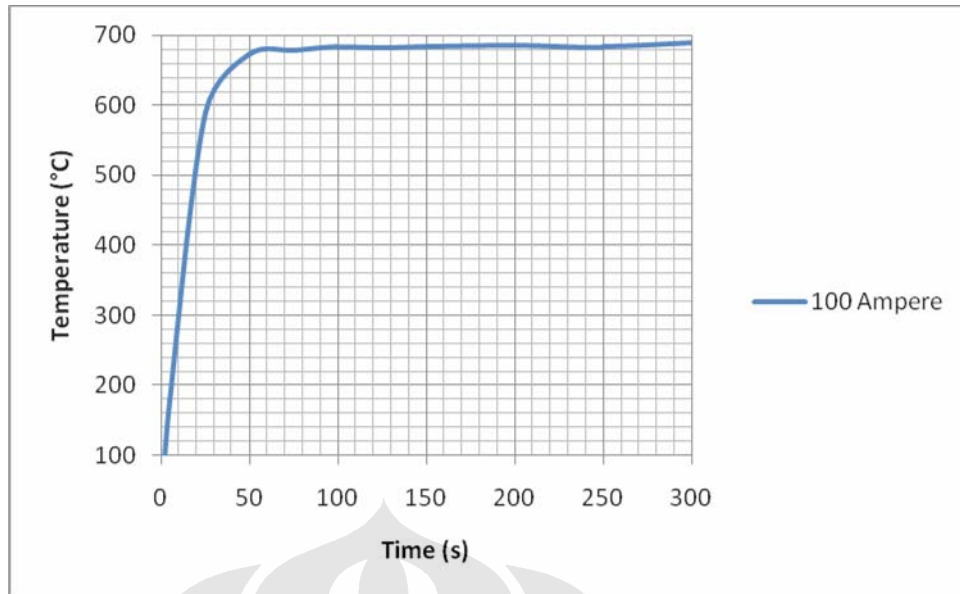
Arus (I)	95 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	148	525	605	625	630	628	636	635	632	638



Gambar 4.15 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 95A

Tabel 4.16 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 100A

Arus (I)	100 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	179	590	672	678	683	682	684	686	683	689



Gambar 4.16 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 100A

4.1.2 Data Pengujian Perubahan Fisik Konduktor Terhadap Perubahan Temperatur, Arus, dan Waktu.

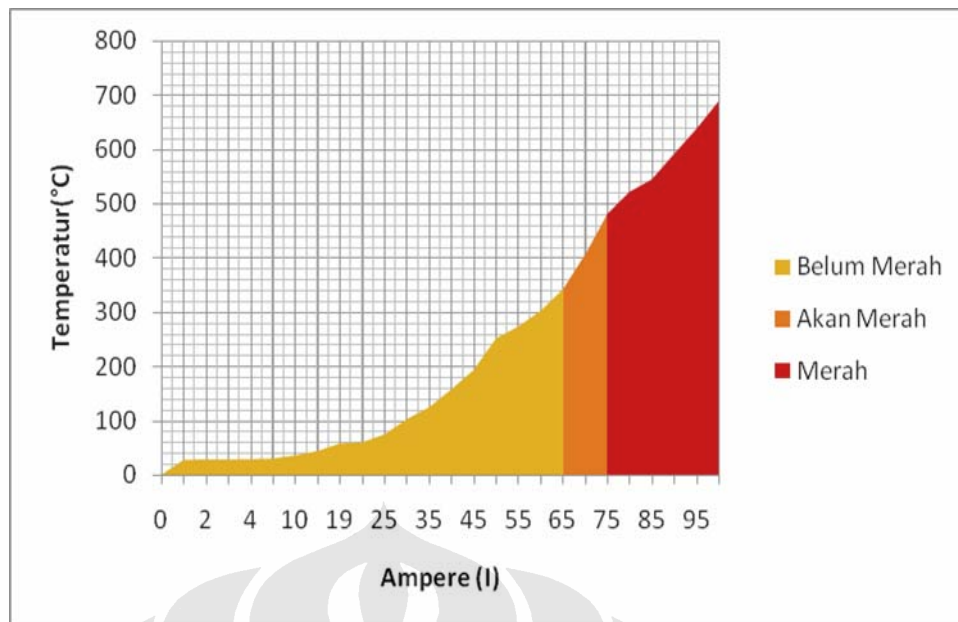
Data yang diperoleh pada proses pengujian ini meliputi perubahan fisik yang terjadi pada inti kawat. Perubahan warna yang terjadi merupakan pengaruh atas perubahan suhu dan temperatur yang terjadi. Putusnya kawat juga merupakan batas temperatur dan kuat hantar maksimum kawat.

Tabel 4.17 Tabel Perubahan Fisik Kawat Penghantar

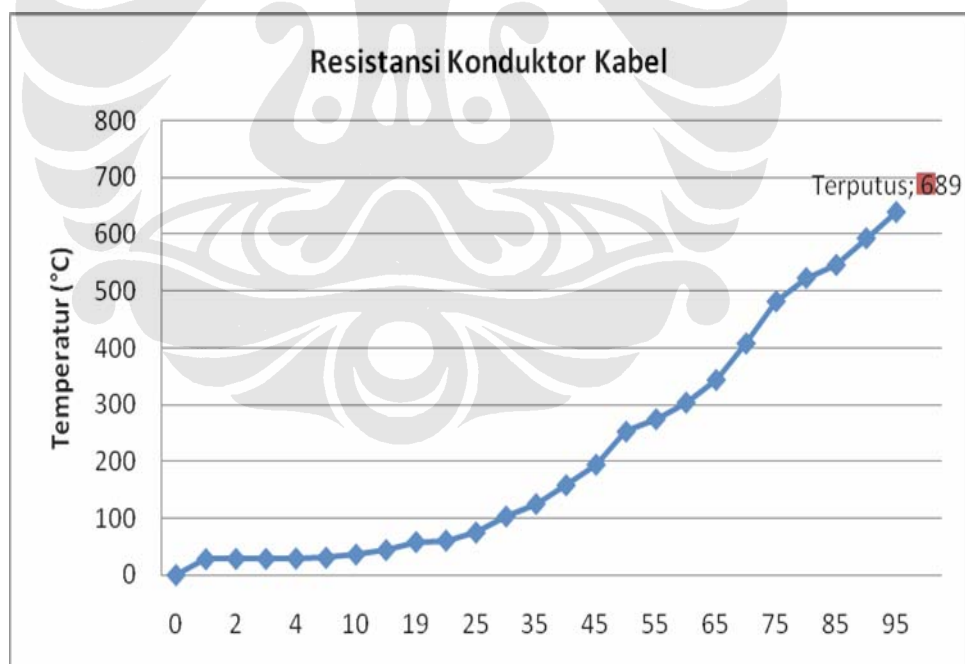
Arus I (A)	Perubahan Warna Kawat	Konduktor Terputus
1	Belum Merah	-
2	Belum Merah	-
3	Belum Merah	-
4	Belum Merah	-
5	Belum Merah	-
Arus I (A)	Perubahan Warna Kawat	Konduktor Terputus
10	Belum Merah	-
15	Belum Merah	-
19	Belum Merah	-
20	Belum Merah	-
25	Belum Merah	-
30	Belum Merah	-
35	Belum Merah	-
40	Belum Merah	-
45	Belum Merah	-
50	Belum Merah	-
55	Belum Merah	-
60	Belum Merah	-
65	Belum Merah	-

70	AkanMerah	-
75	Merah	-
80	Merah	-
85	Merah	-
90	Merah	-
95	Merah	-
100	Merah	Terputus





Gambar 4.17 Grafik Perubahan Fisik Kawat Penghantar



Gambar 4.18 Grafik Perubahan Fisik Kawat Penghantar

4.1.3 Data Pengujian Perubahan Kondisi Material Terhadap Perubahan Waktu, Temperatur dan Arus Kabel.

Data yang diperoleh dalam proses pengujian ini meliputi perubahan fisik yang terjadi pada material lain yang ditempelkan pada kawat. Perubahan fisik yang terjadi merupakan pengaruh atas perubahan suhu dan temperatur yang terjadi. Data ini mengacu kepada resistansi material-material ini terhadap panas inti kabel.

Tabel 4.18 Tabel Perubahan Fisik Kondisi Material Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel

Arus (I)	Temperatur (°C)	Kondisi Material					
		Kayu	Kertas	Daun	Fibre	Karpet	Kain
1	27,8	-	-	-	-	-	-
2	28,3	-	-	-	-	-	-
3	28,4	-	-	-	-	-	-
4	29	-	-	-	-	-	-
5	30,2	-	-	-	-	-	-
10	36	-	-	-	-	-	-
15	43,9	-	-	-	-	-	-
19	58	-	-	-	-	-	-
20	60,4	-	-	-	-	-	-
25	74,7	-	-	-	-	-	-
30	103	-	-	-	-	-	-
35	124,8	-	-	-	-	-	-

40	157,9	-	-	-	-	-	-
45	194	-	-	-	-	-	-
50	252	-	-	√	-	√	√
55	274	√	√	√	-	√	√
60	303	√	√	√	-	√	√
65	343	√	√	√	-	√	√
70	407	×	×	×	-	√	√
75	481	×	×	×	√	√	√
80	522	×	×	×	√	√	√
85	545	×	×	×	√	√	×
90	592	×	×	×	√	√	×
95	638	×	×	×	√	√	×
100	689	×	×	×	√	√	×

√ = Berasap / Meleleh × = Terbakar

Tabel 4.19 Tabel Perubahan Fisik Kondisi Material Terhadap Perubahan Waktu

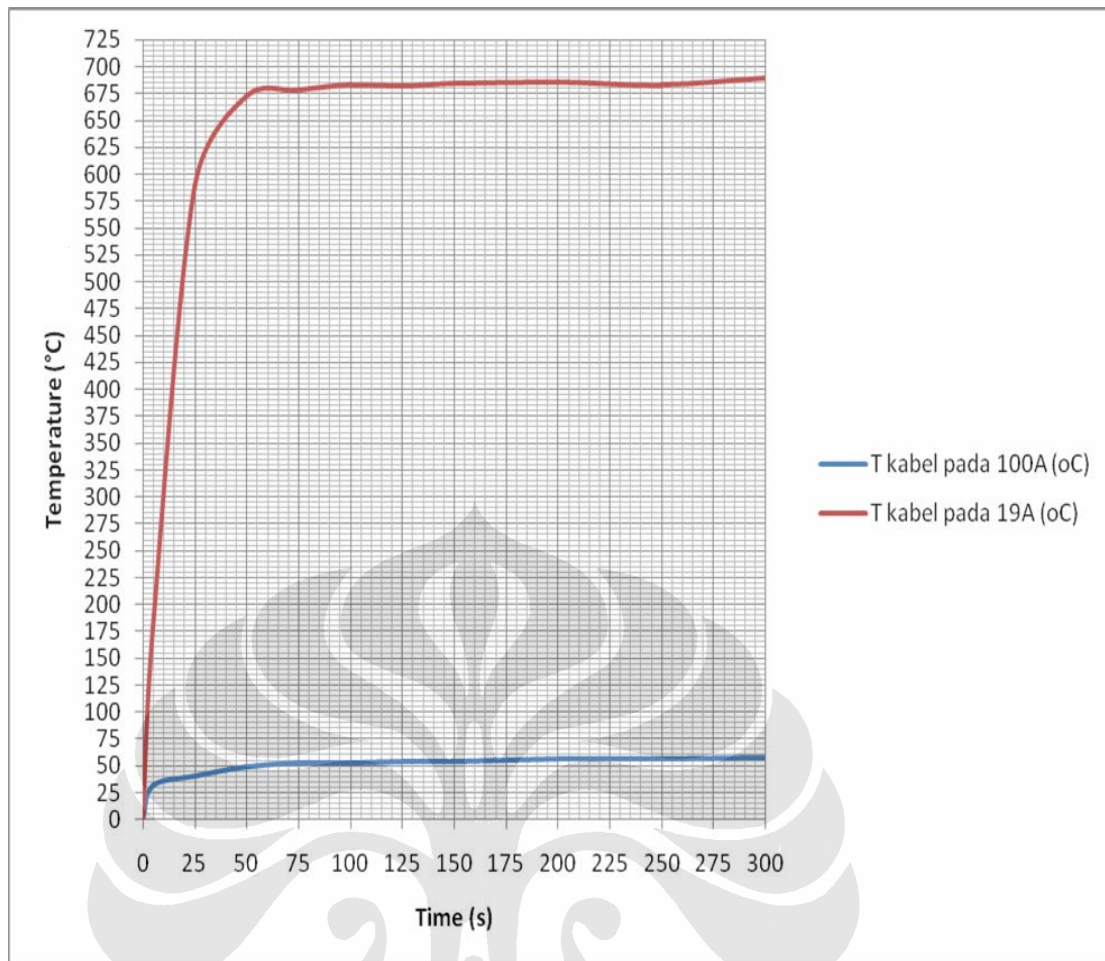
Berasap/Meleleh			Terbakar		
Arus (I)	Bahan Uji	Waktu (s)	Arus (I)	Bahan Uji	Waktu (s)
50 A	Daun	2,11	70 A	Daun	0,91
	Karpet	1,55		Kertas	0,88
	Kain	3,23		Kayu	5,07
55 A	Daun	1,55	85 A	Daun	0,37
	Karpet	1,24		Kertas	0,37
	Kain	2,32		Kayu	4,20
	Kertas	1		Kain	27,48
	Kayu	2,72			
75 A	Fibre	1,41			

4.2 Analisa Perbandingan Temperatur Konduktor Pada Kuat Hantar Arus Maksimum Dengan Batas Resistansi Konduktor Berdasarkan Kenaikan Temperatur Terhadap Waktu.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara kuat hantar arus yang diperbolehkan berdasarkan SPLN yaitu 19A dengan kegagalan konduktor yaitu pada saat konduktor terputus. Dalam pengujian ini konduktor terputus pada 100A.

Tabel 4.20 Tabel Perbandingan Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 19A dan 100A

Menit	T kabel pada 19A (°C)	T kabel pada 100A (°C)	ΔT Kabel (°C)
0-5	31,7	179	147,3
25	41	590	549
50	48,8	672	623,2
75	52,3	678	625,7
100	52,8	683	630,2
125	54,1	682	627,9
150	54,7	684	629,3
200	56	686	630
250	56,8	683	626,2
300	58	689	631



Gambar 4.19 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 100A & 19A

Pada grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai temperatur kabel pada 100A sangat besar bahkan berkali-kali lipat dari temperatur kabel pada 19A. selisih temperatur antara konduktor pada 19A dan 100A menunjukkan perubahan yang besar. Selisih keduanya dapat mencapai 12 kali lipat temperatur batas maksimal kuat hantar arus (19A). Berdasarkan grafik, Distribusi suhu dalam kondisi transien keduanya terdapat pada selang waktu 0-50 second, setelah 50 second cenderung sudah setimbang.

Karakteristik kenaikan temperatur pada pengujian ini yaitu, pada awal pengujian kenaikan temperatur terjadi secara cepat, dan selanjutnya semakin lambat hingga akhirnya mencapai titik setimbang. Hal tersebut juga berlaku pada selisih temperaturnya, dimana pada awal selisihnya sangat besar namun berkurang seiring kondisi kabel yang menuju kondisi setimbang. Jadi kecepatan kenaikan temperatur

sebanding dengan selisih temperatur yang terjadi, sehingga pada waktu perbedaan temperatur cukup besar, kecepatan kenaikan temperatur juga akan semakin cepat. Semakin lama proses pemberian arus berlangsung perbedaan ini tidak terlalu besar sampai pada akhirnya titik setimbang dicapai.

Kabel NYM 2 x 1,5 mm² memiliki resistansi termal 12 kali lipat dari batas kuat hantar arus maksimal yang diizinkan berdasarkan SPLN untuk mencapai kondisi kegagalan pada kabel yaitu konduktor terputus. Penggunaan arus yang sesuai pada kabel ini sangat meminimalisasi kemungkinan kerusakan dan kenaikan suhu yang tinggi pada kabel.

4.3 Analisa Perbandingan Temperatur Dan Perubahan Fisik Pada Kawat.

4.3.1 Perubahan Warna Kawat Penghantar.

Pada proses pengujian, terdapat perubahan fisik kawat seiring dengan perubahan temperatur yang terjadi. Perubahan fisik yang terjadi meliputi perubahan warna pada kawat, pemuaiian, dan putusnya kabel pada suhu tinggi. Perubahan warna pada kawat dapat dilihat seperti pada tabel dan grafik 4.18 dan untuk putusnya konduktor kabel dapat dilihat pada grafik 4.19.

Proses perubahan panas yang terjadi pada kabel merupakan proses radiasi. Istilah radiasi yang dimaksud adalah pancaran atau emisi energi secara terus-menerus dari permukaan kawat penghantar. Energi radiasi disebut juga energi radian yang berupa gelombang elektromagnet. Gelombang ini bergerak sangat cepat dan dapat melewati udara maupun ruang hampa. Energi radian yang dipancarkan oleh kawat penghantar bergantung pada suhu kawat tersebut. Apabila kawat mengalami kenaikan suhu, maka besarnya radiasinya pun bertambah. Suatu benda yang mampu memancarkan energi radian yang cukup banyak dapat terlihat seperti suatu benda yang memancarkan cahaya sendiri. Warna atau cahaya yang ada akan tergantung dari panjang gelombang panghasil warna tersebut.

Pada proses pemanasan pada kabel dengan pemberian arus berlebih, terlihat kabel mulai berwarna merah pada pemberian arus 70 ampere atau pada suhu 407°C. Energi radian yang dipancarkan merupakan campuran beberapa gelombang dengan panjang gelombang yang berbeda. Hal ini disebabkan suhu pada kawat tidak bersifat

merata, melainkan berbeda pada bagian inti kawat dan bagian luarnya. Pada pengujian ini semakin tinggi suhu kawat, maka akan semakin merah nyala kawat penghantarnya.

4.3.2 Putusnya Kawat Penghantar.

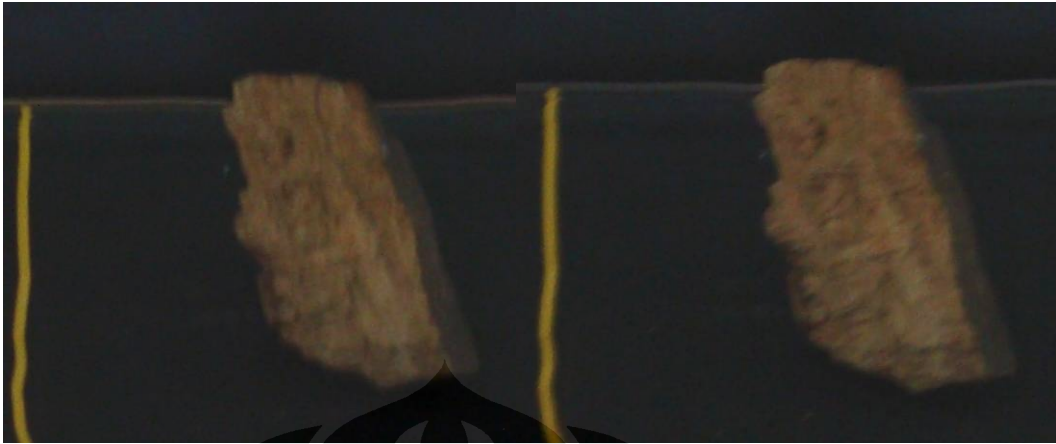
Dalam proses pengujian, kawat juga mengalami pemuaian dan penyusutan pada saat terjadi perubahan temperatur. Semakin besar suhu pada kawat maka akan semakin besar pemuaian yang terjadi. Pemuaian akan terus terjadi sampai pada kondisi dimana kawat tidak mungkin lagi untuk mengalami pemuaian. Sama halnya dengan penyusutan pada kawat.

Pada pengujian, kawat terputus pada saat mengalir arus 100 ampere, dengan suhu pada kawat mencapai 689°C. Pada saat itu kondisi kawat sudah tidak memungkinkan lagi untuk terjadi pemuaian, sehingga timbul tegangan akibat kompresi pada kawat, yang disebut tegangan termal. Tegangan ini dapat menjadi sangat besar sehingga mampu menegangkan kawat melampaui batas elastiknya dan mencapai titik putusnya.

4.4 Analisa Perubahan Fisik Pada Material

Pemanasan pada kabel akibat arus yang jauh lebih besar tidak hanya dapat mengakibatkan kegagalan pada isolasi saja, tetapi dapat menimbulkan api pada beberapa material. Hal ini dapat menjadi cikal bakal kebakaran, oleh karena itu dilakukan pengujian pada beberapa material yang mudah terbakar seperti kayu, karpet, kertas, kain, fibre, dan daun kering. Material-material ini cenderung menjadi media peralihan dari api yang kecil menjadi api yang besar. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh besarnya arus dalam suatu konduktor dalam hubungannya dengan temperatur dan resistansi bahan material lain

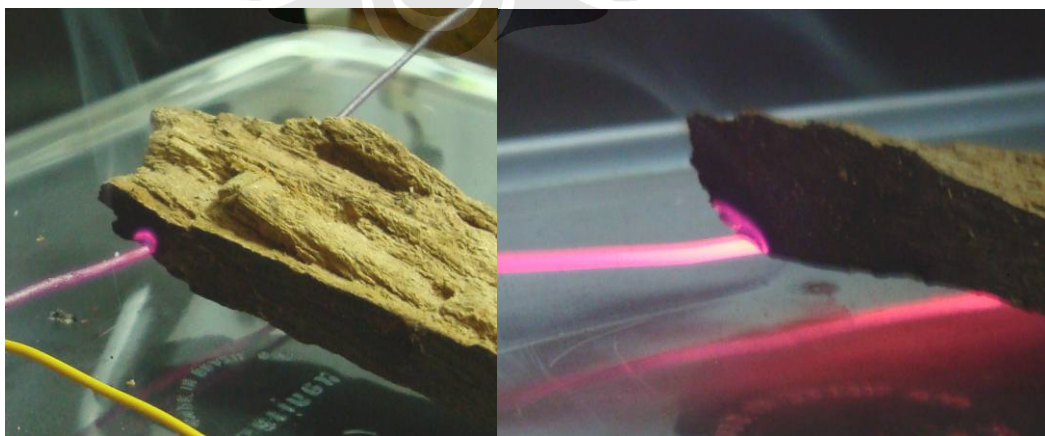
4.4.1 Perubahan Kondisi Kayu Kering Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.



Gambar 4.20 Kayu pada 45A (194°C) dan 50A (252°C)



Gambar 4.21 Kayu pada 55A (274°C) dan 70A (407°C)



Gambar 4.22 Kayu pada 75A (481°C) dan 85A (545°C)

Pada pengujian ini, serbuk kayu diletakan pada kawat penghantar dengan arus yang bervariasi.

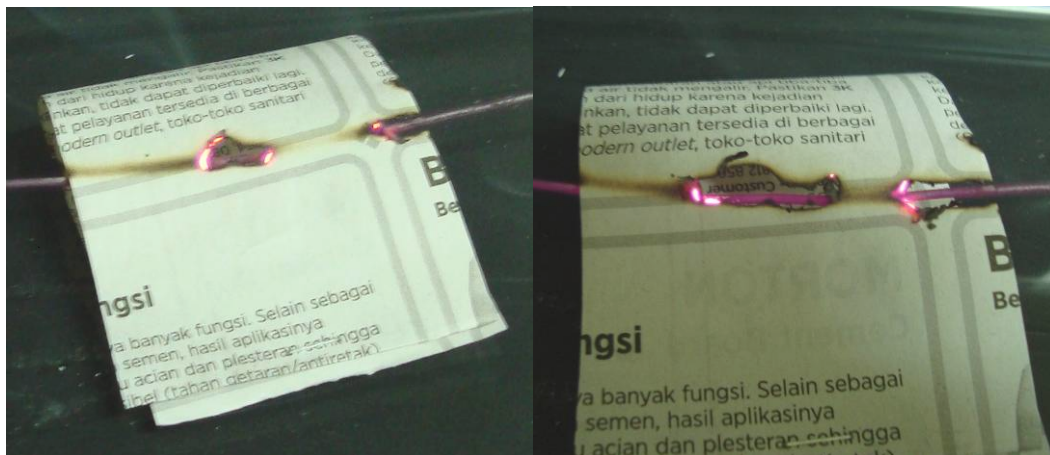
Gambar kayu kering pada 45A (194°C) dan 50A (252°C) menunjukkan kayu belum mengalami perubahan yang signifikan akibat panas pada kawat penghantar yang mencapai 252°C. Perubahan mulai terjadi ketika arus sebesar 55 ampere mengalir pada kawat penghantar, pada suhu sebesar 274°C kayu mulai berasap setelah menyentuh kawat selama 2,72 sekon. Adanya api pada permukaan kayu muncul pada arus 70 ampere dengan waktu 5,07 sekon dan dengan suhu sebesar 407°C dan semakin besar dan cepat seiring dengan bertambahnya arus. Pada arus sebesar 85 ampere kayu terbakar setelah 4,20 sekon. Kenaikan suhu sangat berpengaruh terhadap isolasi dan sifat mekanik bahan. Apabila bahan melampaui batas termis atau temperatur kritis bahan tersebut maka akan terjadi rusaknya struktur bahan, dalam hal ini hangus terbakar.

Dalam kasus kebakaran, kayu merupakan salah satu media perambatan api yang mudah sekali terbakar namun sulit untuk dipadamkan.

4.4.2 Perubahan Kondisi Kertas Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.



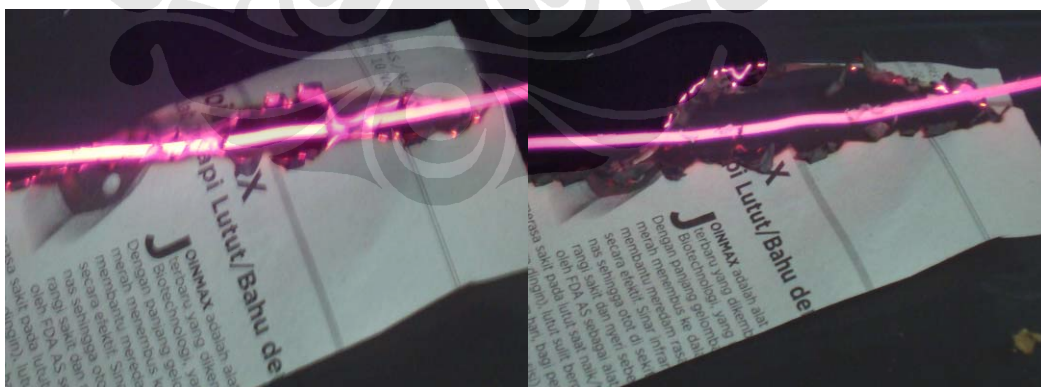
Gambar 4.23 Kertas pada 45A,50A (Kiri) dan 55A (Kanan)



Gambar 4.24 Kertas pada 70A (407°C)



Gambar 4.25 Kertas pada 75A (481°C)



Gambar 4.26 Kertas pada 85A (545°C)

Pada pengujian ini, kertas diletakan pada kawat penghantar dengan arus yang bervariasi.

Kertas belum mengalami perubahan yang signifikan akibat panas pada kawat dengan arus 45A (194°C) dan 50A (252°C). Namun pada 55ampere, kertas mulai berasap setelah menyentuh kawat penghantar selama 1 sekon dengan suhu yang mencapai 274°C. Pada arus yang mengalir sebesar 70 ampere dengan suhu sebesar 407°C kertas terbakar setelah 0,88 sekon dan semakin besar dan cepat seiring dengan bertambahnya arus. Pada 85 ampere kertas terbakar setelah 0,37 sekon. Kenaikan suhu sangat berpengaruh terhadap isolasi dan sifat mekanik bahan. Apabila bahan melampaui batas termis atau temperatur kritis bahan tersebut maka akan terjadi rusaknya struktur bahan, dalam hal ini hangus terbakar. Dalam pengujian ini, kertas merupakan bahan uji yang paling cepat terbakar.

Dilakukan juga pengujian untuk melihat terbakarnya kertas berdasarkan penyusunannya. Pada 70 ampere selembur kertas terbakar setelah 0,88 sekon, kertas yang tersusun 3 lembar terbakar setelah 3,46 sekon, dan kertas yang tersusun 10 lembar terbakar pada 9,34 sekon. Hal ini menunjukkan semakin tebal tumpukan kertas yang ada maka semakin lama kertas itu akan terbakar, namun ketika terbakar semakin banyak tumpukannya semakin besar api yang ditimbulkannya.

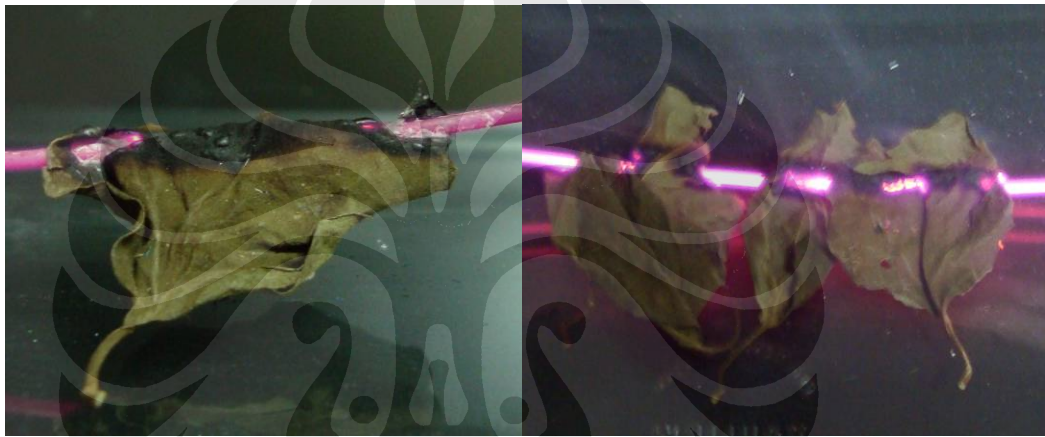
4.4.3 Perubahan Kondisi Daun Kering Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.



Gambar 4.27 Daun Kering pada 45A (194°C) dan 50A (252°C)



Gambar 4.28 Daun Kering pada 55A (274°C) dan 70A (407°C)

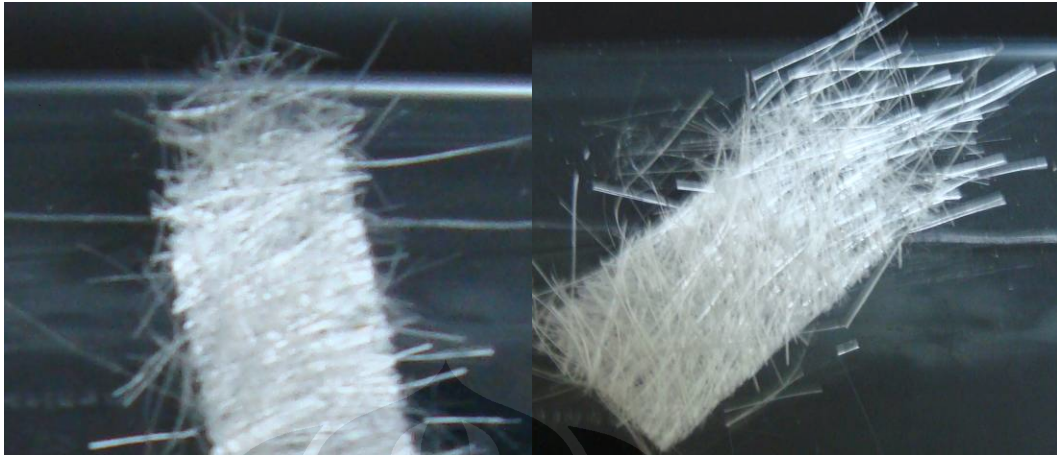


Gambar 4.29 Daun Kering pada 75A (481°C) dan 85A (545°C)

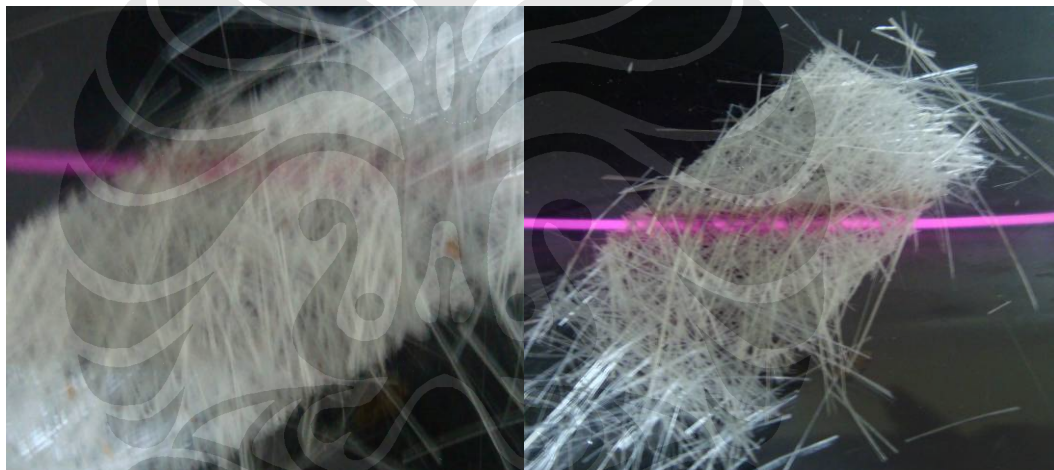
Pada pengujian ini, Daun kering diletakan pada kawat penghantar dengan arus yang bervariasi.

Daun kering pada 45A (194°C) belum mengalami perubahan akibat panas pada kawat penghantar. Mulai timbul asap pada 50A (252°C) setelah 2,11 sekon dan pada 55A (274°C) timbul asap setelah 1,55 sekon. Pada arus sebesar 70 ampere (407°C) yang mengalir pada kawat penghantar, daun kering terbakar setelah 0,91 sekon dan pada 85A (545°C) daun kering terbakar setelah 0,37 sekon.

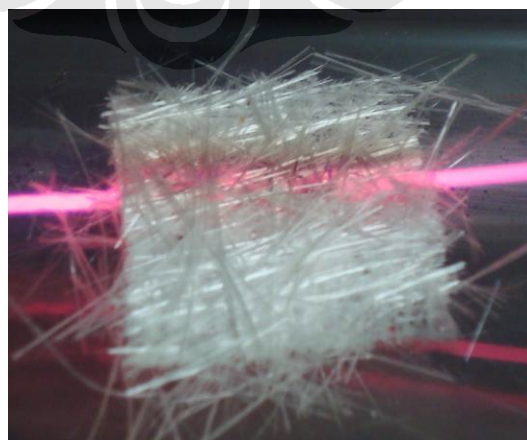
4.4.4 Perubahan Kondisi Fibre Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.



Gambar 4.30 Fiber pada 45A,50A (Kiri) dan 55A (Kanan)



Gambar 4.31 Fiber pada 70A (407°C) dan 75A (481°C)

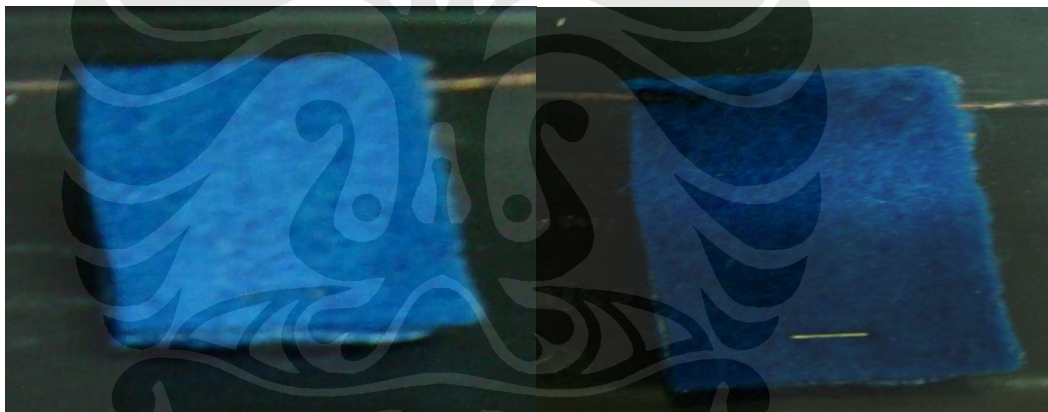


Gambar 4.32 Fiber pada 85A (545°C)

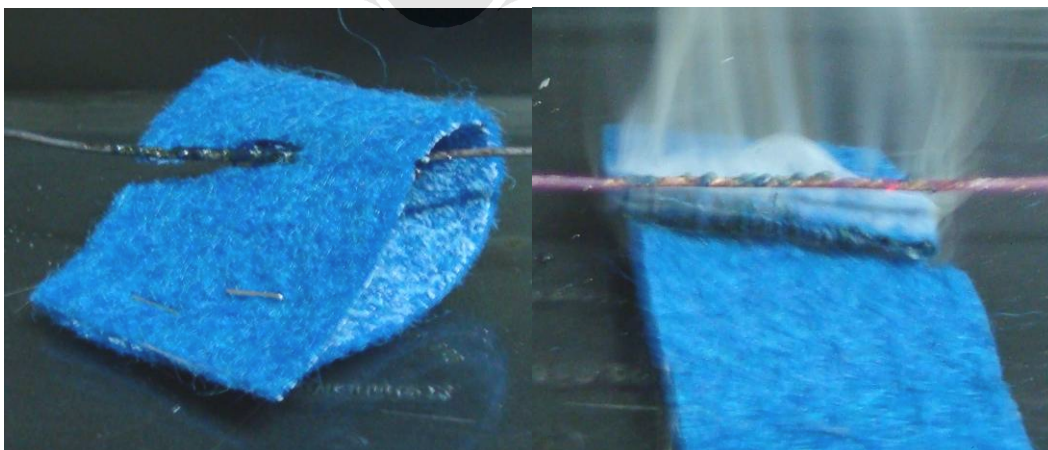
Pada pengujian ini, Serat Fibre diletakan pada kawat penghantar dengan arus yang bervariasi.

Fibre merupakan material yang cukup sulit terbakar karena sifatnya yang cenderung isolator, sehingga merupakan penghantar panas yang buruk. Pada 45A (194°C) sampai dengan 70 ampere, serat fibre belum mengalami perubahan akibat panas pada kawat penghantar yang mencapai 407°C. Perubahan mulai terjadi ketika arus sebesar 75 ampere mengalir pada kawat penghantar, pada suhu sebesar 481°C, setelah 1,41 sekon serat fibre mulai meleleh bahkan cenderung lengket terhadap kawat penghantar. Tidak timbul nyala api pada pengujian ini. Berdasarkan semua material uji pada pengujian ini, serat fibre memiliki resistansi termal paling baik karena paling sulit untuk berasap, meleleh dan terbakar.

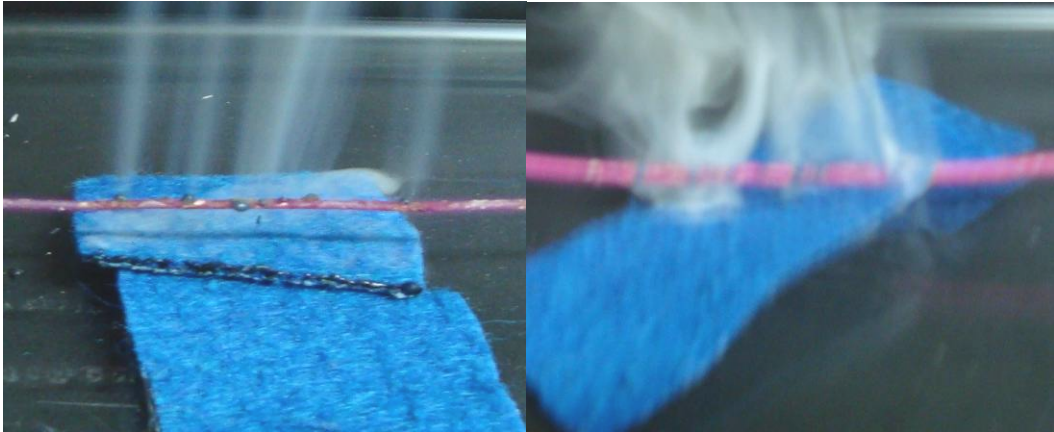
4.4.5 Perubahan Kondisi Karpet Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.



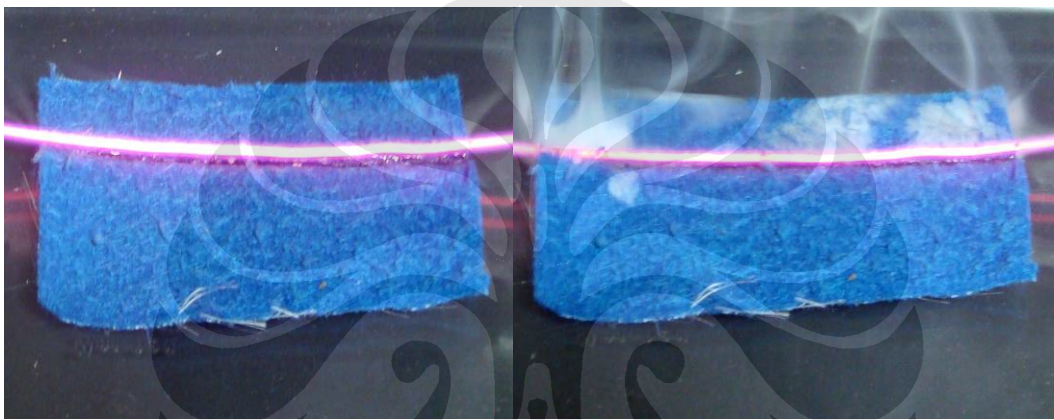
Gambar 4.33 Karpet pada 45A (194°C) dan 50A (252°C)



Gambar 4.34 Karpet pada 55A (274°C) dan 70A (407°C)



Gambar 4.35 Karpet pada 70A (407°C) dan 75A (481°C)

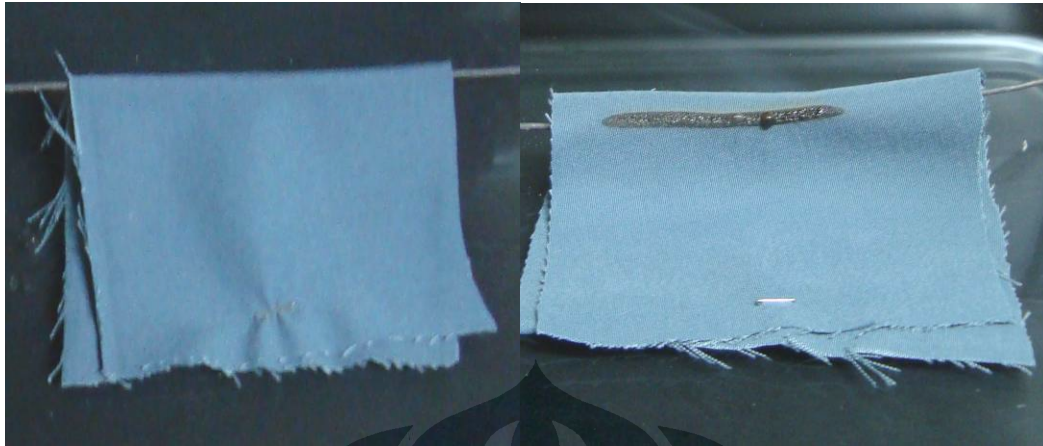


Gambar 4.36 Karpet pada 85A (545°C)

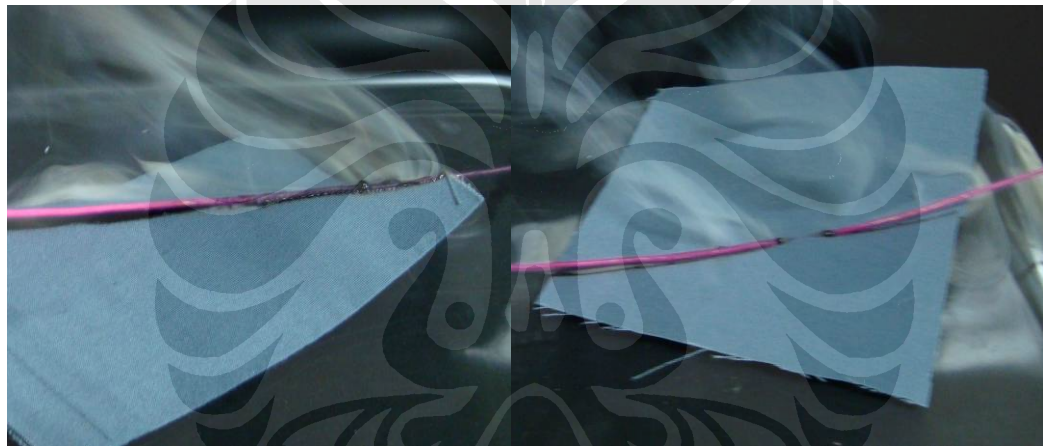
Pada pengujian ini, Karpet diletakan pada kawat penghantar dengan arus yang bervariasi.

Karpet tidak mengalami perubahan pada 45A (194°C). Pada 50A (252°C), setelah 1,55 sekon karpet mulai meleleh. Pada 55A (274°C) karpet meleleh setelah 1,24 sekon. Bahan karpet merupakan bahan yang paling mudah meleleh diantara bahan uji. Semakin besar arus yang dialirkan pada kawat penghantar, semakin tinggi suhunya, sehingga semakin mudah karpet meleleh apabila ditempelkan pada kawat penghantar. Sama halnya dengan serat fibre, karpet hanya cenderung untuk meleleh dan tidak terbakar.

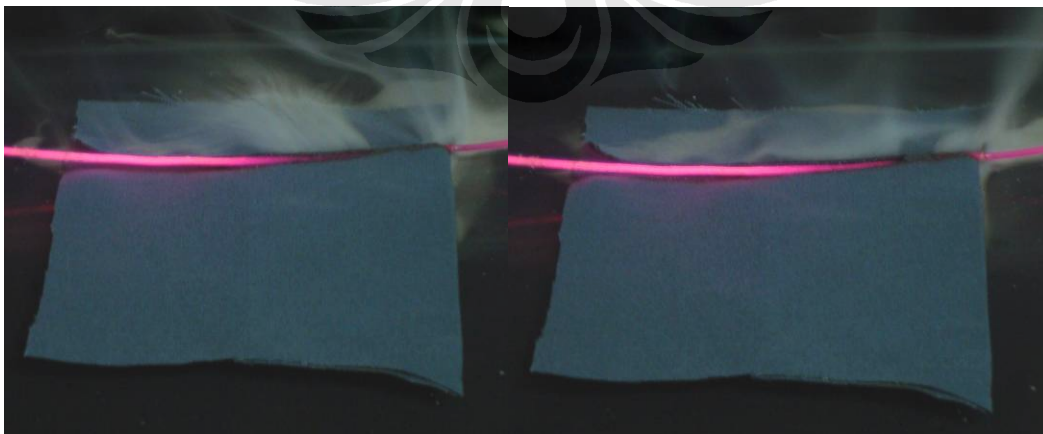
4.4.6 Perubahan Kondisi Kain Terhadap Perubahan Temperatur dan Arus Kabel.



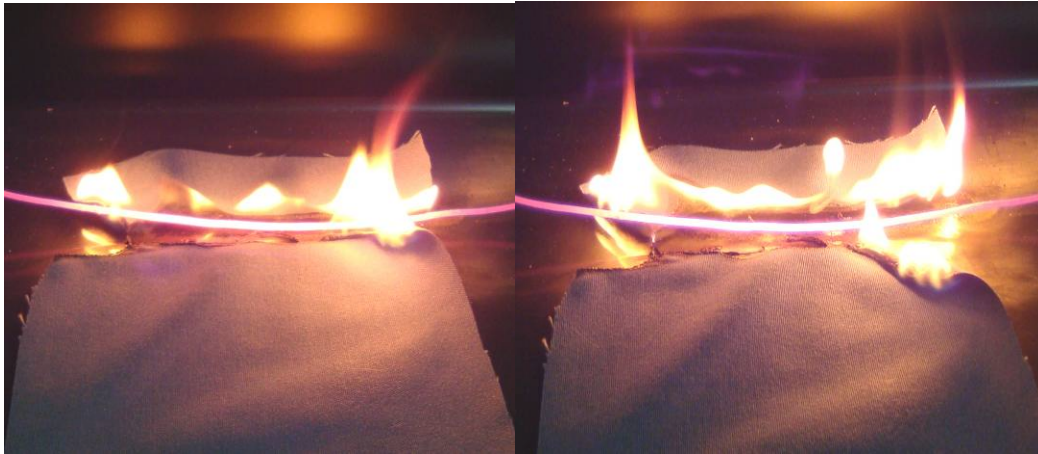
Gambar 4.37 Kain pada 55A,50A (Kanan) dan 45A (Kiri)



Gambar 4.38 Kain pada 70A (407°C) dan pada 75A (481°C)



Gambar 4.39 Kain pada 85A (545°C)



Gambar 4.40 Kain pada 85A (545°C)

Pada pengujian ini, Kain diletakan pada kawat penghantar dengan arus yang bervariasi.

Gambar Kain pada 45A (194°C) menunjukkan kayu belum mengalami perubahan yang signifikan akibat panas pada kawat penghantar yang mencapai 252°C. Perubahan mulai terjadi ketika arus sebesar 50A (274°C) dan 55 ampere (274°C) mengalir pada kawat penghantar, pada 50 ampere kain mulai meleleh setelah 3,23 sekon dan pada 55 ampere kain mulai meleleh setelah 2,52 sekon. Semakin besar arus yang dialirkan pada kawat penghantar, semakin tinggi suhunya, sehingga semakin mudah kain meleleh apabila ditempelkan pada kawat penghantar. Adanya api pada permukaan kain muncul pada arus 85 ampere dengan suhu sebesar 545°C, setelah 27,48 sekon dan semakin besar dan cepat seiring dengan bertambahnya arus. Berdasarkan gambar dapat terlihat, diantara semua material uji, efek terbakar yang paling besar dialami oleh bahan kain. Dalam kasus kebakaran, kain merupakan salah satu media perambatan api yang mudah sekali terbakar dan sulit untuk dipadamkan.

Pengujian beberapa bahan uji terhadap konduktor kabel, menunjukkan bahwa bahan yang paling mudah meleleh adalah karpet, bahan yang paling mudah terbakar adalah kertas, diikuti dengan daun kering, karena perbedaan waktu terbakarnya relatif singkat, bahan yang paling sulit meleleh adalah fibre, dan bahan yang paling lama terbakar adalah kain.

Berdasarkan hasil pengujian perubahan fisik pada bahan uji, dapat terlihat bahwa kecenderungan bahan mulai berasap pada kondisi kawat penghantar dengan arus sebesar 50 ampere dan terbakar pada kondisi kawat penghantar dengan arus 75 ampere. 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. Jadi, untuk arus yang besarnya normal, kecil kemungkinan terjadinya api pada material akibat perambatan panas dengan pemanasan pada kabel secara langsung.

4.5 Analisa Perbandingan Arus Dengan Temperatur Setimbang

Berdasarkan pada tabel-tabel kenaikan temperatur terhadap waktu, dapat terlihat bahwa kenaikan temperature yang cukup besar terjadi pada waktu awal pemberian arus. Semakin lama proses pemberian arus maka kenaikan temperatur yang terjadi semakin kecil, sampai pada suatu waktu tertentu dimana temperatur setimbang tercapai. Sesuai Tabel 4.20, semakin besar arus maka semakin besar kenaikan temperaturnya. Besar temperatur yang terjadi disebabkan oleh besarnya rugi-rugi panas yang terjadi. Panas tersebut sebanding dengan kuadrat dari arus yang mengalir pada inti kabel tersebut. Rugi-rugi panas tersebut dikonduksikan ke lingkungannya, dalam hal ini berupa udara sekitar inti kabel.

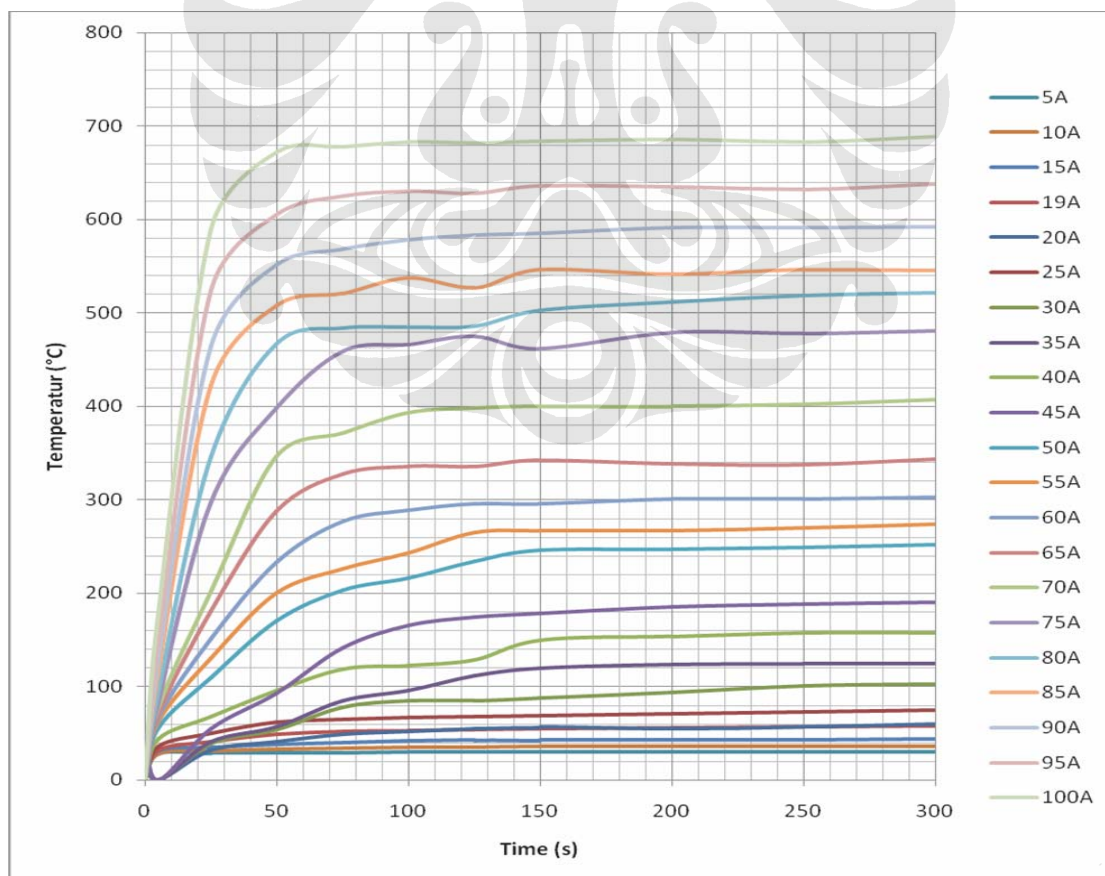
Tabel 4.20 Tabel Kenaikan temperatur

Arus I (A)	Δt (0- 5s)	Δt (25s)	Δt (50s)	Δt (75s)	Δt (100s)	Δt (125s)	Δt (150s)	Δt (200s)	Δt (250s)	Δt (300s)
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,3	1,4	1,2	1,4	1,4
5	0,7	1	1,4	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6	2,4	2,6
10	0,9	3,6	5,4	6,4	7,3	7,8	8	8,2	8	8,4
15	3,3	7,2	10,9	12,9	14,1	14,9	14,9	15,1	14,9	15,9
19	4,1	13,4	21,2	24,7	25,3	26,5	27,1	28,4	29,2	30,4
20	4,3	13,9	21,8	24,7	27,1	28,8	27,7	28,9	32,8	32,8
25	8,3	22,4	34,2	37,4	39,4	40,1	41,2	43,4	45	47,1
30	11,9	26	50,4	56,9	57,4	59,7	66,2	73,4	75,2	75,5
35	13	29,1	57,4	68,5	83,8	92,4	96,2	97,4	98,2	98,4
40	16,5	40,2	67,8	91,5	94,9	101,1	122,2	125,9	130,2	130,3
45	27,6	65,4	113,4	137,4	146,4	150,4	157,4	160,4	162,4	166,4
50	28,5	82,4	142,4	175,4	188,4	206,4	218,4	219,4	221,4	224,4
55	35,4	103,4	172,4	198,4	215,4	237,4	239,4	239,4	242,4	246,4
60	39,4	123,4	205,4	249,4	261,4	268,4	268,4	273,4	273,4	275,4
65	43,4	153,4	260,4	300,4	308,4	308,4	314,4	310,4	309,4	315,4
70	50,4	174,4	318,4	343,4	365,4	370,4	372,4	374,4	374,4	379,4
75	56,4	270,4	370,4	431,4	438,4	447,4	434,4	451,4	450,4	453,4
80	68,4	318,4	439,4	456,4	457,4	458,4	475,4	484,4	491,4	494,4
85	89,4	395,4	480,4	493,4	509,4	499,4	518,4	513,4	518,4	517,4

90	102,4	437,4	523,4	540,4	550,4	555,4	557,4	563,4	563,4	564,4
95	120,4	497,4	577,4	597,4	602,4	600,4	605,4	607,4	604,4	610,4
100	151,4	562,4	644,4	646,4	651,4	650,4	652,4	654,4	651,4	657,4

Berdasarkan grafik dapat kita lihat bahwa proses kesetimbangan pada kabel secara umum cenderung terjadi setelah 150 second. Sebelum 150 second perubahan atau kenaikan temperatur terjadi sangat cepat terutama pada 0 sampai 50 second.

Fluktuasi pada kurva grafik disebabkan oleh perubahan arus dan suhu yang terjadi pada kabel dalam prosesnya untuk mencapai keadaan setimbang. Kondisi setimbang yang dimaksud adalah kondisi dimana tercapainya sebuah keseimbangan antara energi panas pada inti kabel dan energi panas yang dilepas pada lingkungannya. Panas tersebut melalui resistansi termal inti kabel yang besarnya berubah seiring dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin besar temperaturnya, semakin besar rugi dayanya, dan semakin kecil resistansi termalnya.



Gambar 4.41 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm²

Berdasarkan grafik diatas, dapat terlihat bahwa temperatur yang stabil, relatif kecil dan cepat mencapai kesetimbangan diperoleh pada saat arus yang diberikan pada kawat penghantar sesuai dengan batas rating arus maksimum yang diperbolehkan yaitu 19 ampere. Hal ini digunakan sebagai kondisi acuan penetapan rating kabel.

Pada kondisi diatas rating arus maksimum kabel, temperatur kawat mengalami kenaikan yang cukup tinggi dan cenderung tidak stabil. Tetapi semakin besar arus yang diberikan semakin cepat mencapai titik setimbangnya, hal ini dapat kita lihat pada grafik 20 ampere sampai dengan 100 ampere. Ketidakstabilan ini disebabkan adanya pemuaian yang terjadi pada kawat penghantar. dimana, pada saat memuai struktur kawat mengalami perubahan yang mengakibatkan daya hantar panasnya terganggu. Berdasarkan karakteristik termalnya, pemuaian sebanding dengan kenaikan suhu atau Δt .

Hubungan antara temperatur dan waktu yang menggambarkan keadaan transien sampai setimbang dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$\Delta T = \Delta T_m \left(1 - e^{-t/\tau_t} \right)$$

Dimana:

ΔT : kenaikan temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

ΔT_m : kondisi temperatur setimbang, $\Delta T_m = q.R_T$

t : waktu [s]

τ_t : termal *time-constant*

Berdasarkan Persamaan diatas, kenaikan temperatur berbanding lurus dengan temperatur stabil. Dimana semakin tinggi kesetimbangannya, maka kenaikan temperatur yang dialami juga semakin besar.

Kenaikan temperatur setimbang dirumuskan sebagai berikut,

$$\Delta T = R_t \cdot q$$

dimana ΔT adalah kenaikan temperature, q merupakan aliran panas rata-rata dan R_t adalah resitansi termal. Berdasarkan Persamaan diatas, dapat dikatakan bahwa semakin besar kenaikan temperatur maka semakin besar pula resistansi termalnya.



BAB 5

KESIMPULAN

1. Kabel NYM 2 x 1,5 mm² memiliki resistansi termal 12 kali lipat dari batas kuat hantar arus maksimal yang diizinkan sampai mencapai kondisi kegagalan pada kabel yaitu konduktor terputus. Penggunaan arus yang sesuai pada kabel ini sangat meminimalisasi kemungkinan kerusakan dan kenaikan suhu yang tinggi pada kabel.
2. Berdasarkan pengujian, kawat penghantar terputus pada saat mengalir arus sebesar 100 ampere dengan suhu sebesar 689 °C. Terputusnya kawat disebabkan kawat sudah tidak memungkinkan lagi untuk terjadi pemuaian, sehingga timbul tegangan termal akibat kompresi pada kawat yang melampaui batas elastik kawat dan mencapai titik putusnya.
3. Perambatan panas pada bahan yang ditempelkan pada kawat penghantar membutuhkan arus yang sangat besar dan suhu yang sangat tinggi untuk mencapai titik bakarnya, terlihat pada kecenderungan bahan mulai berasap pada kondisi kawat penghantar dengan arus sebesar 50 ampere dan mulai terbakar pada kondisi kawat penghantar dengan arus 75 ampere.
4. Pada kondisi diatas rating arus maksimum kabel, temperatur kawat mengalami kenaikan yang cukup tinggi dan cenderung tidak stabil. Tetapi semakin besar arus yang diberikan semakin cepat mencapai titik setimbangnya. Ketidakstabilan ini disebabkan adanya pemuaian yang terjadi pada kawat penghantar. dimana, pada saat memuai struktur kawat mengalami perubahan yang mengakibatkan daya hantar panasnya terganggu.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Arismunandar, Artono, "*Teknik Tegangan Tinggi*", Jakarta, Pradnya Paramita, 2001.
- [2] Burhani, Ahmad., "*Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel XLPE Tegangan Menengah 20 KV*" Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Juni 2005.
- [3] Farizandi, Dananto., "*Analisis Karakteristik Penghantar Kabel Fleksibel Dengan Penghantar Kabel Inti Tunggal NYM 2,5 mm² Dan 4mm²*" Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Juli 2004.
- [4] Incropera, F.P., DeWitt, D., "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Singapore, John Wiley & Sons, 2002.
- [5] Sears, F.W., Zemansky, Mark W., "*University Physics*", Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1982.
- [6] Setiabudy, Rudy, "*Material Teknik Listrik*", Edisi pertama, Jakarta : UI-Press, 2007.
- [7] Standar Perusahaan Umum Listrik Negara, "*Kabel berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500Volt (NYM)*", Jakarta : SPLN 1992.
- [8] Tipler, Paul A., *Physics for Scientists and Engineers Vol. 1&2*, Edisi ketiga, New York : Worth Publishers, 1995.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono, "*Teknik Tegangan Tinggi*", Jakarta, Pradnya Paramita, 2001.
- Burhani, Ahmad., " *Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel XLPE Tegangan Menengah 20 KV*" Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Juni 2005.
- Farizandi, Dananto., " *Analisis Karakteristik Penghantar Kabel Fleksibel Dengan Penghantar Kabel Inti Tunggal NYM 2,5 mm² Dan 4mm²*" Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Juli 2004.
- Incropera, F.P., DeWitt, D., "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Singapore, John Wiley & Sons, 2002.
- Sears, F.W., Zemansky, Mark W., "*University Physics*", Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1982.
- Setiabudy, Rudy, "*Material Teknik Listrik*", Edisi pertama, Jakarta : UI-Press, 2007.
- Standar Perusahaan Umum Listrik Negara, "*Kabel berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500Volt (NYM)*", Jakarta : SPLN 1992.
- Tipler, Paul A., *Physics for Scientists and Engineers Vol. 1&2*, Edisi ketiga, New York : Worth Publishers, 1995.

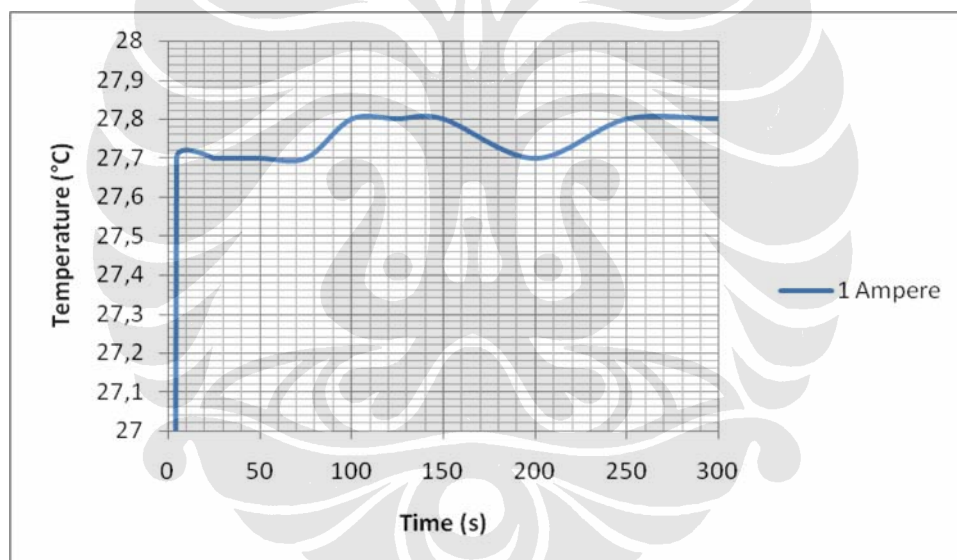
LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Dan Grafik Kenaikan Temperatur Kabel.

Tabel 4.1 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 1A

Arus (I)	1 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	27,7	27,7	27,7	27,7	27,8	27,8	27,8	27,7	27,8	27,8

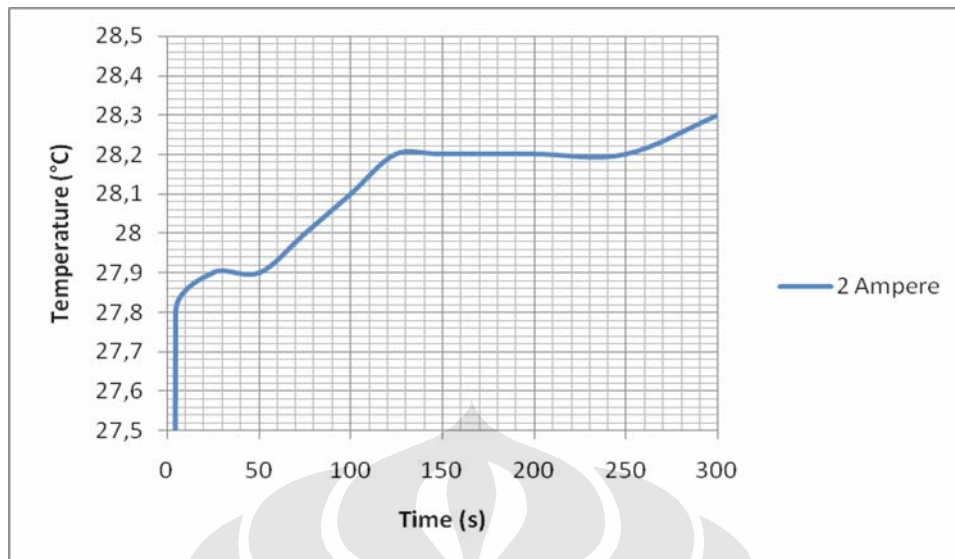
Grafik 4.1 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm²
Dialiri Arus 1A



Tabel 4.2 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 2A

Arus (I)	2 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	27,8	27,9	27,9	28	28,1	28,2	28,2	28,2	28,2	28,3

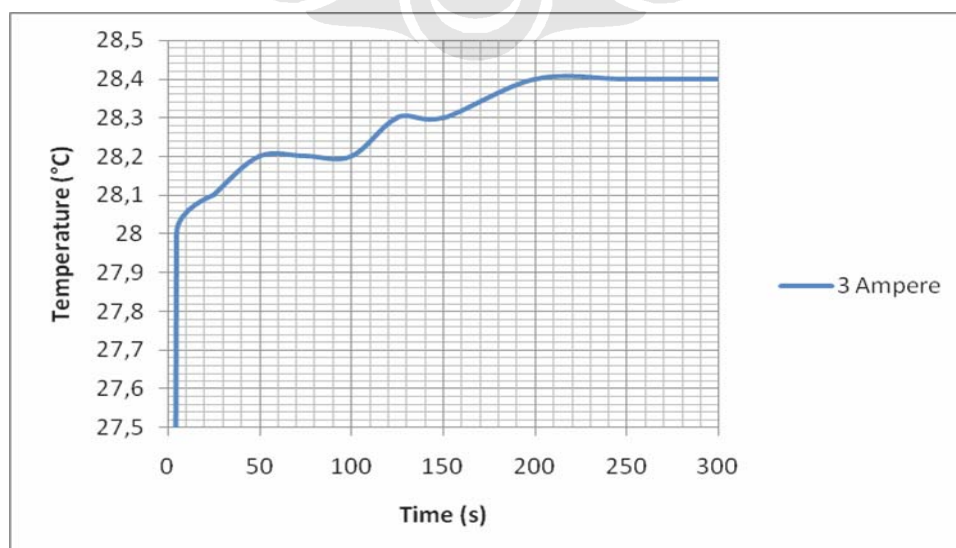
Grafik 4.2 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 2A



Tabel 4.3 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 3A

Arus (I)	3 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	28	28,1	28,2	28,2	28,2	28,3	28,3	28,3	28,4	28,4

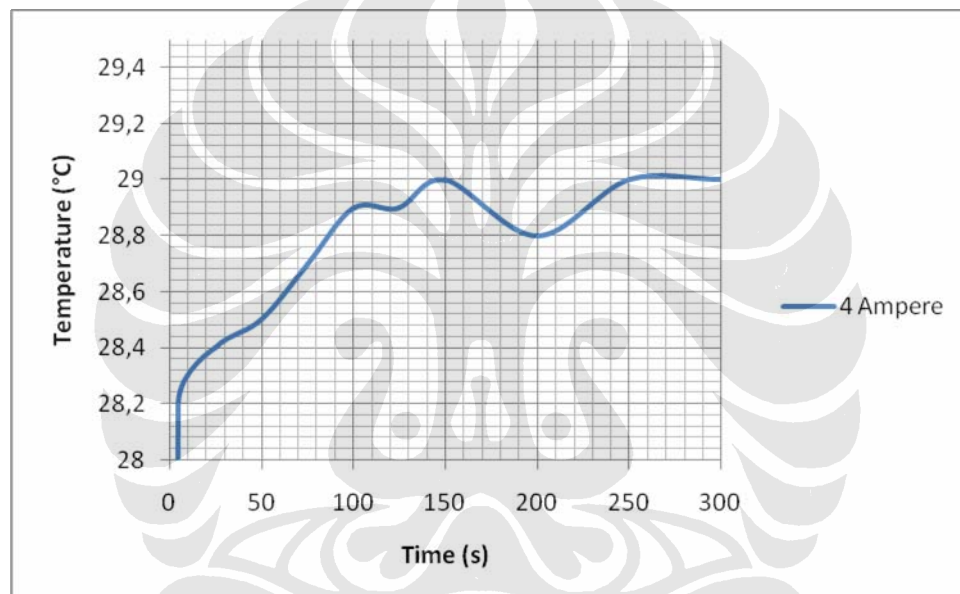
Grafik 4.3 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 3A



Tabel 4.4 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 4A

Arus (I)	4 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	28,2	28,4	28,5	28,7	28,9	28,9	29	28,8	29	29

Grafik 4.4 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm²
Dialiri Arus 4A

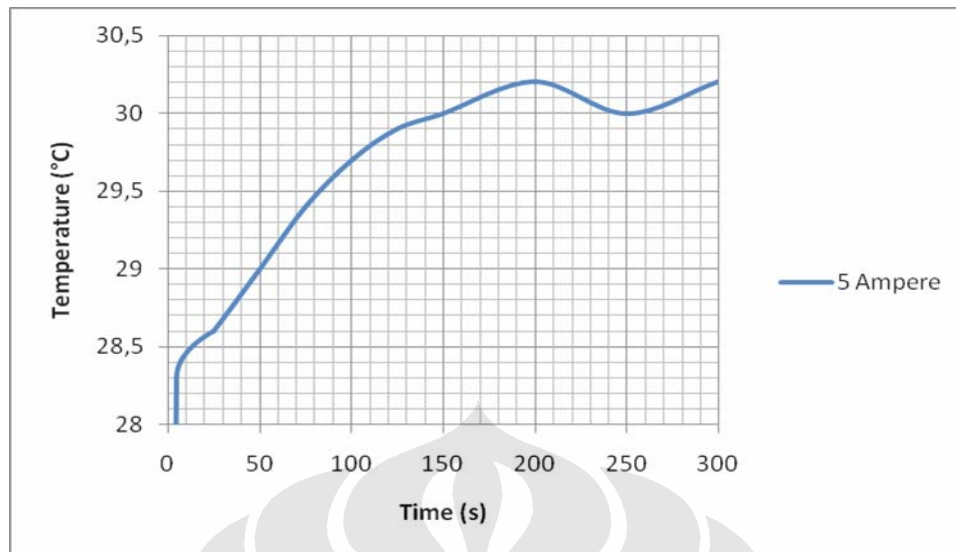


Tabel 4.5 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda

2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 5A

Arus (I)	5 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	28,3	28,6	29	29,4	29,7	29,9	30	30,2	30	30,2

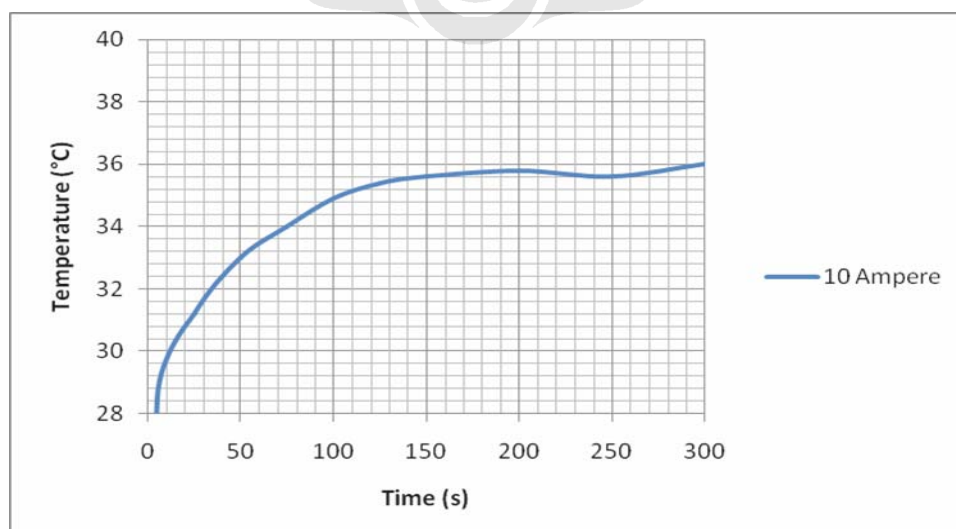
Grafik 4.5 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 5A



Tabel 4.6 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 10A

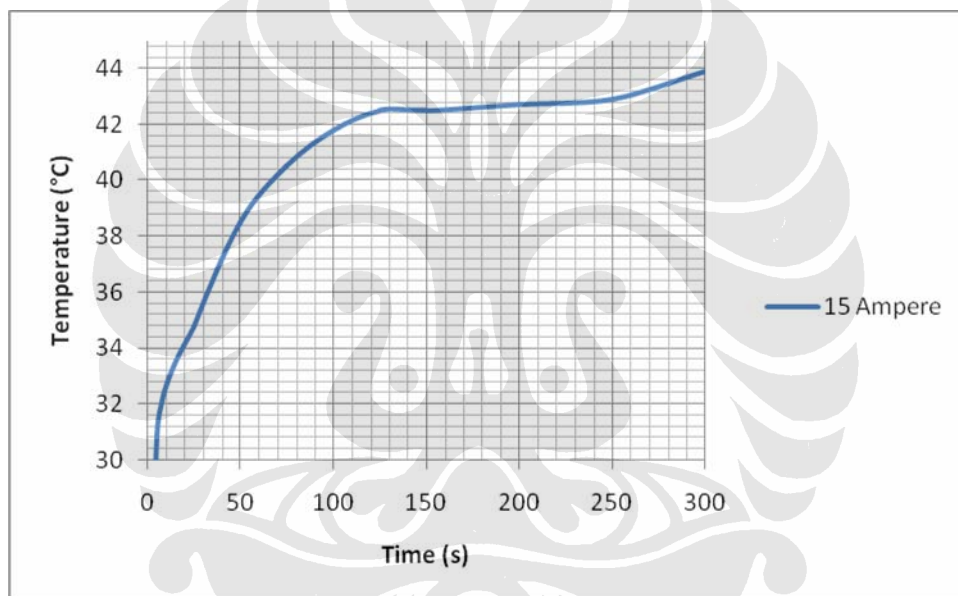
Arus (I)	10 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	28,5	31,2	33	34	34,9	35,4	35,6	35,8	35,6	36

Grafik 4.6 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 10A



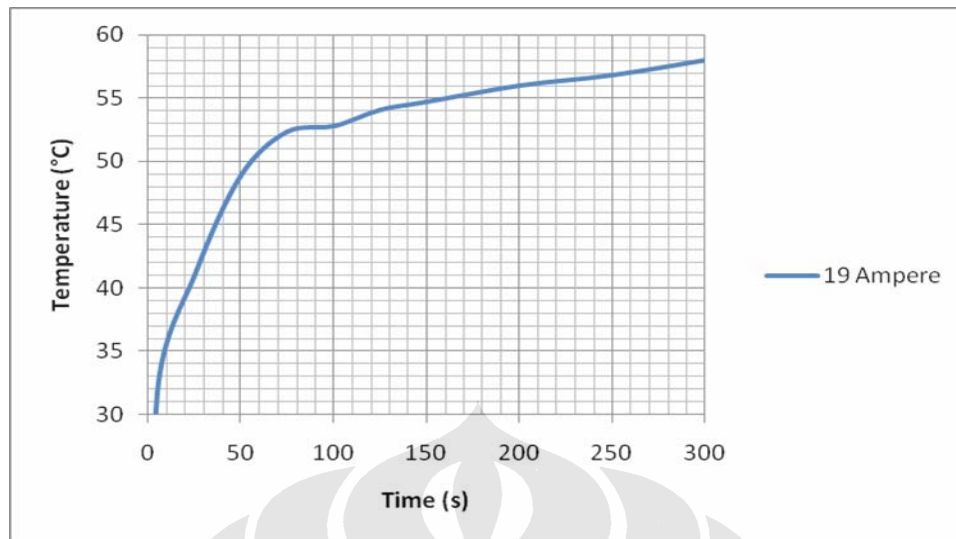
Tabel 4.7 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 15A

Arus (I)	15 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	30,9	34,8	38,5	40,5	41,8	42,5	42,5	42,7	42,9	43,9

Grafik 4.7 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 15A**Tabel 4.8** Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 19A

Arus (I)	19 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	31,7	41	48,8	52,3	52,8	54,1	54,7	56	56,8	58

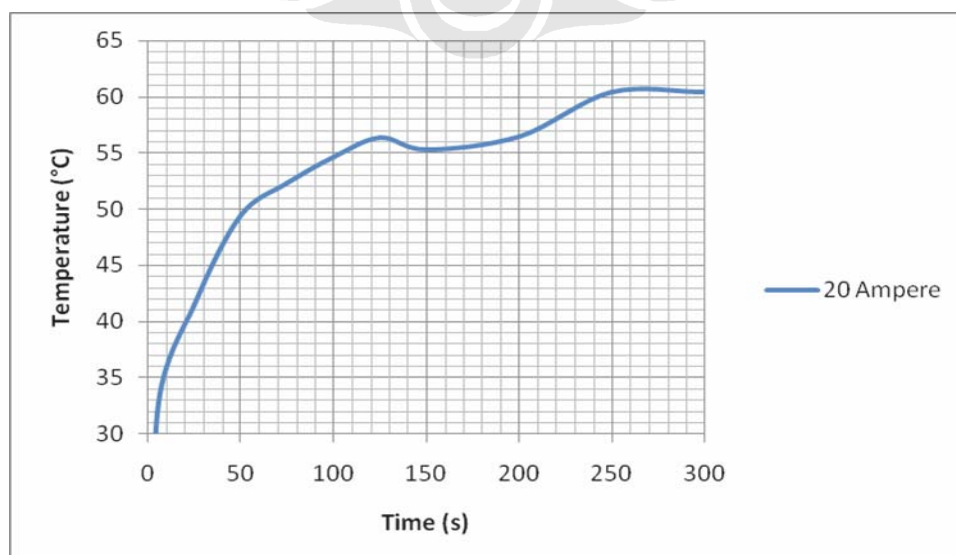
Grafik 4.8 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 19A



Tabel 4.9 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 20A

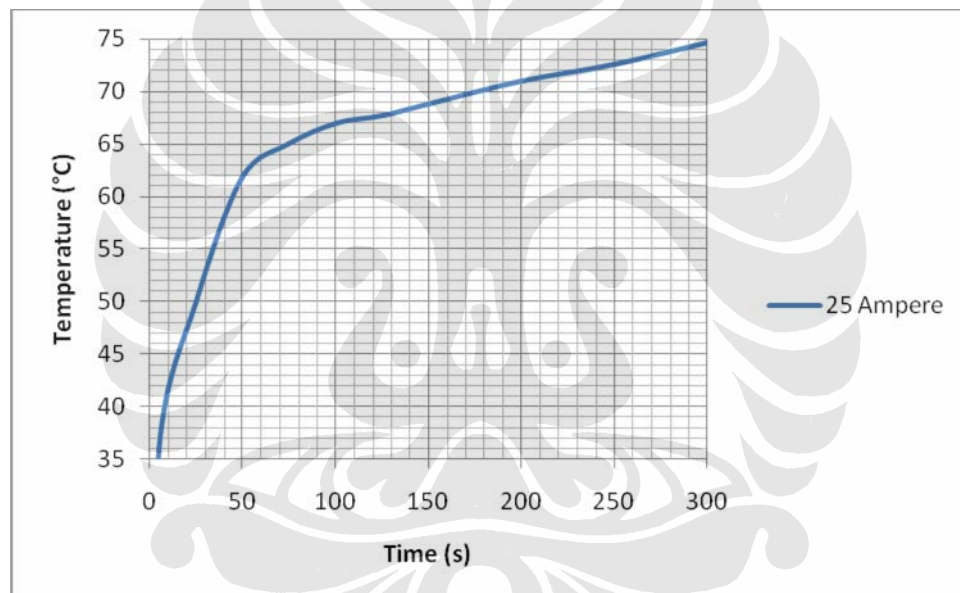
Arus (I)	20 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	31,9	41,5	49,4	52,3	54,7	56,4	55,3	56,5	60,4	60,4

Grafik 4.9 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 20A



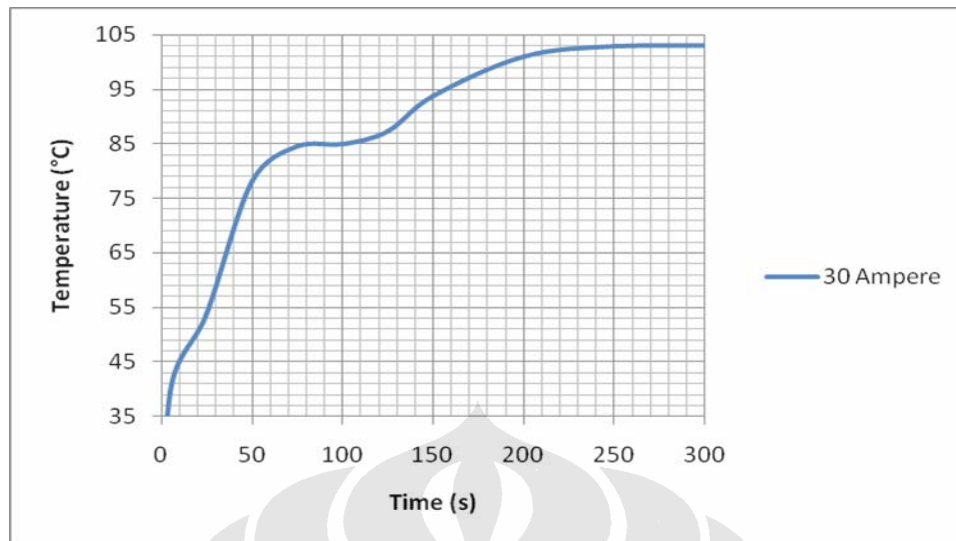
Tabel 4.10 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 25A

Arus (I)	25 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	35,9	50	61,8	65	67	67,7	68,8	71	72,6	74,7

Grafik 4.10 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 25A**Tabel 4.11** Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 30A

Arus (I)	30 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	39,5	53,6	78	84,5	85	87,3	93,8	101	102,8	103

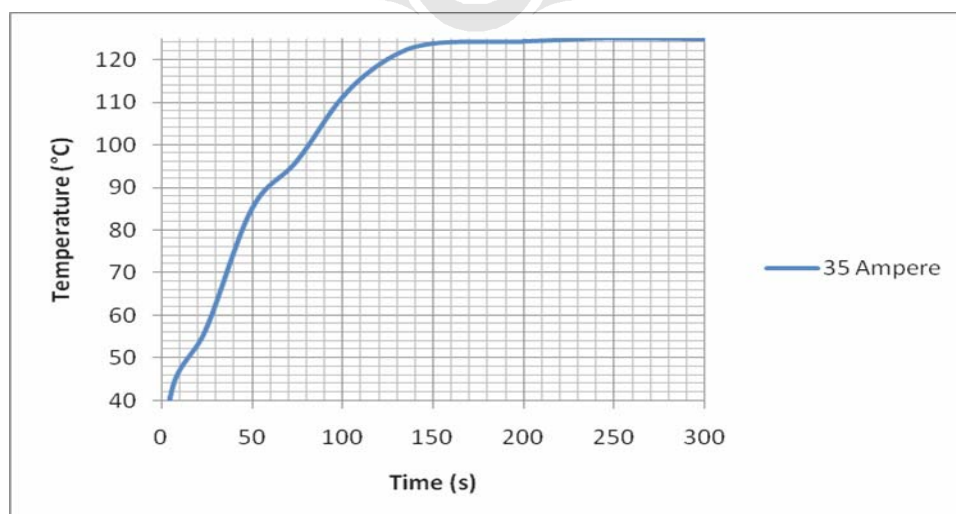
Grafik 4.11 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 30A



Tabel 4.12 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 35A

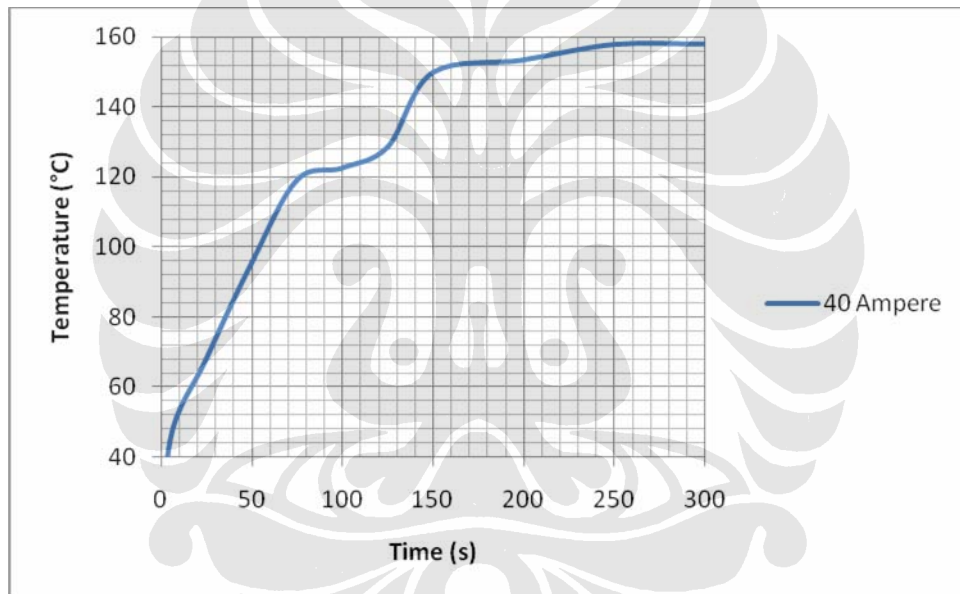
Arus (I)	35 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	40,6	56,7	85	96,1	111,4	120	123,8	124,2	125	124,8

Grafik 4.12 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 35A



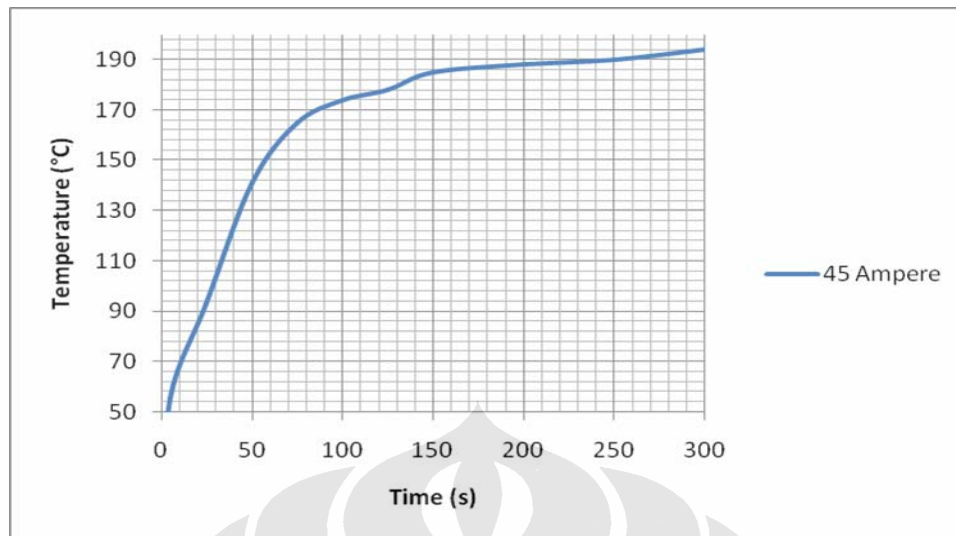
Tabel 4.13 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 40A

Arus (I)	40 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	44,1	67,8	95,4	119	122,5	128,7	149,8	153,5	157,8	157,9

Grafik 4.13 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 40A**Tabel 4.14** Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 45A

Arus (I)	45 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	55,2	93	141	165	174	178	185	188	190	194

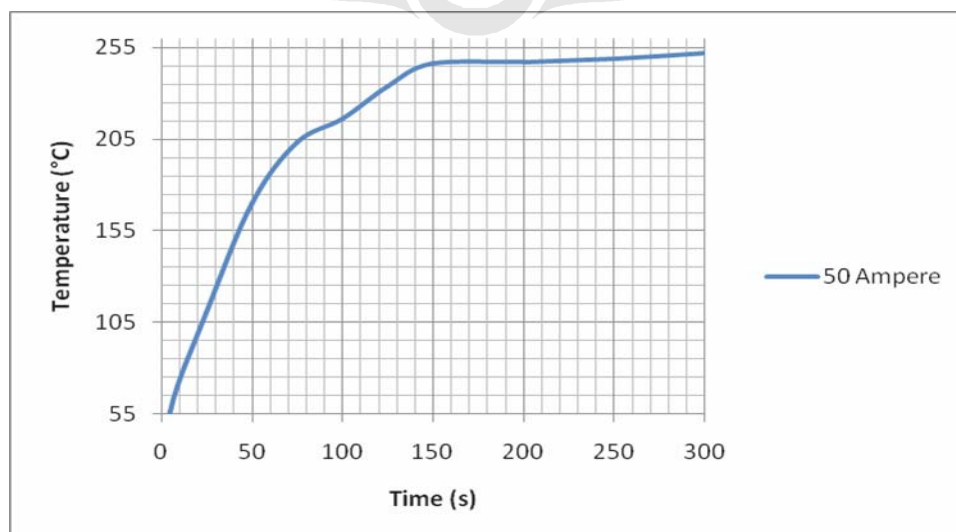
Grafik 4.14 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 45A



Tabel 4.15 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 50A

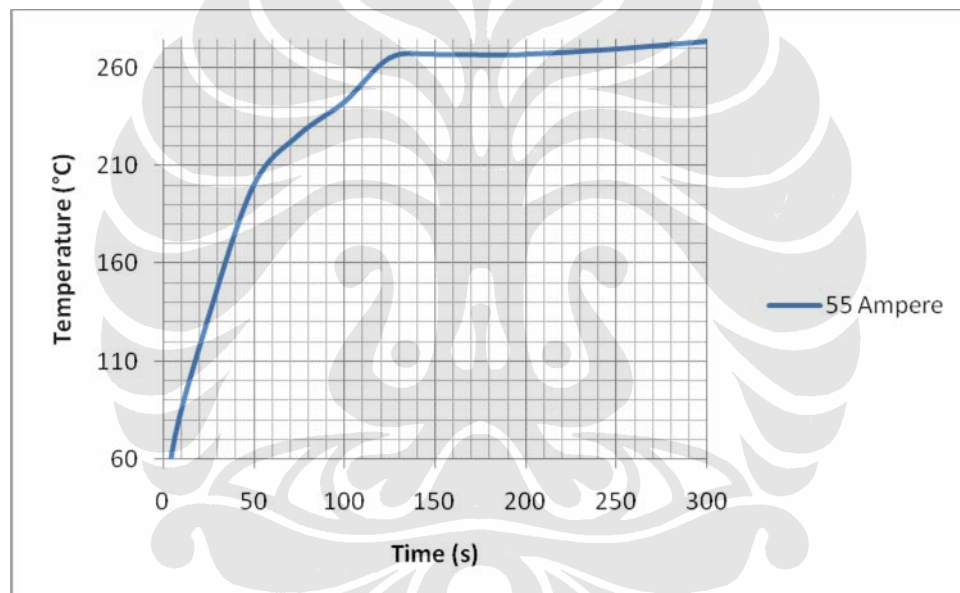
Arus (I)	50 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	56,1	110	170	203	216	234	246	247	249	252

Grafik 4.15 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 50A



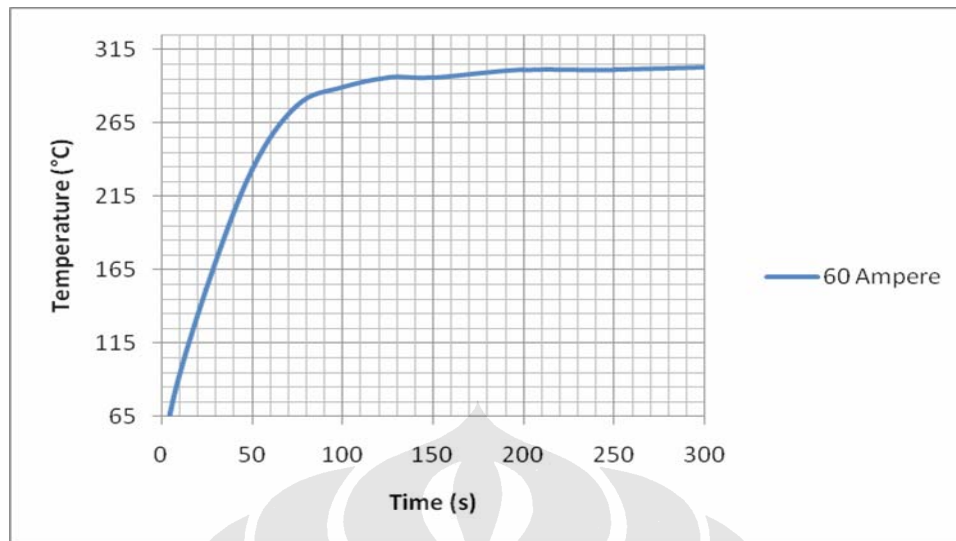
Tabel 4.16 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 55A

Arus (I)	50 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	63	131	200	226	243	265	267	267	270	274

Grafik 4.16 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 55A**Tabel 4.17** Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 60A

Arus (I)	60 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	67	151	233	277	289	296	296	301	301	303

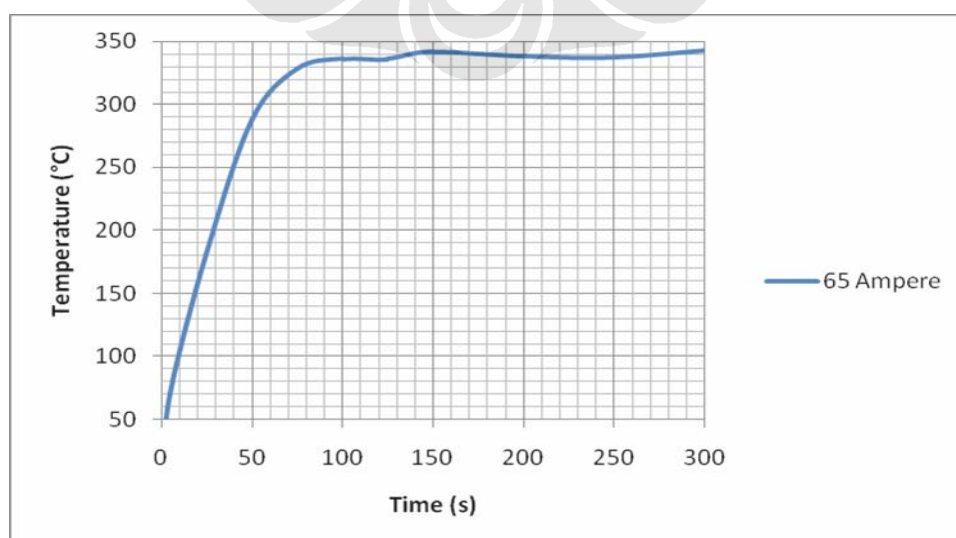
Grafik 4.17 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 60A



Tabel 4.18 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 65A

Arus (I)	65 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	71	181	288	328	336	336	342	338	337	343

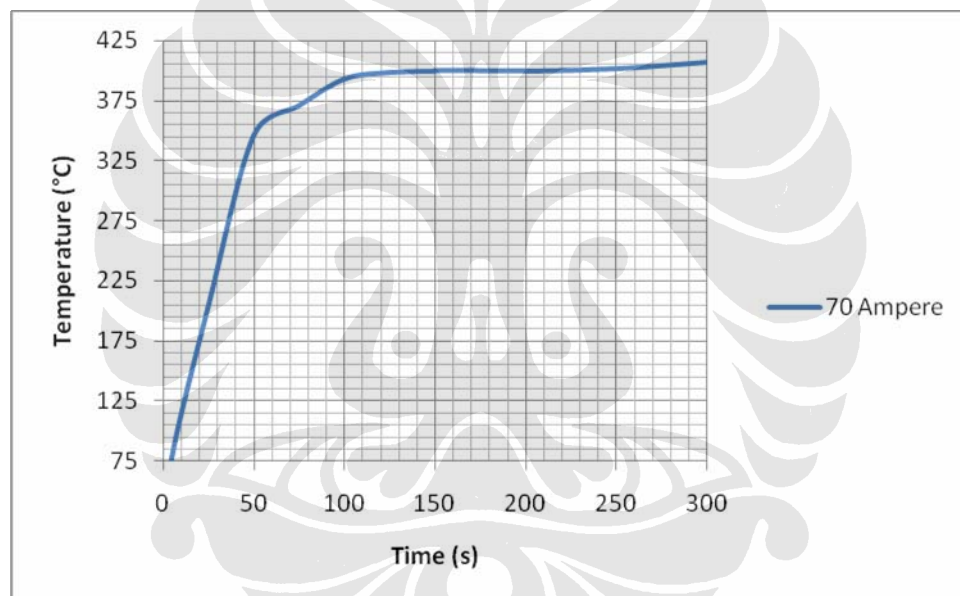
Grafik 4.18 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 65A



Tabel 4.19 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 70A

Arus (I)	70 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	78	202	346	371	393	398	400	400	402	407

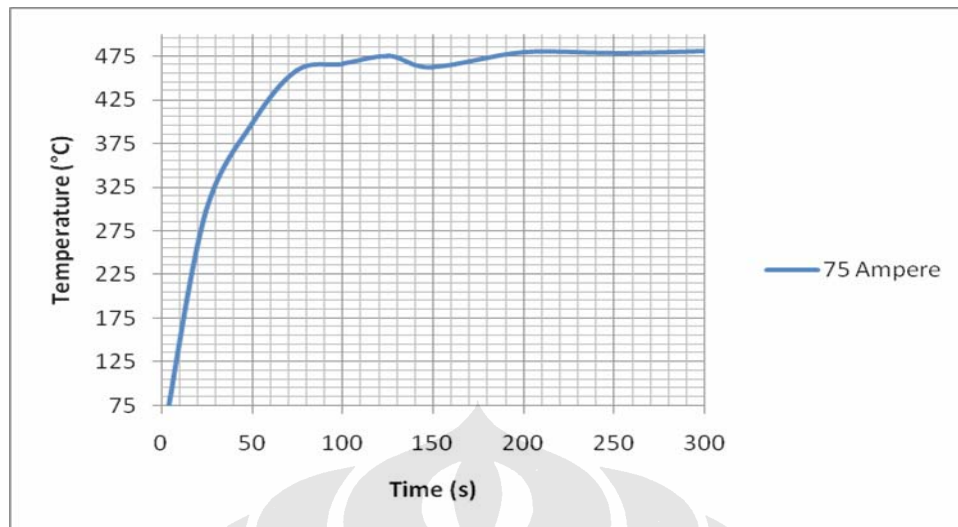
Grafik 4.19 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm²
Dialiri Arus 70A



Tabel 4.20 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 75A

Arus (I)	70 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	84	298	398	459	466	475	462	479	478	481

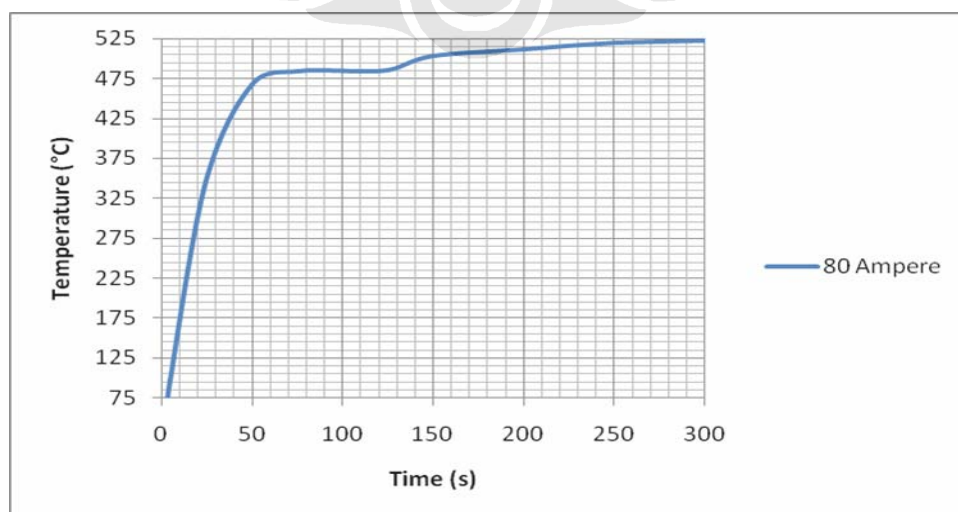
Grafik 4.20 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 75A



Tabel 4.21 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 80A

Arus (I)	80 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	96	346	467	484	485	486	503	512	519	522

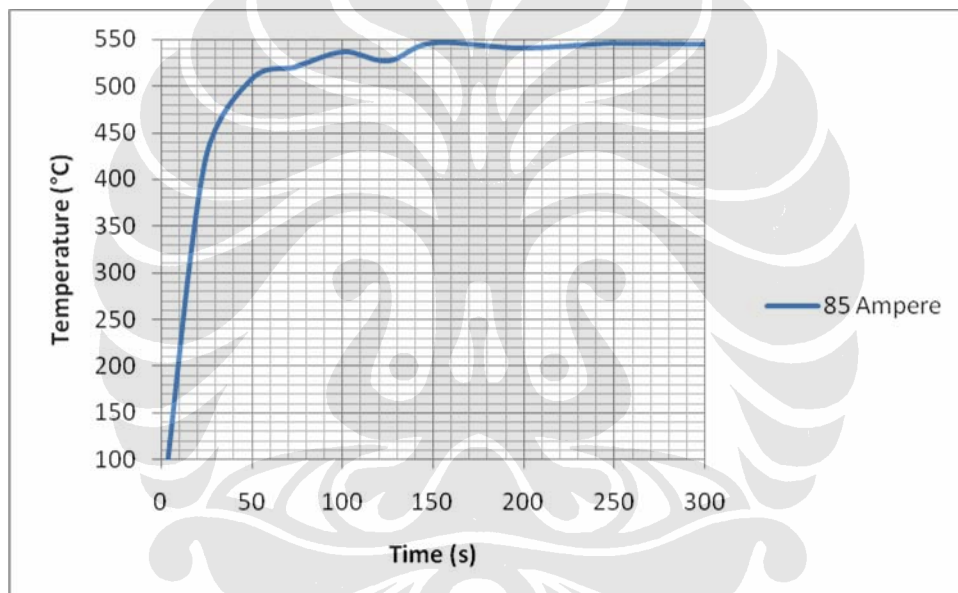
Grafik 4.21 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Dialiri Arus 80A



Tabel 4.22 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 85A

Arus (I)	85 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	117	423	508	521	537	527	546	541	546	545

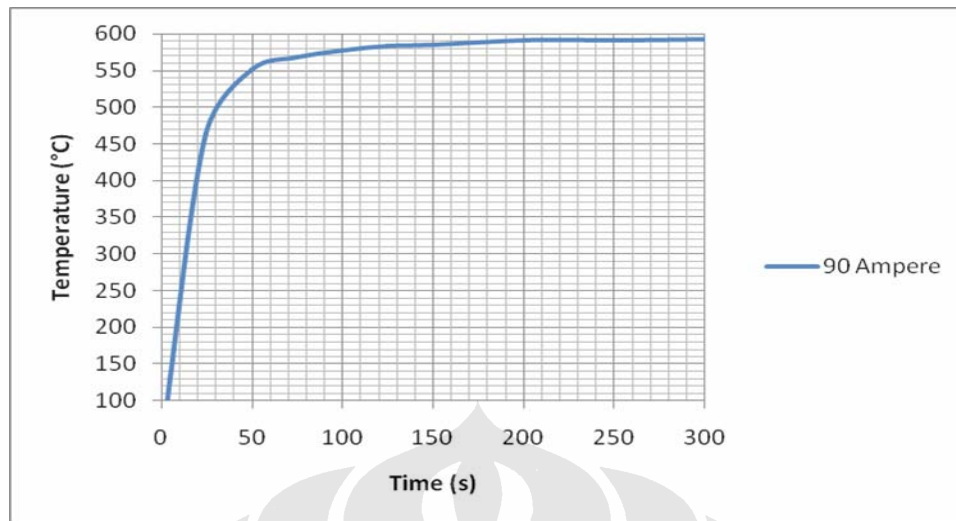
Grafik 4.22 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm²
Dialiri Arus 85A



Tabel 4.23 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 90A

Arus (I)	90 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	130	465	551	568	578	583	585	591	591	592

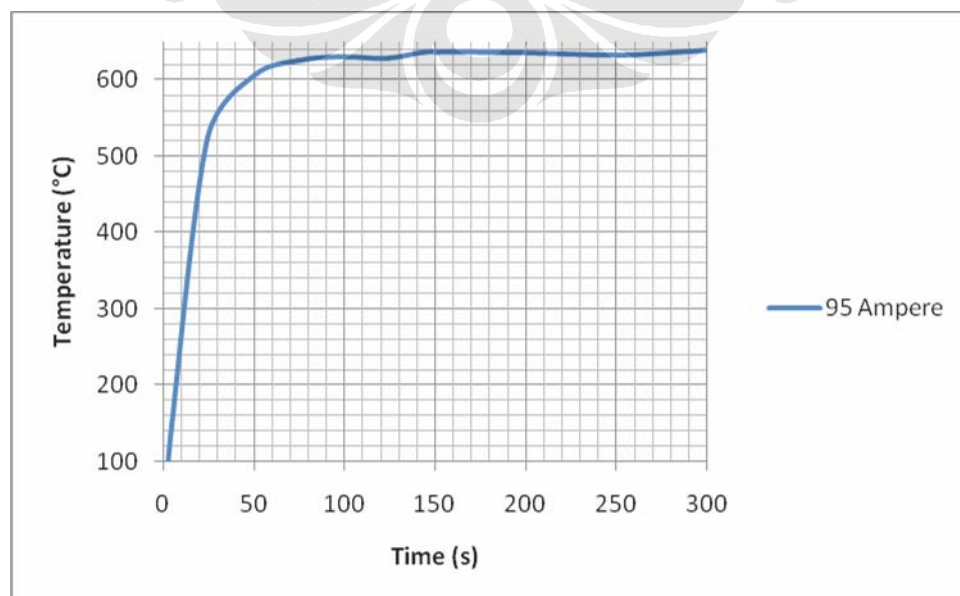
Grafik 4.23 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 90A



Tabel 4.24 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 95A

Arus (I)	95 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	148	525	605	625	630	628	636	635	632	638

Grafik 4.24 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 95A



Tabel 4.25 Tabel Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda
2 x 1.5 mm² Dialiri Arus 100A

Arus (I)	100 Ampere									
Time (s)	0-5	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Temperatur (°C)	179	590	672	678	683	682	684	686	683	689

Grafik 4.25 Grafik Kenaikan Temperatur Inti Kabel NYM Inti Ganda 2 x 1.5 mm²
Dialiri Arus 100A

