



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DEGRADASI TAHANAN ISOLASI PVC PADA  
KABEL JENIS “NYA” DENGAN PENGINJEKSIAN ARUS**

**SKRIPSI**

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

**ANDRE SUTOMO**

**0606073751**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK 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 : Andre Sutomo**

**NPM : 0606073751**

**Tanda Tangan :**

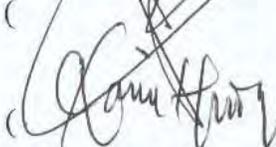
**Tanggal : 6 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Andre Sutomo  
NPM : 0606073751  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC Pada Kabel  
Jenis NYA Dengan Penginjeksian Arus

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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 : Prof.Dr.Ir. Rudy Setiabudy ,DEA (  )  
Penguji : Budi Sudiarto, ST, MT (  )  
Penguji : Chairul Hudaya, ST, M.Sc (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

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. 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. Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu beliau untuk memberikan saran, bimbingan dan diskusi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Orang tua dan seluruh anggota keluarga yang telah membantu dan memberikan motivasi dan dukungan
3. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2006 yang juga telah membantu memberikan motivasi dalam pengerjaan skripsi

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 perkembangan ilmu bagi pembacanya.

Depok, 28 Juni 2010

Penulis

**Universitas Indonesia**

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

---

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

Nama : Andre Sutomo  
NPM : 0606073751  
Program Studi : Elektro  
Departemen : Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**ANALISIS DEGRADASI TAHANAN ISOLASI PVC  
PADA KABEL JENIS “NYA” DENGAN PENGINJEKSAN ARUS**

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 : 28 Juni 2010

Yang menyatakan

**( Andre Sutomo )**

**Universitas Indonesia**

## ABSTRAK

Nama : Andre Sutomo  
 Program Studi : Teknik Elektro  
 Judul : Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC Pada Kabel  
 Jenis “NYA” dengan Penginjeksian Arus

Kabel merupakan komponen listrik yang digunakan untuk mengalirkan energi listrik pada peralatan rumah tangga. Oleh karena itu, pemilihan kualitas suatu kabel sangatlah penting. Isolasi kabel merupakan bagian penting suatu kabel yang tidak dapat diabaikan. Bahan isolasi kabel ini terbuat dari PVC yang tidak tahan panas karena panas dapat menurunkan tahanan isolasi pada kabel. Oleh karena itu, eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui degradasi tahanan isolasi kabel saat diinjeksi dengan arus listrik dan pengaruh dari temperatur lingkungan.

Kata Kunci: Tahanan, Isolasi, Arus Listrik, Panas.

## ABSTRACT

Name : Andre Sutomo  
 Study Program : Electrical Engineering  
 Title : Degradation Analysis of PVC Insulation Resistance on  
 NYA Cable by Electric Current Injection

Cable is an electrical components used to supply electrical energy in household appliances. Therefore, the selection of a cable quality is very important. Cable insulation is an important part of cable that can not be ignored. Cable insulation is made from PVC which can not stand heat because heat can reduce insulation resistance on the cable. Therefore, the experiment was conducted to determine the insulation resistance on the cable when injected with the electric current and the influence of environmental temperature.

Key word: Resistance, Insulation, Electric Current , Heat.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>		ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>		iii
<b>KATA PENGANTAR</b>		iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b>		v
<b>ABSTRAK</b>		vi
<b>DAFTAR ISI</b>		vii
<b>BAB I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	1
1.1	LATAR BELAKANG	1
1.2	TUJUAN PENULISAN	2
1.3	PEMBATASAN MASALAH	2
1.4	METODOLOGI PENULISAN	2
1.5	SISTEMATIKA PENULISAN	2
<b>BAB II</b>	<b>DASAR TEORI</b>	3
2.1	POLIMER SEBAGAI BAHAN ISOLASI	3
2.1.1	Struktur Polimer	4
2.1.2	Sifat – Sifat Polimer	4
2.1.3	Karakteristik Polimer	5
2.1.4	Sifat Termal Polimer	9
2.1.5	Ketahanan Polimer Terhadap Api	11
2.2	POLIVINIL KLORIDA (PVC)	11
2.2.1	Karakteristik PVC	12
2.2.2	Kegunaan PVC	13
2.3	PENKODEAN KABEL	14
2.4	KONSTRUKSI KABEL	15
2.5	RUGI - RUGI YANG TERJADI PADA KABEL	16
2.6	ALIRAN PANAS PADA KABEL	18

<b>BAB III</b>	<b>METODE PENGUJIAN</b>	19
3.1	PENDESKRIPSIAN PERALATAN UJI DAN SAMPEL	19
3.2	RANGKAIAN PENGUJIAN	21
3.3	PROSEDUR PENGUJIAN	22
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS</b>	23
4.1	ANALISIS HASIL PENGUJIAN	23
4.2	TEMPERATUR DENGAN TAHANAN ISOLASI	27
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN</b>	33
<b>DAFTAR ACUAN</b>		34

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1. Koefisien muai panjang pada bahan polimer	9
Tabel 2.2. Ketahanan panas polimer	10
Tabel 2.3. Perbandingan sifat mekanik PVC	13
Tabel 3.1. Spesifikasi kabel yang diuji	21
Tabel 4.1. Pengujian arus normal (11A)	23
Tabel 4.2. Pengujian arus maksimum (23A)	24
Tabel 4.3. Pengujian 1,5 x arus maksimum (35A)	24
Tabel 4.4. Pengujian 2 x arus maksimum (47A)	25
Tabel 4.5. Pengukuran degradasi tahanan isolasi kabel NYM	28
Tabel 4.6. Pengujian tahanan isolasi dengan suhu ruang 45°C	30

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Regangan pada saat sampel patah	7
Gambar 2.2.	Kurva ketangguhan material	7
Gambar 2.3.	Grafik kekuatan dan ketangguhan material	8
Gambar 2.4.	Grafik Ketangguhan Material terhadap Temperatur	11
Gambar 2.5.	Struktur Molekul PVC	12
Gambar 2.6.	Konstruksi Kabel	15
Gambar 2.7.	Penampang Melintang Kabel	15
Gambar 2.8.	Diagram arus pada kapasitor	17
Gambar 3.1.	Alat Injeksi Arus	19
Gambar 3.2.	Konektor Injeksi Arus	19
Gambar 3.3.	Thermocouple APPA 51	20
Gambar 3.4.	Tang Ampere	20
Gambar 3.5.	Konstruksi Kabel NYA 1.5 mm <sup>2</sup>	20
Gambar 3.6.	Diameter kabel yang diuji	20
Gambar 3.7.	Rangkaian pengujian tahanan isolasi kabel untuk suhu ruang 27°C	21
Gambar 3.8.	Rangkaian pengujian tahanan isolasi kabel untuk suhu ruang 45°C	22
Gambar 4.1.	Grafik Pengujian dengan 1,5 x arus maksimum	25
Gambar 4.2.	Grafik Pengujian dengan 2 x arus maksimum	26

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Penghantar yang baik sangat diperlukan untuk menyuplai energi listrik ke konsumen. Salah satu penghantar yang umum digunakan adalah kabel. Kabel memiliki beberapa bagian seperti inti atau konduktor, bahan isolasi, bahan pengisi, bahan pengikat, bahan pelindung beban mekanik dan selubung pelindung luar. Hampir 75% dari harga suatu kabel merupakan harga isolasi kabel itu sendiri. Hal ini menunjukkan pentingnya fungsi dari bahan isolasi pada suatu kabel itu sendiri. Tetapi banyak masyarakat yang tidak mengetahui akan hal ini. Ketidaktahuan masyarakat menyebabkan mereka menggunakan kabel yang harganya murah dibanding menggunakan kabel yang telah memenuhi standar (SNI). Berdasarkan data dari dinas kebakaran, lebih dari 50% kebakaran ditimbulkan akibat hubung pendek listrik karena peralatan listrik yang digunakan tidak memenuhi standar SNI [6]. Selain itu, pemasangan peralatan tersebut juga tidak sesuai dengan standar aturan yang berlaku.

Pada kabel yang telah memenuhi standar SNI untuk keperluan rumah tangga biasanya menggunakan bahan isolasi PVC. Beberapa keuntungan dari penggunaan PVC sebagai bahan isolasi antara lain sifat mekanik yang lebih baik, rugi dielektrik yang lebih kecil, faktor disipasi yang lebih kecil serta resistivitas volume yang lebih tinggi. Selain itu proses produksinya yang relatif lebih cepat dan biaya produksinya yang lebih murah. Namun, bahan isolasi PVC mempunyai beberapa kekurangan antara lain ketahanan panas yang rendah sehingga mudah meleleh jika bekerja pada suhu yang tinggi. Oleh karena itu, skripsi ini akan membahas mengenai tahanan isolasi PVC dengan menginjeksi arus sampai isolasi PVC tersebut mengalami penurunan tahanan isolasinya.

## **1.2. Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan ini yaitu mengetahui degradasi tahanan isolasi PVC terhadap perubahan temperatur pada konduktor jika konduktor tersebut dialiri arus listrik. Dari degradasi tahanan isolasi ini dapat diketahui karakteristik dari suatu bahan isolasi PVC.

## **1.3. Pembatasan Masalah**

Pembahasan skripsi ini akan dibatasi pada beberapa hal seperti struktur polimer, sifat polimer, karakteristik polimer yang dikhususkan pada PVC saja. Lalu akan dibahas mengenai degradasi tahanan isolasi kabel jenis “NYA”. Pengujian yang dilakukan selama 8 jam setiap hari, kemudian pengujian dihentikan saat malam dan dilanjutkan keesokan harinya.

## **1.4. Metodologi Penulisan**

Skripsi ini ini dibuat berdasarkan hasil studi literatur dari buku dan karya-karya ilmiah dan eksperimen di laboratorium terhadap kabel jenis “NYA”.

## **1.5. Sistematika Penulisan**

Pada bab satu dijelaskan mengenai pendahuluan skripsi ini yaitu berupa latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan. Pada bab dua dijelaskan sekilas dasar teori tentang polimer sebagai bahan isolasi kabel. Pada bab tiga dijelaskan mengenai metode pengujian yang dilakukan saat eksperimen di laboratorium. Pada bab empat membahas tentang hasil dan analisis pengujian. Bab lima merupakan kesimpulan dari skripsi ini.

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1. Polimer Sebagai Bahan Isolasi

Polimer merupakan molekul besar yang terdiri dari molekul-molekul kecil yang jumlahnya sangat banyak dan terikat satu sama lain melalui ikatan kovalen. Istilah polimer merupakan kata yang lebih tepat untuk kelompok material yang umumnya mengacu pada plastik [7]. Disebut plastik karena banyak memperlihatkan perubahan bentuk atau sifat plastik seperti merenggang atau mulur sebelum rusak. Untuk aplikasi yang lebih luas, polimer dapat dibedakan antara lain [9]:

a) Polimer termoplastik

Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh : PTFE (teflon), *Polyethylene Terephthalate (soda bottles)*, *High-Density Polyethylene (Dish Soap Bottles, Milk Jugs)*, *Polyvinyl Chloride (cables)*, *Low-Density Polyethylene (Film, Stretch Wrap)*, *Polypropylene (Pediatric Containers)*, *Polystyrenes (Plastic Plates, Styrofoam)* dan *Composite (Milk Cartons)*.

b) Polimer termoset

Merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh : *Phenolic (Cookware, Knobs, dan Handles)*, *Urea-Formaldehyde (Bottle Caps, Electrical Fittings)*, *Epoxies (Surface Coatings, Composites)* dan *SBR Rubbers (tyres)*.

c) Polimer elastomer (polimer bersifat elastis)

Dapat berupa termoset (membutuhkan vulkanisasi) maupun berupa termoplastik. Contoh : karet tak saturasi (*unsaturated*) seperti karet alam, *polyisoprene*, *polybutadine*, maupun karet chloroprene.

### 2.1.1. Struktur Polimer

Nama polimer diambil dari bahasa Yunani yaitu *poli* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian. Polimer dibentuk oleh rantai molekul yang terbuat dari satuan yang lebih kecil yaitu *monomer*, yang mayoritas bergabung dengan disengaja [7]. Polimer tersusun dari material organik yang terdiri dari molekul-molekul dari kombinasi hydrogen, oksigen, nitrogen dan karbon. Keempat elemen ini sering ditemukan dalam polimer organik. Karbon membentuk ikatan utama dari rantai polimer dan unsure lainnya mengikat diri pada karbon tersebut. Kebanyakan polimer berbasis hidrokarbon, dimana elemen – elemen karbon dan hydrogen membentuk kombinasi yang dapat diperkirakan berdasarkan hubungan  $C_nH_{2n+2}$ .

### 2.1.2. Sifat-Sifat Polimer

Sifat termoplastik dan termoset merupakan sifat – sifat dari polimer. Polimer yang bersifat termoplastik memiliki karakteristik kenyal dan dapat diregangkan. Sifat ini terbentuk dengan dipanaskan, didinginkan maupun dilelehkan sehingga dapat berubah menjadi bentuk yang berbeda tanpa mengubah sifat bahan polimer tersebut. Panas yang digunakan untuk melelehkan dan membentuk kembali harus dikontrol dengan hati-hati agar polimer tersebut tidak terurai.

Polimer yang bersifat termoset memiliki ikatan primer yang kuat dan biasanya terbentuk dengan kondensasi. Sifat ini merupakan hasil perubahan kimiawi selama pemrosesan, berupa pemanasan atau penggunaan katalis. Setelah terfiksasi menjadi bentuk yang keras, polimer termoset tidak dapat diregangkan dan berubah ke bentuk semula. Jika dipanaskan, polimer termoset akan berubah menjadi arang, terbakar dan terurai.

Polimer yang bersifat elastomer dapat merenggang dan mulur berulang kali dan akan kembali ke bentuk semula. Dengan demikian, elastomer memperlihatkan sifat elastic jika dibandingkan dengan polimer lain yang lebih memperlihatkan sifat plastiknya. Tetapi elastomer memiliki sedikit perbedaan dengan karet, yaitu karet memiliki ketahanan tarik hingga 200% dan kembali dengan cepat ke bentuk semula. Kemampuan ini disebut *resilience* [9].

### 2.1.3. Karakteristik Polimer

Pada umumnya, polimer memiliki beberapa karakteristik yaitu [3] [8]:

- Pada temperatur yang rendah, bahan polimer dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstrusi dan seterusnya.
- Polimer memiliki berat jenis yang rendah dibanding logam dan keramik, yaitu antara 1.0 – 1.7 sehingga memungkinkan membuat produk yang ringan dan kuat
- Memiliki ketahanan panas yang lebih rendah dibanding logam dan keramik
- Memiliki sifat isolasi listrik yang baik
- Kekerasan polimer lebih rendah daripada logam dan keramik
- Polimer umumnya dapat larut dalam bahan pelarut tertentu kecuali beberapa bahan khusus. Walaupun tidak larut, polimer dapat retak karena kontak dengan pelarut tersebut yang disertai tegangan
- Memiliki koefisien gesek yang kecil

Karakteristik listrik suatu material polimer dapat ditentukan dengan memperhatikan beberapa besaran listrik yang patut diketahui, seperti :

#### 1. Kegagalan dielektrik (*dielectric breakdown*) bahan isolasi

Kegagalan dielektrik menunjukkan sejauh mana kekuatan suatu isolator terhadap tegangan listrik. Tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya ini dinyatakan dengan rumus :

$$E = V_{bd} / h$$

E = Kegagalan dielektrik (KV/mm)

$V_{bd}$  = tegangan tembus dielektrik/material isolasi (KV)

h =  $d^n$  untuk material polimer (mm)

d = ketebalan (mm)

n = konstanta dari keadaan yang diuji, tergantung dari macam benda uji. (n = 0 untuk tegangan arus searah dan n berkisar 0,3 sampai 0,5 untuk tegangan bolak-balik.)

## 2. Tahanan Isolasi

Pada dasarnya tahanan isolasi merupakan perbandingan antara tegangan yang diberikan dengan arus yang mengalir. Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dengan mengukur antara konduktor yang satu dengan yang lain dengan selubung isolasinya. Idealnya, tahanan suatu bahan isolasi memiliki nilai yang sangat tinggi, biasanya lebih dari 10 GΩ. Jika hasil pengukuran menunjukkan nilai dibawah itu, maka hal ini menunjukkan adanya kerusakan pada kabel tersebut.

Dibawah ini merupakan karakteristik mekanik dari suatu polimer, yaitu antara lain [4] [9]:

### 1. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan merupakan salah satu sifat mekanik dari polimer. Ada beberapa macam jenis kekuatan dari polimer antara lain :

#### a) Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel.

#### b) *Compressive Strength*

Merupakan ketahanan terhadap tekanan. Sebagai contoh, beton adalah material yang memiliki kekuatan tekan yang bagus.

#### c) *Flexural Strength*

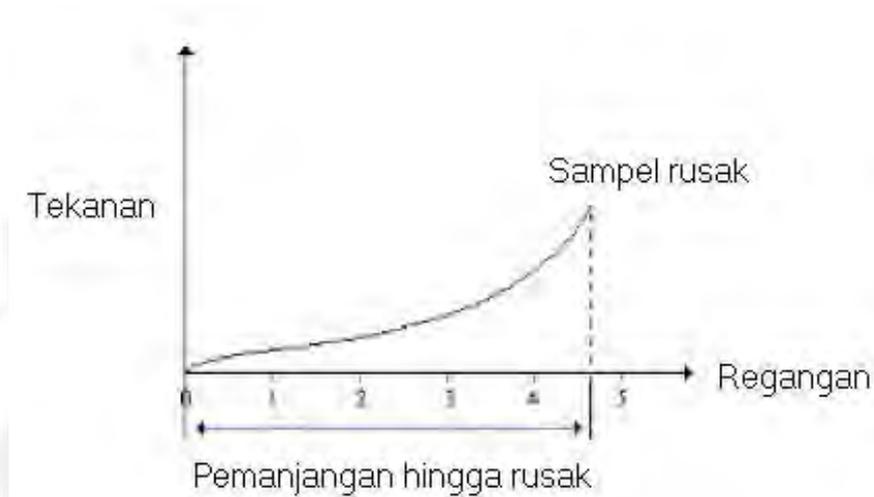
Merupakan ketahanan saat ditekuk atau dibengkokkan.

#### d) *Impact Strength*

Merupakan kekuatan terhadap tegangan yang datang secara tiba-tiba. Polimer harus kuat saat dipukul oleh benda keras.

### 2. Elongasi / Regangan

Merupakan salah satu jenis deformasi dimana suatu benda mengalami perubahan ukuran saat diberi gaya. Polimer jenis elastomer memiliki tingkat elongasi yang paling tinggi dibanding polimer jenis lain.



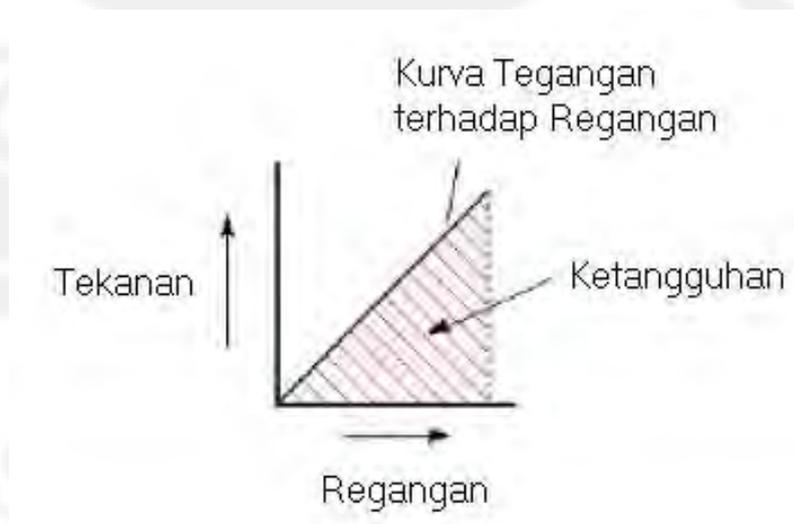
Gambar 2.1. Regangan pada saat sampel rusak

### 3. Modulus

Dapat diukur dengan menghitung tegangan dibagi dengan regangan. Satuan dari modulus yaitu  $N/cm^2$ .

### 4. Ketangguhan (*Toughness*)

Merupakan pengukuran sebenarnya dari energi yang dapat diserap oleh suatu material sebelum material tersebut patah. Di bawah ini merupakan kurva yang menunjukkan ketangguhan material,



Gambar 2.2. Kurva ketangguhan material

Ketangguhan berbeda dengan kekuatan, dari segi fisika, kekuatan (*strength*) adalah gaya yang dibutuhkan untuk mematahkan sampel. Sedangkan ketangguhan (*toughness*) adalah banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan sampel.



Gambar 2.3. Grafik kekuatan dan ketangguhan material

Dari kurva diatas, kurva berwarna biru menunjukkan material yang kuat tetapi tidak tangguh. Material tersebut membutuhkan gaya yang besar agar bisa patah tetapi tidak membutuhkan banyak energi. Material seperti ini, kuat tetapi tidak dapat banyak terdeformasi sebelum patah dan disebut material yang getas (*brittle*). Sedangkan untuk kurva berwarna merah, menunjukkan material yang kuat dan tangguh. Material ini tidak sekuat material dengan kurva warna biru, tetapi memiliki elongasi yang lebih besar dibanding material dengan kurva warna biru. Untuk kurva berwarna ungu, menunjukkan material yang tidak kuat tetapi tangguh. Material ini memiliki elongasi yang paling besar tetapi memiliki kekuatan terhadap tekanan paling kecil dibanding material yang dijelaskan pada kurva biru dan merah

#### 2.1.4. Sifat Termal Polimer

- **Sifat dan performa polimer pada temperatur tinggi**

Polimer sering dianggap sebagai material yang tidak mampu memberikan performa yang baik pada temperatur tinggi. Namun, pada kenyataannya terdapat beberapa polimer yang cocok untuk penggunaan temperatur tinggi. Pada polimer, khususnya plastik, definisi dari temperatur tinggi adalah diatas  $130^{\circ}\text{C}$ . Saat mengalami pemanasan, polimer akan mengalami pemuaian. Pada temperatur yang tinggi, polimer tidak hanya melunak tetapi juga mengalami degradasi termal.

Berikut ini merupakan tabel koefisien muai panjang bahan polimer dan tabel ketahanan panas polimer.

**Tabel 2.1. Koefisien Muai Panjang pada bahan polimer**

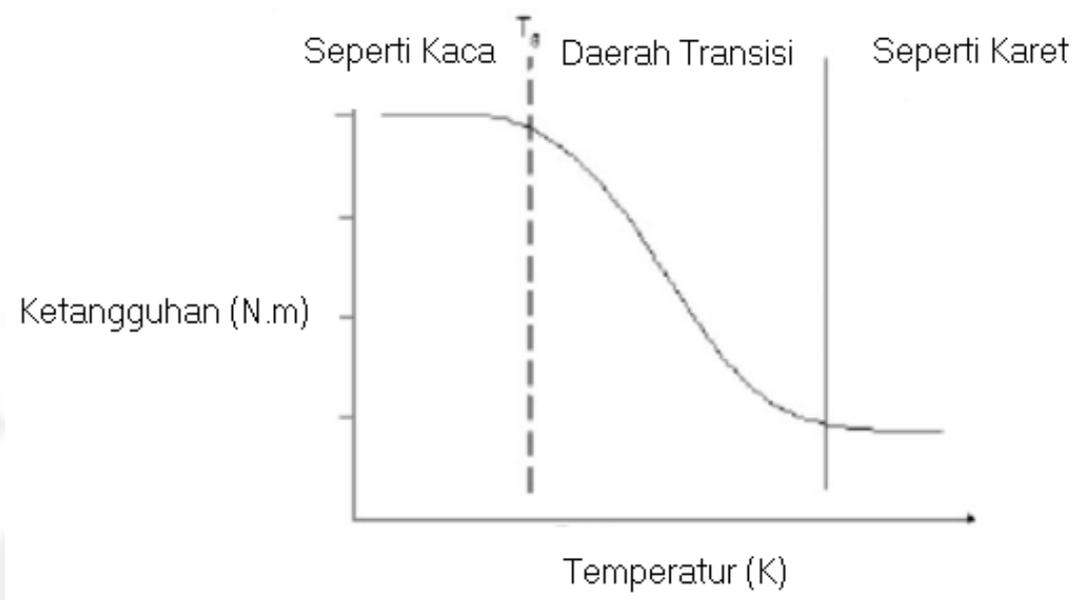
Polimer	Koefisien muai panjang/ $^{\circ}\text{C} \times 10^{-5}$
Polietilen(massa jenis rendah)	16-18
Polietilen(massa jenis medium)	14-16
Polietilen(massa jenis tinggi)	11-13
Polipropilen	6-10
Polistirene	6-8
Acrylonitrile Butadiene Styrene (tahan impak)	9-10
Acrylonitrile Butadiene Styrene (tahan panas)	6-8
Polivinil klorida	5-18
Polivinil klorida (dengan Pemlastis)	7-25
Polikarbonat Poliamid	7
Poliasetal	8

**Tabel 2.2. Ketahanan Panas Polimer**

Polimer	Ketahanan panas(°C)
Polietilen(massa jenis rendah)	80-100
Polietilen(massa jenis medium)	105-120
Polistiren	65-75
Polivinil klorida	65-75
Resin fenol Resin melamin Resin Urea	150
Polietilen(masa jenis tinggi)	160
Polipropilen	90
Polikarbonat	120
Poliamid	120
Polisulfon	80

- **Sifat dan performa polimer pada temperatur rendah**

Pada suhu ruang, polimer menunjukkan sifat fleksibilitas dan ketahanan yang tinggi terhadap *cracking*, tetapi pada penurunan suhu, sifat tersebut berubah sehingga polimer mudah menjadi getas. Polimer memiliki rantai molekul yang panjang dan saling tumpang tindih satu sama lain. Jika berada pada suhu ruang, gerakan antar rantai polimer dapat saling menyesuaikan dan meregang. Namun jika polimer didinginkan, rantai tersebut akan saling menempel satu sama lain dan sulit untuk meregang kembali sehingga polimer tersebut akan menjadi kaku dan menjadi material yang keras dan rapuh.



Gambar 2.4. Grafik Ketangguhan Material terhadap Temperatur

### 2.1.5. Ketahanan Polimer terhadap Api

Karena polimer sintesis telah banyak digunakan pada konstruksi dan transportasi maka diperlukan suatu usaha untuk membuat polimer yang tahan api atau tidak mudah terbakar.

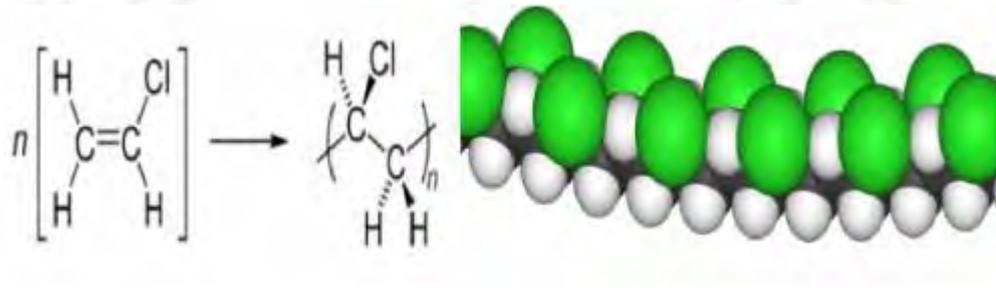
Jika dilihat dari ketahanan terhadap api, polimer dibagi menjadi tiga bagian :

- Polimer yang tidak mudah terbakar  
Polimer ini mengandung banyak halogen. Contoh : PVC
- Polimer yang mampu memadamkan api sendiri  
Polimer ini terbakar hanya jika sumber api ada, tetapi akan berhenti terbakar ketika sumber api dipindahkan, contoh : Polycarbonate.
- Polimer yang mudah terbakar  
Pada umumnya, polimer adalah bahan yang mudah terbakar

### 2.2 Polivinil Klorida (PVC)

Polimer polivinil klorida termasuk dalam jenis polimer termoplastik. Polimer ini akan kehilangan bentuknya saat dipanaskan dan akan menjadi *rigid* kembali saat didinginkan. Sifatnya yang termoplastik ini memungkinkan pendauran ulang fisik PVC dengan relatif mudah dimana material dapat dibentuk kembali setelah dipanaskan.

Polimer polivinil klorida dikenal juga dengan resin *vinyl*, didapatkan dari polimerisasi senyawa vinil klorida pada suatu reaksi polimerisasi adisi radikal bebas. Monomer vinil klorida didapatkan dari reaksi gas *ethylene* dengan *chlorine* untuk membentuk 1,2-dichloroethane yang kemudian dipecah menjadi vinil klorida.



Gambar 2.5. Struktur Molekul PVC

### 2.2.1. Karakteristik PVC

Senyawa PVC dapat berwujud padatan dalam cairan dengan perbandingan 50% yang tersuspensi yang umumnya digunakan dalam bahan eksperimen dan penelitian. PVC memiliki range berat 0,6 hingga 14 gram/cc. Jika ditinjau dari segi kestabilan, senyawa ini sangat stabil karena berbentuk polimer sehingga fasanya berbentuk padatan keras sehingga tidak terpengaruh terhadap oksidator kuat. Selain itu, senyawa ini juga tidak berbahaya dan tidak mencemari lingkungan. Tetapi disamping semuanya itu, senyawa ini mudah terbakar.

PVC yang digunakan sebagai insulasi kabel listrik harus memakai *plasticizer* agar lebih elastis. Namun jika terkena api, kabel yang tertutup PVC akan menghasilkan asap HCl dan menjadi bahan yang berbahaya bagi kesehatan, terlebih lagi pada tempat di mana asap adalah bahaya utama (terutama di terowongan), biasanya PVC LSOH (*low smoke, zero halogen*) adalah bahan insulasi yang pada umumnya dipilih.

Pada suhu tinggi PVC dapat meleleh bahkan hangus atau *plasticizers*nya menguap sehingga PVC menjadi rapuh. Hal tersebut dapat menyebabkan kegagalan insulasi kabel. Karena alasan tersebut kabel

dengan isolasi PVC jarang digunakan di tempat yang mendapatkan panas secara berlebihan. Kabel PVC pada saat terbakar akan menghasilkan gas klorin dalam jumlah yang cukup besar. Hal tersebut merupakan masalah yang cukup penting pada penggunaan kabel dengan isolasi PVC.

**Tabel 2.3. Perbandingan Sifat Mekanik PVC**

Sifat Mekanik	PVC Rigid	PVC Fleksibel
Gaya Tarik (MPa)	44,4	9,6
Modulus Tarik (GPa)	2,75	-
Kekuatan Dielektrik (J/m)	181	293
Kerapatan ( g/cm <sup>3</sup> )	1,4	1,4
Kekuatan Tumbukan (N/m)	34	25,6

### 2.2.2. Kegunaan PVC

Secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu :

- *Unplasticised* PVC yang bersifat *rigid*

PVC jenis ini keras dan kaku. Material ini mudah dilas dan ditempelkan, dan aman untuk penggunaan kemasan makanan. Pada peralatan listrik biasanya digunakan sebagai pipa isolasi , rumah stop kontak.

- *Plasticised* PVC yang bersifat fleksibel

PVC jenis ini fleksibel tergantung tipe dan kuantitas plasticizer yang ditambahkan. Pada peralatan listrik digunakan sebagai insulasi kabel dan kawat, soket, kepala kabel.

### 2.3. Pengkodean Kabel

Kawat atau kabel penghantar digunakan untuk menghubungkan sumber tegangan dengan beban. Kabel penghantar yang baik umumnya terbuat dari logam, biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga dengan tingkat kemurnian 99,9% tahanan jenis tidak melebihi  $0,017241 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  pada  $20^\circ\text{C}$ . Dalam instalasi listrik ada berbagai macam jenis kabel yang digunakan sesuai dengan kebutuhan daya dan kegunaannya.[10]

Di bawah ini merupakan pengertian huruf yang selalu digunakan pada kode kabel adalah :

<b>N</b>	: kabel standar dengan penghantar tembaga
<b>NA</b>	: kabel standar dengan penghantar aluminium
<b>Y</b>	: Isolasi atau selubung PVC
<b>F</b>	: Perisai kawat baja pipih
<b>R</b>	: Perisai kawat baja bulat
<b>Gb</b>	: Spiral pita baja
<b>re</b>	: penghantar padat bulat
<b>rm</b>	: penghantar bulat kawat banyak
<b>se</b>	: penghantar padat bentuk sektor
<b>sm</b>	: penghantar kawat banyak bentuk sektor

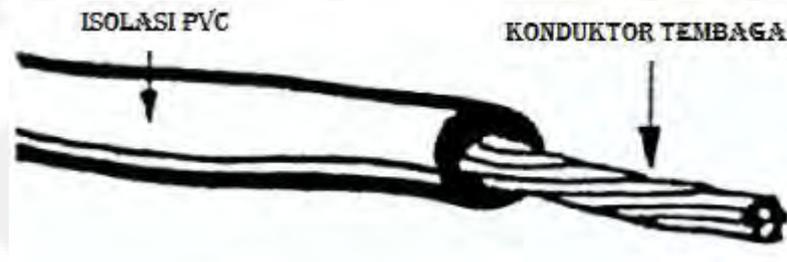
Contoh:

- NAYFGbY 4 x 120 SM 0,6/1 kV

Artinya : kabel jenis standar dengan penghantar aluminium kawat banyak berbentuk sektor, berisolasi dan berselubung PVC, dengan perisai kawat baja pipih dan spiral pita baja. Jumlah urat sebanyak empat, luas penampang nominal masing-masing 120 mm dan memiliki tegangan kerja nominal sebesar 0,6/1 kV.

#### 2.4. Konstruksi Kabel

Kabel dirancang dengan berbagai macam konstruksi sesuai kebutuhannya [2]. Di bawah ini adalah gambar konstruksi kabel yang digunakan pada tegangan rendah.

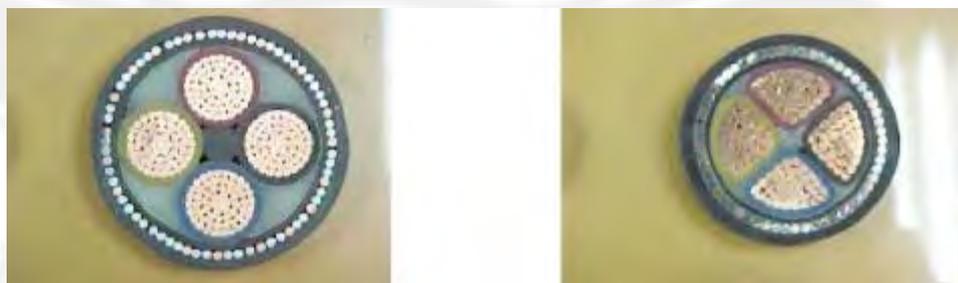


Gambar 2.6. Konstruksi Kabel

Umumnya, kabel tegangan rendah yang digunakan pada perumahan terdiri dari konduktor tembaga dengan dilapisi isolasi PVC seperti pada gambar diatas.

##### ➤ Konduktor

Merupakan bagian dari kabel yang bertegangan dan berfungsi untuk mengalirkan 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.



Gambar 2.7. Penampang Melintang Kabel

➤ Bahan Isolasi

Isolasi suatu kabel merupakan bahan yang berfungsi untuk menghambat energi listrik agar tidak mengalami kebocoran atau untuk mencegah terhubungnya konduktor yang satu dengan konduktor lainnya. Terdapat berbagai jenis bahan isolasi yang umumnya dikelompokkan menjadi bahan isolasi cair, isolasi gas, dan isolasi padat.

### 2.5. Rugi-rugi yang terjadi pada kabel [3] [8]

- Rugi – rugi konduktor

Arus listrik yang mengalir melalui kabel akan menimbulkan panas pada kabel tersebut. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar panas yang ditimbulkan dan semakin besar rugi – rugi. Besarnya rugi – rugi yang terjadi pada kabel yaitu :

$$P = I^2 \cdot R$$

dimana, P : Daya yang terdisipasi ( W )

I : Besarnya arus yang mengalir pada kabel ( A )

R : Tahanan/ resistansi (  $\Omega$  )

Tahanan untuk arus AC berbeda dengan arus DC karena arus DC dipengaruhi oleh temperatur kerja. Persamaannya yaitu :

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha_{20} (T - 20^{\circ})]$$

Dimana,  $R_T$  : Resistansi arus DC pada temperatur 20  $^{\circ}\text{C}$  (  $\Omega$  )

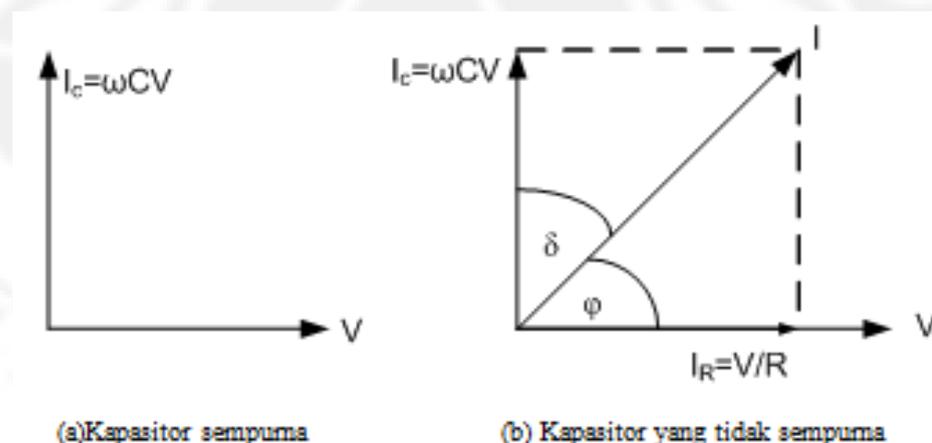
$\alpha_{20}$  : Koefisien temperatur dari resistansi pada temperatur 20  $^{\circ}\text{C}$

T : Temperatur kerja (  $^{\circ}\text{C}$  )

Resistansi AC lebih besar daripada resistansi DC karena pada arus AC dipengaruhi oleh efek kulit (*skin effect*) dan efek kedekatan (*proximity effect*). Efek kulit (*skin effect*) adalah gejala ketidakseragaman distribusi kerapatan arus listrik pada suatu penampang penghantar. Pada penghantar berbentuk silinder kerapatan arus semakin meningkat dari sumbu penghantar ke permukaan. Ketidakseragaman tersebut meningkat bila frekuensi arus AC semakin besar. Sedangkan efek kedekatan (*proximity effect*) adalah gejala ketidakseragaman distribusi kerapatan arus pada penampang suatu penghantar akibat adanya pengaruh dari penghantar lain yang berdekatan.

- Rugi – rugi dielektrik

Merupakan rugi – rugi yang terjadi pada bahan isolasi karena ketidakidealan bahan isolasi tersebut. Apabila arus bolak-balik melalui suatu kapasitor sempurna, maka arus mendahului tegangan sebesar  $90^{\circ}$ , seperti terlihat pada Gambar (a)., dan arusnya adalah  $I_c = \omega CV$ . Sedangkan pada kapasitor yang tidak ideal, maka  $I$  mendahului  $V$  dengan sudut kurang dari  $90^{\circ}$  karena terjadi kehilangan daya dielektrik. Sudut  $\phi$  adalah sudut fasa kapasitor, dan  $\delta = (90^{\circ} - \phi)$  adalah sudut kehilangan (*loss-angle*).



Gambar 2.8. Diagram arus pada kapasitor

## 2.6. Aliran Panas Pada Kabel [3]

Panas yang dihasilkan oleh kabel saat dialiri arus listrik akan dialirkan ke luar kabel secara konduksi. Pada proses konduksi, aliran panas yang melewati suatu resistansi termal dinyatakan dengan persamaan :

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

Dimana,  $\Delta T$  : Perbedaan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$R_t$  : Resistansi termal ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$q$  : Aliran panas rata-rata (W)

Resistansi termal itu sendiri dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R_t = r \frac{l}{A}$$

dimana,  $r$  : resistivitas termal ( $^{\circ}\text{C m}/\text{W}$ )

$l$  : panjang (m)

$A$  : Luas permukaan benda padat ( $\text{m}^2$ )

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

$$k = \frac{q}{A \left( \frac{\Delta T}{l} \right)} \quad [W / (m^{\circ}\text{C})]$$

dan konduktansi panas dinyatakan dengan:

$$K = \frac{1}{R_t} = \frac{q}{\Delta T} \quad [W / ^{\circ}\text{C}]$$

## BAB 3

### METODE PENGUJIAN

Bab ini menjelaskan tentang peralatan yang digunakan dan metode yang dilakukan dalam pengujian. Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (LTTPL) Departemen Teknik Elektro FTUI, dimulai dari jam 9.00 sampai 17.00.

#### 3.1. Pendeskripsian Peralatan Uji dan Sampel Pengujian

- Peralatan Uji

Peralatan yang digunakan untuk pengujian kabel NYA 1,5 mm<sup>2</sup> adalah sebagai berikut

1. Alat injeksi arus
2. Mega Ohm Meter
3. *Thermocouple* APPA 51
4. Tang Ampere
6. Alat bantu penahan sampel



Gambar 3.1. Alat Injeksi Arus



Gambar 3.2. Konektor Injeksi Arus



Gambar 3.3. Thermocouple APPA 51



Gambar 3.4. Tang Ampere

- Sampel Pengujian

Gambar 3.5. Konstruksi Kabel NYA 1.5 mm<sup>2</sup>

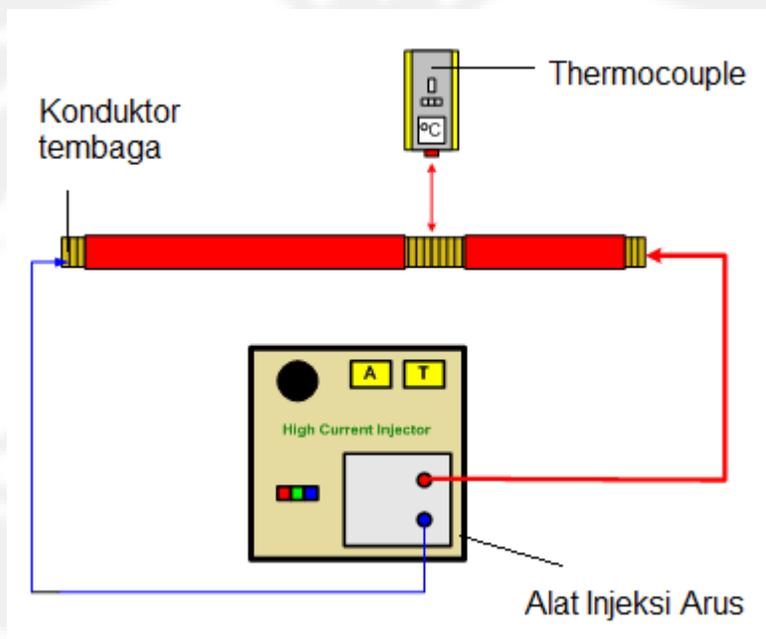
Gambar 3.6. Diameter kabel yang diuji

Tabel 3.1. Spesifikasi kabel yang diuji

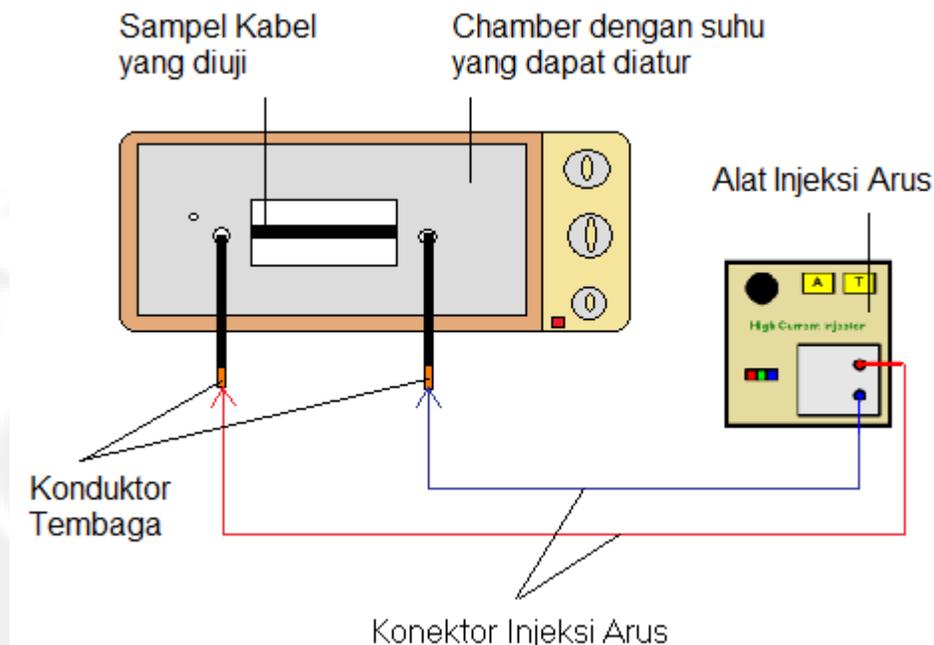
Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Diameter kabel (mm)	Tebal Isolasi (mm)	Arus maksimum pada 30 °C
1,5	1,38	0,7	23

### 3.2. Rangkaian Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur degradasi tahanan isolasi. Kenaikan temperatur pada kabel dilakukan dengan menginjeksikan arus sehingga tahanan isolasi kabel mengalami degradasi.



Gambar 3.7. Rangkaian pengujian tahanan isolasi kabel untuk suhu ruang 27°C



Gambar 3.8. Rangkaian pengujian tahanan isolasi kabel untuk suhu ruang 45°C

### 3.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menginjeksi arus pada kabel dengan arus konstan hingga isolasi kabel menurun. Langkah-langkah yang perlu dilakukan yaitu :

- a. Catat kondisi ruangan tempat pengujian
- b. Catat temperatur konduktor
- c. Siapkan dan susun semua peralatan
- d. Nyalakan alat injeksi arus sesuai dengan besarnya arus yang diinginkan
- e. Setelah 8-9 jam pengujian, matikan alat injeksi arus
- f. Nyalakan Megaohmmeter dan ukur tahanan isolasi kabel dengan menekan tombol “test” pada megaohmmeter yang dipasang pada tegangan 500V
- g. Catat hasil yang didapat

## BAB 4

### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### 4.1. Analisis Hasil Pengujian

Dibawah ini merupakan data kondisi keadaan sebelum dilakukan pengujian dan tabel hasil dari pengujian yang dilakukan di laboratorium.

Diameter kabel NYA 1,5 mm<sup>2</sup>

Temperatur ruang = 27°C

Temperatur Konduktor = 27,5°C

Temperatur Isolasi awal = 27°C

**Tabel 4.1. Pengujian Arus Normal (11A)**

Lama Pengujian	Temp Konduktor ( °C )	Temp Isolasi ( °C )	Tahanan Isolasi (Gohm)
1 jam	28	28	20
8 jam	28,8	28	20
16 jam	29	28,3	20
25 jam	29,2	28,5	20
34 jam	29	28	20
43 jam	29	28	20
52 jam	29	28	20

**Tabel 4.2. Pengujian Arus Max(23A)**

Lama Pengujian	Temp Konduktor ( °C )	Temp Isolasi ( °C )	Tahanan Isolasi (Gohm)
1 jam	39,2	38,2	20
8 jam	40	38,7	20
16 jam	40	39	20
24 jam	40	39	20

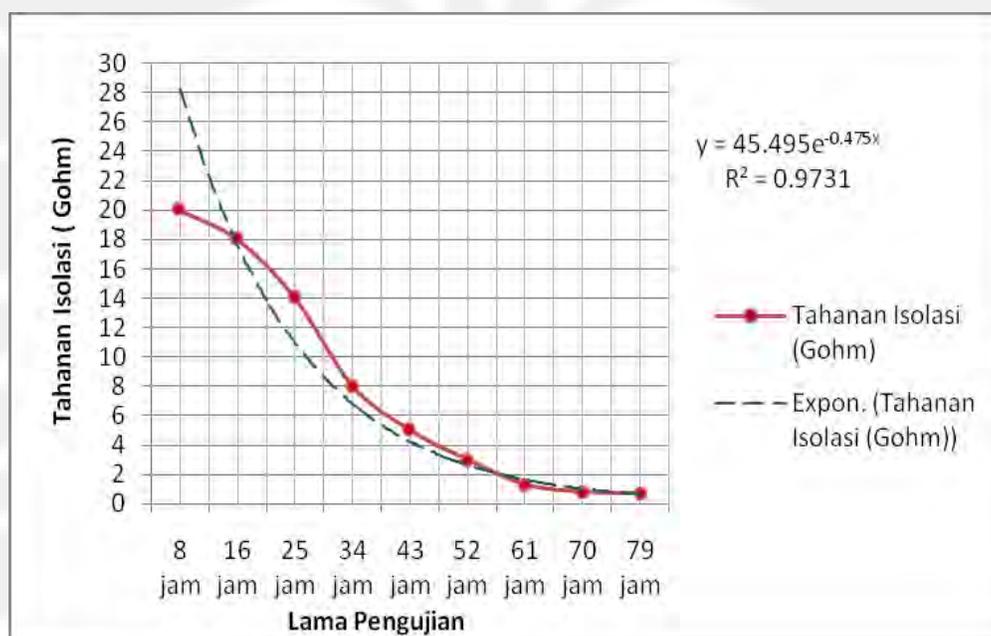
Pada tabel 4.1 pengujian dengan arus normal dapat dilihat bahwa tidak terjadi degradasi tahanan isolasi kabel dan isolasi kabel masih tetap seperti keadaan awal sebelum diuji. Pada pengujian dengan menggunakan arus maksimum seperti pada tabel 4.2 dapat terlihat bahwa temperatur konduktor naik sekitar 11-12°C dari temperatur awal. Sedangkan temperatur isolasinya naik sekitar 10 °C. Walaupun mengalami kenaikan temperatur, isolasi kabel masih belum mengalami degradasi karena temperatur yang dicapai masih dalam ambang batas ketahanan isolasi kabel.

**Tabel 4.3. Pengujian 1,5 x Arus Max(35A)**

Lama Pengujian	Temp Konduktor ( °C )	Temp Isolasi ( °C )	Tahanan Isolasi (Gohm)	% Penurunan
8 jam	52	42	20	0
16 jam	52,3	42	18	10
25 jam	52	42	14	30
34 jam	52,3	41,9	8	60
43 jam	52	42	5	75
52 jam	52	42,2	3	85
61 jam	52	42,2	1.3	93.5
70 jam	52	42,2	0.8	96
79 jam	52,3	42	0.7	96.5

Tabel 4.4. Pengujian 2 x ArusMax(47A)

Lama Pengujian	Temp Konduktor ( °C )	Temp Isolasi ( °C )	Tahanan Isolasi (Gohm)	% Penurunan
8 jam	69	51	19	5
16 jam	68	50,5	13	35
25 jam	68,8	51	6.3	68.5
34 jam	68,8	51	3.2	84
43 jam	69	51	1.25	93.75
52 jam	69	51	0.8	96
61 jam	69	51	0.5	97.5
70 jam	69	51	0.45	97.75
79 jam	69	51	0.375	98.125

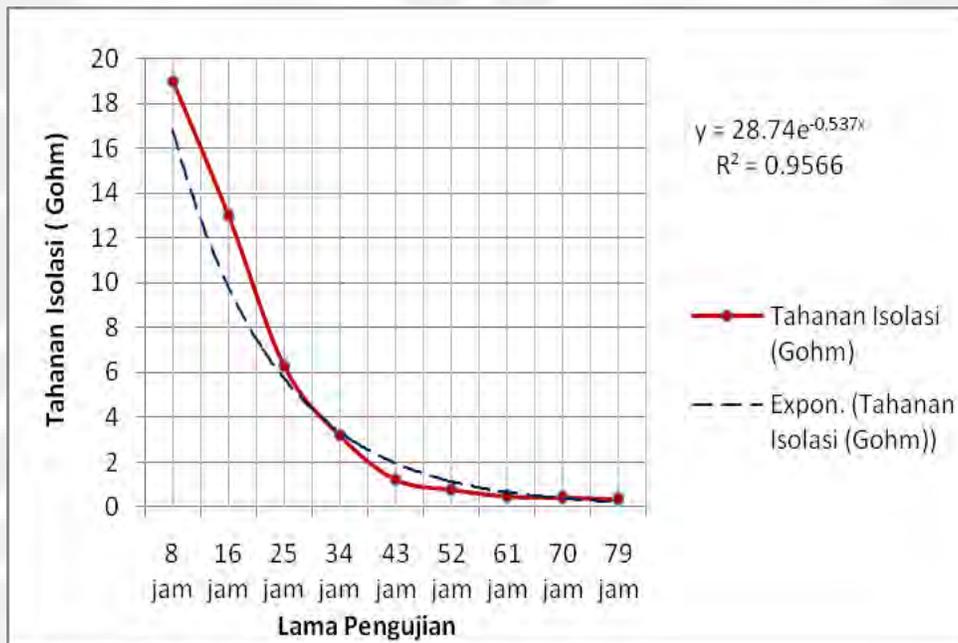


Gambar 4.1. Grafik Pengujian dengan 1,5 x arus maksimum

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa saat pengujian dimulai selama 8 jam, tahanan isolasi masih tinggi dengan nilai yang ditunjukkan pada Megaohmmeter yaitu 20 GΩ. Setelah pengujian mencapai 16 jam baru terlihat sedikit penurunan tahanan

isolasinya menjadi 18 GΩ. Pengujian berlangsung hingga 79-80 jam sampai tahanan isolasi kabel menunjukkan nilai 0,7 GΩ atau 700 MΩ. Nilai tahanan isolasi kabel ini sangat kecil dibandingkan dengan saat tahanan isolasi pada awal pengujian, dimana terjadi penurunan tahanan isolasi sebesar 96,5% dari nilai awal pengujian.

Garis berwarna biru putus-putus merupakan grafik arah gejala (*trendline*) dari pengujian yang dilakukan. Dapat dilihat pada saat pengujian mencapai 25 jam, grafik berwarna merah mengalami sedikit penyimpangan. Hal ini disebabkan jarum Megaohmmeter sedikit bergerak-gerak sehingga diperlukan pengambilan rata-rata nilai tahanan isolasinya.



Gambar 4.2. Grafik Pengujian dengan 2 x arus maksimum

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa saat pengujian dimulai selama 8 jam, tahanan isolasi sudah sedikit menurun tetapi masih cukup tinggi dengan nilai yang ditunjukkan pada Megaohmmeter yaitu 20 GΩ. Setelah pengujian mencapai 16 jam baru terlihat penurunan tahanan isolasinya menjadi 13 GΩ. Saat pengujian mencapai 25 jam, tahanan isolasi telah mencapai nilai 6,3 GΩ. Jika dilihat dari grafik, penurunan

tahanan isolasi ini memiliki gradien kecuraman yang tertinggi dimana persentase tahanan isolasi langsung menurun sebesar 68,5%. Setelah pengujian berlangsung antara 43-79 jam, tahanan isolasi kabel mengalami penurunan yang tidak terlalu besar dibandingkan pada saat pengujian mencapai 25 jam. Nilai akhir tahanan isolasi kabel yang didapat menjadi 375 M $\Omega$ , dimana terjadi penurunan tahanan isolasi sebesar 98,125% dari nilai awal pengujian. Dari tabel 4.3 dan tabel 4.4 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama waktu pengujian, dengan temperatur konduktor dan temperatur isolator yang tetap, dapat menyebabkan kabel mengalami degradasi tahanan isolasi.

Grafik – grafik pengujian diatas menunjukkan sifat yang hampir mirip dengan sifat eksponensial, dimana penurunan tahanan isolasi yang besar terjadi di awal pengujian dan makin lama penurunannya menjadi mengecil. Sifat grafik ini disebut mirip dengan sifat eksponensial tetapi tidak dapat disebut bersifat eksponensial karena pada grafik eksponensial, nilai akhirnya adalah tak terhingga sedangkan tahanan isolasi kabel tidak mungkin memiliki nilai akhir tak terhingga.

#### **4.2. Temperatur dengan tahanan isolasi**

Pada skripsinya, Brian Cakra [3] menyimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur isolasi kabel diatas titik leburnya maka semakin besar pula kecenderungan penurunan tahanan isolasinya, dimana penurunan tahanan isolasi ini bersifat mendekati sifat eksponensial. Di dalam skripsinya ditunjukkan grafik yang menunjukkan hubungan antara tahanan isolasi kabel dengan temperatur yang terus naik akibat pemanasan. Temperatur pelat diasumsikan sebagai temperatur konduktor pada kenyataan. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan degradasi tahanan isolasi kabel jenis NYM 1,5 mm<sup>2</sup>.

Tabel 4.5. Pengukuran degradasi tahanan isolasi kabel NYM 1,5 mm<sup>2</sup>

Waktu detik (s)	Tahanan (M.Ohm)	Pelat (°C)	Konduktor (°C)	Selisih (M.ohm)	% Selisih (%)
33	20000	180.8	38	0	0
34	20000	184.9	38.7	0	0
35	19000	191.9	40.1	1000	5
36	16500	194.2	40.9	2500	13.2
37	14000	196.4	42.1	2500	15.2
38	10000	200.9	43	4000	28.6
39	8000	206.1	43.8	2000	20
40	6000	211.4	45	2000	25
41	4000	216.5	45.9	2000	33.3
42	2000	216.5	47.4	2000	50
43	1800	224	48.5	200	10
44	1200	227.4	49.9	600	33.3
45	950	231.1	50.9	250	20.8
46	750	233.6	52.6	200	21.1
47	500	235.7	53.7	250	33.3
48	400	239.5	55.5	100	20
49	330	249.8	56.5	70	17.5
50	300	245.9	57.6	30	9.1
51	250	249.5	59.4	50	16.7
52	200	258.3	60.7	50	20
53	130	259.4	63.9	70	35

54	100	261.2	65.8	30	23.1
55	80	261.2	66.5	20	20
56	65	263.8	67.9	15	18.8
57	55	266.3	69.2	10	15.4
58	48	270.6	70.7	7	12.7
59	40	272.8	72.9	8	16.7
60	35	275	74.4	5	12.5
61	30	278	77.4	5	14.3
62	27	278	78.8	3	10
63	22	282.5	79.6	5	18.5
64	20	283.7	82	2	9.1
65	13.5	284	85.1	6.5	32.5
66	12	288.3	86.5	1.5	11.1
67	10	288.2	88	2	16.7
68	8.5	287.4	89.6	1.5	15
69	8	287.4	91.3	0.5	5.9
70	7.7	288.2	92.9	0.3	3.8
71	7.5	288.5	93.7	0.2	2.6
72	7	291.5	97.6	0.5	6.7
73	4	292	101	3	42.9
74	0.05	292.3	102.4	3.95	98.8
75	0.000000001	294.1	105	0.05	(hampir) 100.0

Pada pengujian dengan 1,5 x arus maksimum selama 16 jam, tahanan isolasi mulai mengalami penurunan menjadi 18 GΩ. Sedangkan pada pengujian dengan 2 x

arus maksimum selama 8 jam, tahanan isolasi sedikit mengalami penurunan menjadi 19 G $\Omega$ . Jika dibandingkan dengan hasil pengujian Brian Cakra, tahanan isolasi mengalami penurunan menjadi 18 G $\Omega$ , dimana temperatur pelat mencapai rentang antara 191,9 – 194,2°C dan temperatur konduktor mencapai 40,9 °C. Berarti saat konduktor mencapai suhu 40,9 °C, isolasi kabel mencapai titik kritis ketahanannya dan memiliki kecenderungan penurunan tahanan isolasinya. Jika dilihat lebih lanjut, pengujian yang dilakukan Brian, dimana dalam waktu 72 detik temperatur pelat sesaat 291,5 °C dengan tahanan isolasi kabel yang dicapai 7 G $\Omega$ , bila diintegrasikan dengan hasil pengujian pada tabel 4.4 maka temperatur isolasinya telah mencapai 51°C dengan temperatur ruang 27 °C.

Biasanya kabel dipasang pada plafon rumah dimana suhu ruang diatas plafon mencapai 45°C. Suhu tersebut lebih tinggi 18°C dari suhu ruang sehingga memengaruhi degradasi tahanan isolasi kabel tersebut. Berikut merupakan tabel hasil pengujian tahanan isolasi dengan temperatur ruang 45°C. Pengujian dibawah ini hanya dilakukan selama 15 menit untuk setiap nilai nominal arus yang diberikan pada kabel.

**Tabel 4.6 Pengujian Tahanan Isolasi dengan Suhu Ruang 45°C**

Arus (A)	Temperatur Konduktor (°C)	Temperatur Isolasi (°C)
2	46,6	46,1
4	48,4	47,5
6	49,3	48,2
8	51,5	50,4
10	54,4	53,3
11	56,1	54,6
23	75,9	65,7

Jika hasil pengujian pada tabel 4.6 dibandingkan dengan hasil pengujian pada tabel 4.3, saat kabel diberikan arus 2A pada temperatur ruang 45°C, temperatur isolasi mencapai 46,1°C. Temperatur isolasi ini lebih tinggi dibanding pada pengujian tabel 4.3 dimana temperatur isolasi mencapai 42°C, sehingga dapat diperkirakan pada saat diberi arus 2A, tahanan isolasi kabel telah mengalami degradasi dimana nilai tahanannya berada pada rentang 18 GΩ sampai 14GΩ.

Jika hasil pengujian pada tabel 4.6 dibandingkan dengan hasil pengujian pada tabel 4.4, saat kabel diberikan arus 8A pada temperatur ruang 45°C, temperatur isolasi mencapai 50,4°C. Temperatur isolasi ini mendekati nilai temperatur pada pengujian tabel 4.3 dimana temperatur isolasi mencapai 51°C, sehingga dapat diperkirakan pada saat diberi arus 8A, tahanan isolasi kabel telah mengalami degradasi dimana nilai tahanannya berada pada rentang 6,3 GΩ sampai 3,2 GΩ dan persentase penurunannya mencapai 84%.

Saat kabel dialiri arus 11 A, temperatur isolasi meningkat sampai 56,1 °C. Sedangkan dengan arus 23 A, temperatur isolasi kabel menjadi 65,7°C. Temperatur isolasi tersebut telah melampaui temperatur isolasi pada saat pengujian dengan 2 x arus maksimum pada suhu ruang dan jika melihat tabel 2.2 maka isolasi kabel tersebut berada pada batas ketahanan panasnya yang dapat menyebabkan isolasi kabel mengalami deformasi.

Jika dibandingkan dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh Brian Cakra[3], pada saat temperatur isolasi mencapai 65,7°C maka tahanan isolasi nya sudah mencapai 100 MΩ. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian Arifianto[1], pada rentang temperatur isolasi kabel 65,7 °C maka arus yang mengalir sebesar 40 A – 45 A. Berarti pada rentang nilai arus tersebut, suatu isolasi kabel akan mengalami degradasi tahanan isolasi pada kabel lurus saat temperatur ruang 45 °C.

Saat kabel dialiri arus sebesar 2 x arus maksimum yaitu 47A pada temperatur 45°C maka dalam waktu kurang dari 2 menit, isolasi kabel mengeluarkan asap yang cukup banyak dan isolasi kabel menjadi lunak tetapi belum meleleh. Jika dibandingkan dengan pengujian Brian Cakra maka tahanan isolasi kabel sudah mencapai 0,05 MΩ.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan arus kurang dari 2 x arus maksimum, dengan suhu ruang mencapai 45°C akan menyebabkan kabel mengalami degradasi tahanan isolasi yang sangat besar.



## BAB 5

### KESIMPULAN

- Pada saat temperatur isolasi kabel mencapai titik kritis ketahanannya yaitu pada  $40,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  untuk suhu ruang  $27^{\circ}\text{C}$  maka kabel tersebut cenderung untuk mengalami penurunan tahanan isolasinya.
- Penurunan tahanan isolasi memiliki sifat yang hampir mirip dengan sifat eksponensial
- Pada temperatur ruang  $45^{\circ}\text{C}$ , semakin lama waktu pembebanan pada kabel, maka dengan arus sebesar 2A dapat menyebabkan kabel mengalami degradasi tahanan isolasi.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Arifianto.2008. Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI : “*Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt*”. Depok
- [2] Bayliss, Colin.1996. *Transmission and Distribution Electrical Engineering*. Oxford, Butherworth-Heinemann.
- [3] Cakra, Brian. 2009. Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI : “*Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC pada Kabel Dengan Tegangan Pengenal 300/500 Volt*”. Depok
- [4] Callister, William.D.2000. *Materials Science And Engineering An Introduction*. John Wiley & Sons Inc.
- [5] Perusahaan Listrik Negara. *Standar Perusahaan Listrik Negara*.  
<[http://pln-km.com/e-standard/data\\_spln/](http://pln-km.com/e-standard/data_spln/)>
- [6] Setiabudy, Rudy. 2009. Pidato Pengukuhan Guru Besar: “*Permasalahan dan Solusi Terbakarnya Isolasi Kabel Listrik pada Instalasi Rumah Tangga*”.
- [7] Setiabudy, Rudy. 2007. *Material Teknik Listrik*. Depok : Universitas Indonesia (UI-Press)
- [8] Thue, William.A. 2003. *Electrical Power Cable Engineering*. Marcel Dekker
- [9] Umam, Khairul., Himawan, Nur.A., Nurmawati.2007. *Makalah Struktur dan Sifat Polimer*. Departemen Teknik Metalurgi Universitas Indonesia