



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS TEMPERATUR KABEL TERHADAP PENEKUKAN
DAN BESAR ARUS**

SKRIPSI

**RUKDAS IMAM FAIZAL
0405030699**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS TEMPERATUR KABEL TERHADAP PENEKUKAN
DAN BESAR ARUS**

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

SKRIPSI

**RUKDAS IMAM FAIZAL
0405030699**

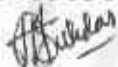
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rukdas Imam Faizal

NPM : 0405030699

Tanda Tangan : 

Tanggal : 7 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rukdas Imam Faizal
NPM : 0405030699
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Temperatur Kabel Terhadap Penekukan dan Besar 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 : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M K MT

Penguji : Budi Sudiarto ST, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2009



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Elektro di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ir. Amien Rahardjo, selaku Kepala Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik yang telah memberikan izin untuk menggunakan peralatan untuk melakukan pengujian;
- (3) Asisten Laboratorium TTPL yang telah menyediakan peralatan yang digunakan dalam skripsi ini;
- (4) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan moral dan material;
- (5) Bapak Darman yang telah membantu dalam melakukan pengambilan data;
- (6) Teman-teman saya di Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas ide-ide serta saran dan juga bantuan yang diberikan dalam penyusunan skripsi ini; dan
- (7) Teman-teman kosan yang terus memberikan dukungan dan semangat.

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

Depok, 7 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : Rukdas Imam Faizal

NPM : 0405030699

Program Studi : Elektro

Departemen : Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian 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 TEMPERATUR KABEL TERHADAP PENEKUKAN
DAN BESAR 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 : 7 Juli 2009

Yang menyatakan



(Rukdas Imam Faizal)

ABSTRAK

Nama : Rukdas Imam Faizal
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Temperatur Kabel Terhadap Penekukan dan Besar Arus

Pada instalasi listrik baik di perumahan maupun di perkantoran dan industri pemasangan kabel tak selalu dalam keadaan lurus tetapi sering/selalu pemasangannya harus ditekuk. Hal ini akan berpengaruh pada temperatur kabel tersebut ketika kabel diberi beban (dialiri arus). Skripsi ini membahas mengenai pengaruh sudut penekukan dan besar arus pada kabel terhadap temperatur kabel. Data diambil dengan melakukan eksperimen dengan mengalirkan arus pada kabel kemudian akan terlihat perbedaan temperatur antara kabel yang ditekuk dengan besar sudut tekukan yang satu dengan yang lainnya. Dari data pengujian didapatkan bahwa semakin kecil sudut tekukan pada kabel maka temperatur kabel akan semakin tinggi.

Kata kunci :
Temperatur Kabel, Penekukan Kabel

ABSTRACT

Name : Rukdas Imam Faizal
Study Program: Electrical Engineering
Judul : Analysis of Cable's Temperature to It's Retortion and Current Value

In electrical installation at houses or office and industrial, cable installation isn't always straight but often must be curved. This will influence to cable temperature when cable is given load. This final project explain about the influence of bend of degree and current value on cable to cable tempeature. The data is taken by doing an experiment with give current to cable then will be seen the difference of temperature between cable that has degree of bend sharper than others. From the experiment is obtained that the sharper degree on the cable has a higger temperature.

Key words :
Cable Temperature, Retortion of Cable

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pernyataan Orisinalitas	ii
Lembar Pengesahan	iii
Ucapan Terima Kasih	iv
Lembar Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah Untuk Kepentingan Akademis	v
Abstrak	vi
Abstract	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi
Daftar Grafik.....	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang Masalah	1
1.2.Tujuan Penulisan	1
1.3.Batasan Masalah	2
1.4.Metodologi Penulisan	2
1.5.Sistematika Penulisan	2
2. DASAR TEORI	4
2.1.Jenis Kabel Instalasi	4
2.2.Kabel NYM	6
2.2.1. Arti Kode Pengenal Kabel NYM	6
2.2.2. Konstruksi Kabel NYM	7
2.2.3. Standar Untuk Kabel NYM	8
2.2.4. Penggunaan Kabel NYM	16
2.3.Karakteristik Medan Magnet dan Temperatur pada Penghantar yang Ditekuk	16
2.3.1. Distribusi Gaya Magnetik pada Konduktor yang Ditekuk	17
2.3.2. Karakteristik Temperatur dari Konduktor yang Ditekuk	18
2.3.2.1.Pengaruh Sudut Penekukan dan Radius Penekukan Terhadap Temperatur Konduktor	18

2.3.2.2. Pengaruh Rasio Arus I/Icr Terhadap Temperatur Konduktor	20
2.4. Sumber Pemanasan pada Kabel	21
2.5. Temperatur dan Aliran Panas pada Kabel	24
3. METODE PENGUJIAN	26
3.1. Peralatan dan Rangkaian Pengujian	26
3.1.1. Sampel Pengujian	26
3.1.2. Peralatan Pengujian	27
3.1.3. Rangkaian Pengujian	27
3.2. Pengujian Termal Terhadap Kabel NYM 2x1.5mm ² yang ditekuk	28
3.2.1. Persiapan Awal Pengujian	28
3.2.2. Proses Pengujian	29
3.2.2.1. Pengujian Terhadap Kabel yang Ditekuk Sebesar 135 derajat	29
3.2.2.2. Pengujian Terhadap Kabel yang Ditekuk Sebesar 90 derajat	30
3.2.2.3. Pengujian Terhadap Kabel yang Ditekuk Sebesar 60 derajat	30
3.2.2.4. Pengujian Terhadap Kabel yang Ditekuk Sebesar 30 derajat	30
3.2.2.5. Pengujian Terhadap Kabel yang Ditekuk Balik	30
4. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS	31
4.1. Data Hasil Pengujian	31
4.1.1. Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 135 derajat	31
4.1.2. Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 90 derajat	33
4.1.3. Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 60 derajat	35
4.1.4. Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 30 derajat	37
4.1.5. Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Balik	39
4.2. Grafik Data Hasil Pengujian	41
4.2.1. Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 135 derajat	41
4.2.2. Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 90 derajat	42
4.2.3. Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 60 derajat	43
4.2.4. Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 30 derajat	44
4.2.5. Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Balik	45
4.3. Analisis Data dan Grafik	46
4.3.1. Analisis Perbedaan Nilai Temperatur Konstan Antara Konduktor dengan Isolasi	46

4.3.2. Analisis Pengaruh Besar Sudut Penekukan Kabel Terhadap Temperatur Konstan	49
5. KESIMPULAN	56
DAFTAR REFERENSI	57
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kabel sebagai penyalur daya listrik	4
Gambar 2.2 Kabel NYA	5
Gambar 2.3 Kabel NYM	5
Gambar 2.4 Kabel NYY	6
Gambar 2.5 Bagian kabel NYM	7
Gambar 2.6 Penghantar yang ditekuk	17
Gambar 2.7 Model yang digunakan untuk perhitungan	18
Gambar 2.8 Diagram vector arus pada kapasitor	23
Gambar 2.9 Rangkaian termal untuk kabel dengan satu sumber kalor	25
Gambar 2.10 Rangkaian termal untuk kabel dengan dua sumber kalor	25
Gambar 3.1 Konstruksi kabel NYM	26
Gambar 3.2 Rangkaian pengujian	28
Gambar 3.3 Penampang High Current Injector	28
Gambar 4.1 Kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat	31
Gambar 4.2 Kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat	33
Gambar 4.3 Kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat	35
Gambar 4.4 Kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat	37
Gambar 4.5 Kabel yang ditekuk balik	39
Gambar 4.6 Arah laju aliran kalor	47
Gambar 4.7 Atom Hidrogen	51
Gambar 4.8 Elektron bebas	51
Gambar 4.9 Pergerakan electron ketika terjadi perbedaan potensial	52
Gambar 4.10 Arah medan magnet sesuai kaedah tangan kanan	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia 04-2699 tentang kabel NYM	10
Tabel 2.2 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 2 inti	12
Tabel 2.3 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 3 inti	13
Tabel 2.4 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 4 inti	14
Tabel 2.5 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 5 inti	15
Tabel 4.1 Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat	32
Tabel 4.2 Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat	34
Tabel 4.3 Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat	36
Tabel 4.4 Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat	38
Tabel 4.5 Data hasil pengujian kabel yang ditekuk balik	40

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Pengaruh nilai R_o terhadap temperatur maksimum	19
Grafik 2.2 Pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur maksimum	19
Grafik 2.3 Pengaruh rasio arus terhadap temperatur maksimum	20
Grafik 2.4 Pengaruh suhu pengujian terhadap temperatur maksimum	21
Grafik 4.1 Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat	42
Grafik 4.2 Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat	43
Grafik 4.3 Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat	44
Grafik 4.4 Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat	45
Grafik 4.5 Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk balik	46
Grafik 4.6 Grafik pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur pada arus 5A	50
Grafik 4.6 Grafik pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur pada arus 19A ..	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang Masalah

Kabel memiliki peranan yang sangat penting dalam proses penyaluran daya listrik. Permasalahan yang banyak terjadi pada kabel adalah permasalahan pada bahan isolasi dimana sering kali terjadi kegagalan isolasi sehingga bahan isolasi tidak dapat melakukan fungsinya dengan baik. Kegagalan dari isolasi tersebut disebabkan oleh banyak hal dan salah satunya adalah karena panas yang terjadi pada kabel sehingga isolasi kabel tersebut rusak.

Pemasangan kabel listrik pada instalasi listrik di perumahan tidak selalu lurus, tetapi di tempat-tempat tertentu harus ditekuk/dibengkokkan. Hal ini sering dilupakan dan bahkan diabaikan, padahal adanya penekukan pada kabel ini akan mempengaruhi kenaikan temperatur kabel. Banyak kasus kebakaran terjadi karena adanya hubung pendek listrik (short circuit/korsluiting) yang disebabkan karena tingginya temperatur pada kabel yang menyebabkan rusaknya isolasi kabel tersebut.

Untuk itu pada skripsi ini dilakukan pengujian terhadap kabel listrik dengan menekuk kabel dan mengalirkan arus pada kabel tersebut.

1.2.Tujuan Penulisan

Penulisan Skripsi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besarnya sudut penekukan kabel dan besar arus terhadap temperatur kabel ketika di aliri arus. Dengan demikian dapat diketahui sampai berapa besar sudut penekukan yang memberikan pengaruh terhadap kenaikan temperatur kabel.

Untuk dapat mencapai tujuan tersebut maka dilakukan pengujian untuk mendapatkan data mengenai temperatur yang terjadi pada saat kabel dialiri arus yang dengan menekuk kabel dengan besar sudut penekukan yang bervariasi. Sudut penekukan yang diberikan pada pengujian adalah 135 derajat sampai kabel ditekuk balik. Ketika kabel dialiri arus kenaikan temperatur yang terjadi diperhatikan dan dicatat setiap 30 detik sampai kabel mencapai temperatur yang konstan. Data tersebut akan dibandingkan antara data yang didapat ketika kabel ditekuk 135 derajat dengan yang lainnya.

1.3.Batasan Masalah

Pada skripsi ini, pengujian temperatur dibatasi oleh beberapa kondisi yakni kabel yang diuji adalah kabel NYM dengan 2 penghantar berinti tunggal dengan luas penampang konduktor 1.5 mm^2 jenis NYM 300/500 Volt. Pengujian dilakukan dengan tegangan bolak-balik(AC) 220 V dengan frekuensi 50 Hz. Kabel yang diuji ditekuk dengan sudut tekuk sebesar 135 derajat, 90 derajat, 60 derajat, 30 derajat, dan tekuk balik dan dialiri arus sebesar 5A, 10A, 15A, 17A, 18A, dan 19A.

1.4.Metodologi Penulisan

Skripsi ini ini dibuat berdasarkan hasil studi literatur dari karya-karya dan tulisan-tulisan ilmiah disamping hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (LTTPL) Fakultas Teknik Elektro Universitas Indonesia sebagai pembanding atau penguat dari hasil studi literatur.

1.5. Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari 5 bab yang diawali dengan bab I yang menjelaskan mengenai latar belakang penulisan skripsi, tujuan penulisan, batasan masalah yang diambil, metodologi pengujian yang dilakukan, dan sistematika penulisan skripsi ini.

Selanjutnya pada bab II akan dijelaskan mengenai kabel, tipe-tipe kabel, kabel NYM yang meliputi konstruksi kabel NYM, standar yang digunakan untuk kabel NYM, dan pemakaian kabel NYM pada instalasi listrik, pemanasan pada kabel, dan pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur kabel.

Bab III menjelaskan tentang metode-metode yang dilakukan dalam pengujian. Pada bab tersebut dijelaskan tentang peralatan-peralatan dan bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian, rangkaian pengujian serta langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian.

Berikutnya pada bab IV dibahas tentang hasil pengujian dan analisis terhadap hasil pengujian tersebut. Bagian yang dianalisis adalah kenaikan temperatur pada konduktor dan bahan isolasi sampai keadaan setimbang, perbedaan temperatur antara bagian konduktor dengan bagian isolasi dari kabel, grafik kenaikan temperatur

konduktor dan bahan isolasi. Dibahas juga hubungan antara sudut penekukan kabel dengan kenaikan temperatur.

Dan terakhir adalah bab V yang merupakan kesimpulan dari semua pembahasan bab-bab sebelumnya.

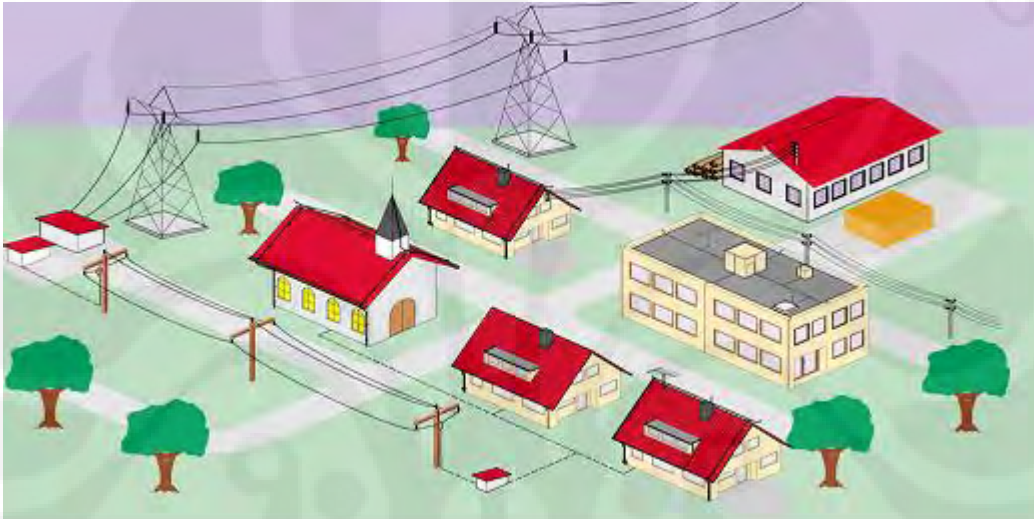


BAB II

DASAR TEORI

Dalam sistem tenaga listrik kabel merupakan benda yang sangat penting. Secara umum, kabel memiliki 2 fungsi yaitu :

1. Untuk menyalurkan daya listrik dari satu tempat ke tempat lain
2. Untuk membawa sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain



Gambar 2.1 Kabel sebagai penyalur daya listrik

Sumber : Slide Mata Kuliah Instalasi Listrik Konsumen Departemen Elektro FTUI

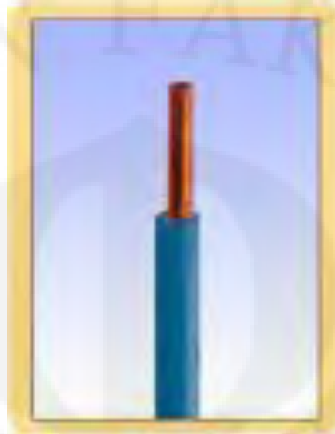
2.1 Jenis Kabel Instalasi [1]

Kabel instalasi rumah yang sering dipakai adalah jenis kawat tembaga, bukan kabel serabut. Kabel kawat tembaga ini ada beberapa macam, diantara yang umum dipakai adalah tipe kabel NYA, NYM dan NYY. Keterangan masing-masing kabel sebagai berikut:

1. NYA

Karakteristik dari kabel jenis ini adalah berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, untuk instalasi luar/kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam. Kabel tipe ini umum dipergunakan di perumahan karena harganya

yang relatif murah. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus.



Gambar 2.2 Kabel NYA [1]

Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah terjadi gangguan luar seperti menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.

2. NYM

Kabel jenis ini memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan di lingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.3 Kabel NYM [1]

3. NYY

Karakteristik dari kabel ini yaitu memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.



Gambar 2.4 Kabel NYY [1]

2.2. KABEL NYM

2.2.1 Arti Kode Pengenal Kabel NYM [2]

Arti kode pengenal kabel NYM menurut SPLN 42-2:1992 adalah sebagai berikut :

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

Penandaan kode pengenal dilengkapi dengan luas penampang penghantar dan tegangan pengenal. Sehingga pengertian dari kabel yang digunakan pada skripsi ini NYM 2x1.5mm² re 300/500 volt menyatakan kabel berisolasi dan berselubung PVC

berinti dua dengan tegangan pengenalan 300/500 V, berpenghantar tembaga padat bulat dengan luas penampang 1.5 mm^2 dengan sistem pengenalan warna inti tanpa hijau-kuning.

2.2.2 Konstruksi Kabel NYM



Gambar 2.5 Bagian kabel NYM [3]

1. 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.

2. 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.

3. Lapisan pembungkus inti

Untuk tegangan kerja yang tinggi, setiap inti kabel dilengkapi dengan suatu lapisan yang disebut lapisan pembungkus inti, yang terbuat dari bahan semi konduktif. Lapisan tersebut berfungsi untuk:

- Meratakan distribusi medan listrik sehingga tidak terjadi penimbunan tegangan.
- Untuk mengamankan manusia dari bahaya listrik.
- Untuk menahan radiasi medan elektromagnetik.

4. Selubung

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 sintetis seperti karet silikon dan PVC.

2.2.3 Standar Untuk Kabel NYM

Dalam rangka peningkatan produktivitas dan daya guna produksi serta menjamin mutu produk dan/atau jasa, sehingga dapat meningkatkan daya saing produk dan/atau jasa, melindungi konsumen, tenaga kerja, dan masyarakat baik keselamatan maupun kesehatan, dipandang perlu adanya pengaturan mengenai standardisasi. Standardisasi adalah proses merumuskan, merevisi, menetapkan, dan menerapkan standar, dilaksanakan secara tertib dan kerjasama dengan semua pihak,

Standar adalah spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan, disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat-syarat kesehatan, keselamatan, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta pengalaman, perkembangan masa kini dan masa yang akan datang untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya

Menurut PP 15 Tahun 1991 Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah standar yang ditetapkan oleh instansi teknis setelah mendapat persetujuan dari Dewan Standardisasi Nasional, dan berlaku secara nasional di Indonesia.

Standar Nasional Indonesia bertujuan :

1. memberikan perlindungan kepada konsumen, tenaga kerja, dan masyarakat baik dalam keselamatan maupun kesehatan
2. mewujudkan jaminan mutu dengan memperhatikan sektor-sektor yang terkait

3. meningkatkan daya guna, hasil guna dan produktivitas dalam mencapai mutu produk dan/atau jasa yang memenuhi standar
4. mewujudkan tercapainya persaingan yang sehat dalam perdagangan
5. menunjang kelestarian lingkungan hidup.

Pemerintah mengarahkan agar standar nasional yang disusun berdasarkan kesepakatan antara pihak-pihak yang berkepentingan termasuk instansi Pemerintah, organisasi pengusaha dan organisasi perusahaan, kalangan ahli ilmu pengetahuan dan teknologi, produsen, serta wakil-wakil konsumen dan pemakai produk merupakan perwujudan kesepakatan nasional untuk ditetapkan sebagai Standar Nasional Indonesia. Hal ini diatur oleh PP no 15 tahun 1991 [4].

Standar Nasional Indonesia untuk jenis kabel NYM diatur oleh SNI -04-2699 yang ditunjukkan oleh table di bawah ini:

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia 04-2699 tentang kabel NYM

No. of cores	Size	Conductor			Nominal Thickness		Approx. Overall Diameter	Approx. Net Weight	Resistance at 20°C DC		Current Carrying Capacity	Test Voltage AC
		D	Construction	No. of wire	Insulation	Sheath			Max. Conductor	Min. Insulation		
-	mm ²	mm	-	-	mm	mm	mm	Kg/100m	Ohm/Km	M Ohm/Km	Ampere	KV
2	1.5	1.4	re(rm)	1(7)	0.76	1.2	8.6	11.8	12.1	50	19	2
2	2.5	1.8	re(rm)	1(7)	0.86	1.2	9.8	16.2	7.28	50	25	2
2	4	2.25	re(rm)	1(7)	0.87	1.2	10.9	21.5	4.56	50	34	2
2	6	2.76	re(rm)	1(7)	0.9	1.3	12.2	28.6	3.03	50	44	2
2	10	3.56	re(rm)	1(7)	1.07	1.6	15	45	1.61	50	61	2
2	16	1.71x7	re(rm)	1(7)	1.14	1.6	17	53	1.15	40	82	2
2	25	2.13x7	re(rm)	1(7)	1.27	1.6	20.7	96	0.73	40	108	2
3	1.5	1.4	re(rm)	1(7)	0.76	1.2	9.2	14.2	12.1	50	19	2
3	2.5	1.8	re(rm)	1(7)	0.86	1.2	10.4	19.5	7.28	50	25	2
3	4	2.25	re(rm)	1(7)	0.87	1.2	11.6	26.7	4.56	50	34	2
3	6	2.76	re(rm)	1(7)	0.9	1.3	13.2	36.5	3.03	50	44	2
3	10	3.56	re(rm)	1(7)	1.07	1.6	16	56	1.61	50	61	2
3	16	1.71x7	re(rm)	1(7)	1.14	1.6	18.5	82	1.15	40	82	2
3	25	2.13x7	re(rm)	1(7)	1.27	1.6	22.3	123	0.73	40	108	2
4	1.5	1.4	re(rm)	1(7)	0.76	1.2	10	17.5	12.1	50	19	2
4	2.5	1.8	re(rm)	1(7)	0.86	1.2	11.3	24	7.28	50	25	2
4	4	2.25	re(rm)	1(7)	0.87	1.2	13.9	37.5	4.56	50	34	2
4	6	2.76	re(rm)	1(7)	0.9	1.3	14.4	45	3.03	50	44	2
4	10	3.56	re(rm)	1(7)	1.07	1.6	17	68	1.61	50	61	2
4	16	1.71x7	re(rm)	1(7)	1.14	1.6	20.5	104	1.15	40	82	2
4	25	2.13x7	re(rm)	1(7)	1.27	1.6	25	160	0.73	40	108	2
5	1.5	1.4	re(rm)	1(7)	0.76	1.2	12.7	19.5	12.1	50	19	2
5	2.5	1.8	re(rm)	1(7)	0.86	1.2	14.1	28	7.28	50	25	2
5	4	2.25	re(rm)	1(7)	0.87	1.2	16.9	42.6	4.56	50	34	2
5	6	2.76	re(rm)	1(7)	0.9	1.3	18.8	58.4	3.03	50	44	2
5	10	3.56	re(rm)	1(7)	1.07	1.6	19.5	87.6	1.61	50	61	2
5	16	1.71x7	re(rm)	1(7)	1.14	1.6	23	130	1.15	40	82	2
5	25	2.13x7	re(rm)	1(7)	1.27	1.6	28	199	0.73	40	108	2

Selain Standar Nasional Indonesia, standar lain yang digunakan di Indonesia adalah SPLN yaitu standar yang digunakan oleh PLN. Standar ini tidak berbeda jauh dengan SNI karena keduanya mengacu pada standar internasional. Kedua standar ini memiliki fungsi yang sama yaitu untuk memberikan perlindungan kepada konsumen, tenaga kerja, dan masyarakat baik dalam keselamatan maupun kesehatan, mewujudkan jaminan mutu dengan memperhatikan sektor-sektor yang terkait, meningkatkan daya guna, hasil guna dan produktivitas dalam mencapai mutu produk dan/atau jasa yang memenuhi standar, mewujudkan tercapainya persaingan yang sehat dalam perdagangan, dan menunjang kelestarian lingkungan hidup.

Standar untuk kabel NYM menurut SPLN [2] dituliskan dalam SPLN 42-2:1992 seperti table dibawah ini :

Tabel 2.2 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 2 inti

Jumlah inti, luas penampang penghantar, dan konstruksi penghantar		Penghantar		Tebal			diameter luar (d)		resistansi isolasi setiap inti terhadap inti/gabungan inti yang lain pada suhu 20°C	resistansi isolasi pada suhu 70°C	kuat hantar arus pada suhu	
		jumlah kawat	diameter kawat	isolasi nominal	lapisan pembungkus inti	selubung nominal						
				S1	S2	S3					minimum	maksimum
				mm	mm	mm					mm	mm
2x1.5	re	1	1.38	0.7	0.4	1.2	8.4	10	50	0.011	19	16
2x1.5	rm	7	0.52	0.7	0.4	1.2	8.4	10.5	50	0.01	19	16
2x2.5	re	1	1.78	0.8	0.4	1.2	9.6	11.5	50	0.01	25	22
2x2.5	rm	7	0.67	0.8	0.4	1.2	9.6	12	50	0.009	25	22
2x4	re	1	2.26	0.8	0.4	1.2	10.5	12.5	50	0.0085	34	30
2x4	rm	7	0.85	0.8	0.4	1.2	10.5	13	50	0.0077	34	30
2x6	re	1	2.76	0.8	0.4	1.2	11.5	13.5	50	0.07	44	39
2x6	rm	7	1.04	0.8	0.4	1.2	11.5	14	50	0.0065	44	39
2x10	re	1	3.57	1	0.6	1.4	14.5	16.5	50	0.007	61	53
2x10	rm	7	1.35	1	0.6	1.4	15	17.5	50	0.0065	61	53
2x16	rm	7	1.71	1	0.6	1.4	16.5	20	40	0.0052	82	71
2x25	rm	7	2.13	1.2	0.8	1.4	20.5	24	40	0.005	108	94
2x35	rm	7	2.52	1.2	1	1.6	23	27.5	40	0.0044	134	117

Sumber : SPLN 42-2:1992 (telah diolah kembali)

Tabel 2.3 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 3 inti

Jumlah inti, luas penampang penghantar, dan konstruksi penghantar		Penghantar		Tebal			diameter luar (d)		resistansi isolasi setiap inti terhadap inti/gabun- gan inti yang lain pada suhu 20°C	resistansi isolasi pada suhu 70°C	kuat hantar arus pada suhu	
		jumlah kawat	diameter kawat	isolasi nominal	lapisan pembung- kus inti	selubung nominal						
		buah	mm	mm	mm	mm	mm	mm	M.ohm/km	M.ohm/km	A	A
3x1.5	re	1	1.38	0.7	0.4	1.2	8.4	8.8	50	0.011	19	16
3x1.5	rm	7	0.52	0.7	0.4	1.2	8.4	8.8	50	0.01	19	16
3x2.5	re	1	1.78	0.8	0.4	1.2	9.6	10	50	0.01	25	22
3x2.5	rm	7	0.67	0.8	0.4	1.2	9.6	10	50	0.009	25	22
3x4	re	1	2.26	0.8	0.4	1.2	10.5	11	50	0.0085	34	30
3x4	rm	7	0.85	0.8	0.4	1.2	10.5	11	50	0.0077	34	30
3x6	re	1	2.76	0.8	0.4	1.4	11.5	12.5	50	0.07	44	39
3x6	rm	7	1.04	0.8	0.4	1.4	11.5	12.5	50	0.0065	44	39
3x10	re	1	3.57	1	0.6	1.4	14.5	15.5	50	0.007	61	53
3x10	rm	7	1.35	1	0.6	1.4	15	15.5	50	0.0065	61	53
3x16	rm	7	1.71	1	0.6	1.4	16.5	18	40	0.0052	82	71
3x25	rm	7	2.13	1.2	0.8	1.6	20.5	22	40	0.005	108	94
3x35	rm	7	2.52	1.2	1	1.6	23	24.5	40	0.0044	134	117

Sumber : SPLN 42-2:1992 (telah diolah kembali)

Tabel 2.4 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 4 inti

Jumlah inti, luas penampang penghantar, dan konstruksi penghantar		Penghantar		Tebal			diameter luar (d)		resistansi isolasi setiap inti terhadap inti/gabun- gan inti yang lain pada suhu 20°C	resistansi isolasi pada suhu 70°C	kuat hantar arus pada suhu	
		jumlah kawat	diameter kawat	isolasi nominal	lapisan pembung- kus inti	selubung nominal						
							S1	S2	S3	minimum	maksimum	minimum
		buah	mm	mm	mm	mm	mm	mm	M.ohm/km	M.ohm/km	A	A
4x1.5	re	1	1.38	0.7	0.4	1.2	9.6	11.5	50	0.011	19	16
4x1.5	rm	7	0.52	0.7	0.4	1.2	9.6	12	50	0.01	19	16
4x2.5	re	1	1.78	0.8	0.4	1.2	11	13	50	0.01	25	22
4x2.5	rm	7	0.67	0.8	0.4	1.2	11	13.5	50	0.009	25	22
4x4	re	1	2.26	0.8	0.4	1.2	12	14.5	50	0.0085	34	30
4x4	rm	7	0.85	0.8	0.4	1.2	12.5	15	50	0.0077	34	30
4x6	re	1	2.76	0.8	0.4	1.4	14	16	50	0.07	44	39
4x6	rm	7	1.04	0.8	0.4	1.4	14	17	50	0.0065	44	39
4x10	re	1	3.57	1	0.6	1.4	16.5	19	50	0.007	61	53
4x10	rm	7	1.35	1	0.6	1.4	17	20.5	50	0.0065	61	53
4x16	rm	7	1.71	1	0.6	1.4	20	23.5	40	0.0052	82	71
4x25	rm	7	2.13	1.2	0.8	1.6	24.5	28.5	40	0.005	108	94
4x35	rm	7	2.52	1.2	1	1.6	27	32	40	0.0044	132	117

Sumber : SPLN 42-2:1992 (telah diolah kembali)

Tabel 2.5 SPLN 42-2:1992 tentang kabel NYM dengan 5 inti

Jumlah inti, luas penampang penghantar, dan konstruksi penghantar		Penghantar		Tebal			diameter luar (d)		resistansi isolasi setiap inti terhadap inti/gabun- gan inti yang lain pada suhu 20°C	resistansi isolasi pada suhu 70°C	kuat hantar arus pada suhu	
		jumlah kawat	diameter kawat	isolasi nominal	lapisan pembung- kus inti	selubung nominal						
				S1	S2	S3					minimum	maksimum
				buah	mm	mm	mm	mm	mm	mm	M.ohm/km	M.ohm/km
5x1.5	re	1	1.38	0.7	0.4	1.2	10	12	50	0.011	19	16
5x1.5	rm	7	0.52	0.7	0.4	1.2	10	12.5	50	0.01	19	16
5x2.5	re	1	1.78	0.8	0.4	1.2	11.5	14	50	0.01	25	22
5x2.5	rm	7	0.67	0.8	0.4	1.2	12	14.5	50	0.009	25	22
5x4	re	1	2.26	0.8	0.6	1.4	13.5	16	50	0.0085	34	30
5x4	rm	7	0.85	0.8	0.6	1.4	14	17	50	0.0077	34	30
5x6	re	1	2.76	0.8	0.6	1.4	15	17.5	50	0.07	44	39
5x6	rm	7	1.04	0.8	0.6	1.4	15.5	18.5	50	0.0065	44	39
5x10	re	1	3.57	1	0.6	1.4	18	21	50	0.007	61	53
5x10	rm	7	1.35	1	0.6	1.4	18.5	22	50	0.0065	61	53
5x16	rm	7	1.71	1	0.8	1.6	22	26	40	0.0052	82	71
5x25	rm	7	2.13	1.2	1	1.6	27	31.5	40	0.005	108	94
5x35	rm	7	2.52	1.2	1.2	1.6	30	35	40	0.0044	134	117

Sumber : SPLN 42-2:1992 (telah diolah kembali)

2.2.4 Penggunaan Kabel NYM

Kabel NYM merupakan kabel yang paling banyak digunakan untuk instalasi rumah tinggal. Penggunaan kabel jenis ini dipasang langsung menempel pada dinding, kayu, atau ditanam langsung dalam dinding. Juga diruangan lembab atau basah, ruang kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan. Bisa juga dipasang langsung pada bagian-bagian lain bangunan konstruksi, rangka asalkan cara pemasangannya tidak merusak selubung luar kabelnya tetapi tidak boleh dipasang didalam tanah.

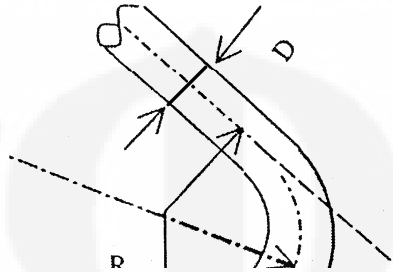
Untuk pemasangannya digunakan klem dengan jarak antara yang cukup sehingga terpasang rapi dan lurus. Jika dipasang diruang lembab harus digunakan kotak sambung yang kedap air dan kedap lembab. Luas penampang hantaran yang harus digunakan ditentukan kemampuan hantaran arus yang diperlukan dan suhu keliling yang harus diperhitungkan. Selain itu rugi tegangannya harus diperhatikan. Rugi tegangan antara perlengkapan hubung bagi utama dan setiap titik beban pada keadaan stasioner dengan beban penuh tidak boleh melebihi 5% dari tegangan di perlengkapan hubung bagi utama.

Untuk instalasi rumah tinggal sekurang-kurangnya harus memiliki luas penampang 1.5 mm^2 . Untuk saluran 2 kawat, kawat netral harus memiliki luas penampang sama dengan luas penampang kawat fasanya. Untuk saluran 3 fasa dengan hantaran netral, kemampuan hantaran arusnya harus sesuai dengan arus maksimum yang mungkin timbul dalam keadaan beban tak seimbang yang normal. Luas penampang sekurang-kurangnya harus sama dengan luas penampang kawat fasa. Dalam saluran 3 fasa semua hantaran fasanya harus mempunyai penampang yang sama.

2.3. Karakteristik Medan Magnet dan Temperatur pada Penghantar yang Ditekuk

Temperatur yang dihasilkan di sepanjang penghantar yang ditekuk ketika dialiri arus tidaklah merata. Hal ini disebabkan karena kepadatan arus yang tidak sama di sepanjang penghantar. Pada nilai arus yang sama, temperatur permukaan dari sebuah penghantar yang ditekuk dengan sudut tekuk yang lebih kecil lebih tinggi daripada penghantar yang ditekuk dengan sudut tekuk yang lebih besar. Perubahan

temperatur berbanding lurus dengan nilai rasio arus I/I_{cr} , sudut tekukan, dan radius penekukan dimana I adalah besar arus yang dialirkan, dan I_{cr} adalah arus maksimal yang bisa diberikan kepada penghantar.



Gambar 2.6 Penghantar yang ditekuk [5]

Pada gambar 2.6 R_0 adalah radius penekukan, α adalah sudut penekukan dan D adalah diameter penghantar. Adapun hal yang menyebabkan kenaikan suhu pada penghantar yang ditekuk adalah medan magnet yang dihasilkan oleh arus, hambatan termal yang disebabkan penekukan, efek kulit, serta kepadatan arus yang tidak merata di sepanjang penghantar. Temperatur maksimum dan medan magnet maksimum terjadi pada bagian konduktor yang ditekuk.

2.3.1 Distribusi Gaya Magnetik pada Konduktor yang Ditekuk [6]

Kepadatan flux magnet yang dihasilkan pada titik $P(x,y)$, dimana $x,y(m)$ adalah koordinat Cartesian dari titik P , digambarkan pada persamaan berikut:

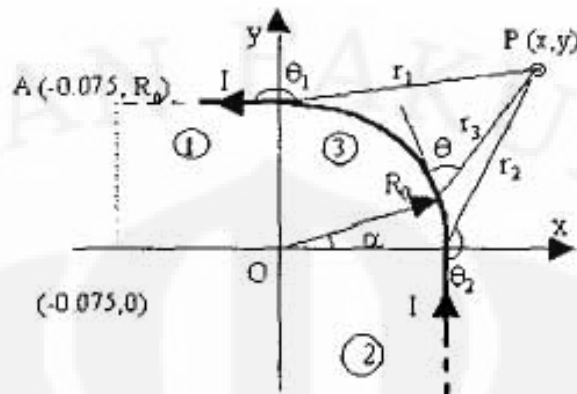
$$B = B_1 + B_2 + B_3 \text{ (T)} \quad (2.1)$$

$$B_{1,2} = \frac{\mu I}{4\pi} \cdot \frac{1}{r_{1,2} \sin \theta_{1,2}} (1 + \cos \theta_{1,2}) \text{ (T)} \quad (2.2)$$

$$B_3 = \int_0^\pi \frac{\mu I R_0 \sin \theta}{4\pi^2} d\alpha \text{ (T)} \quad (2.3)$$

$$\Delta \vec{F}_m = (I \Delta \vec{s}) \times \vec{B} \text{ (N/m)} \quad (2.4)$$

dimana B_1 , B_2 , dan B_3 adalah kepadatan medan magnet pada titik 1, 2 dan 3.



Gambar 2.7 Model yang digunakan untuk perhitungan [6]

Pada persamaan 2.2, $B_{1,2}(T)$, $r_{1,2}(m)$ dan $\theta_{1,2}(\text{radian})$ adalah parameter yang diukur pada titik 1 dan 2. $R_0(m)$ adalah radius penekukan, I adalah nilai dari arus, $\alpha(\text{radian})$ adalah sudut yang dibentuk oleh garis yang ditarik dari titik yang diukur menuju titik $(0,0)$ dan $\theta(\text{radian})$ adalah sudut antara garis yang ditarik dari titik 3 menuju titik P.

Medan magnet per satuan panjang dapat diekspresikan pada persamaan 2.2. Perhatikan gambar di atas, untuk bagian 1, nilai B pada persamaan 2.11 adalah $B_2 + B_3$, pada bagian 2 adalah $B_1 + B_3$.

2.3.2 Karakteristik Temperatur dari Konduktor yang Ditekuk [5]

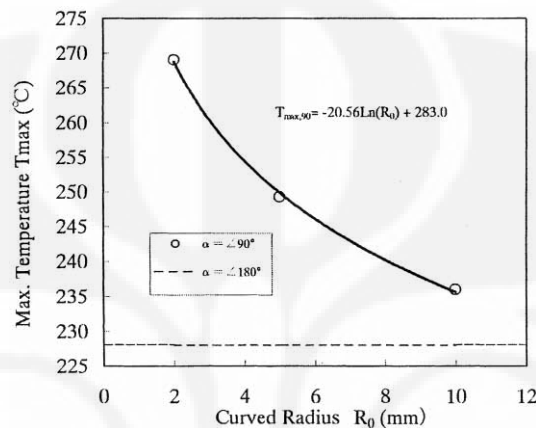
2.3.2.1 Pengaruh Sudut Penekukan dan Radius Penekukan Terhadap Temperatur Konduktor

Pada percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan kabel dengan diameter 1mm didapatkan pengaruh radius tekukan R_0 terhadap temperatur maksimum konduktor, hal ini dapat ditunjukkan oleh gambar 8. Arus kritis dari konduktor yang lurus adalah $I_{cr}=69$ A. Temperatur maksimum adalah temperatur yang tercapai ketika konduktor dialiri arus dalam waktu yang cukup lama. Ketika penghantar dialiri arus $I=50$ A, sudut penekukan $\alpha=90^\circ$ dan radius penekukan $R_0=2$ mm, T_{max} yang diperoleh lebih tinggi jika dibandingkan dengan konduktor yang lurus. Bertambahnya nilai radius penekukan akan menyebabkan temperatur

maksimum T_{max} berkurang. T_{max} dari konduktor yang ditekuk 90° dapat dapat diturunkan dalam bentuk persamaan:

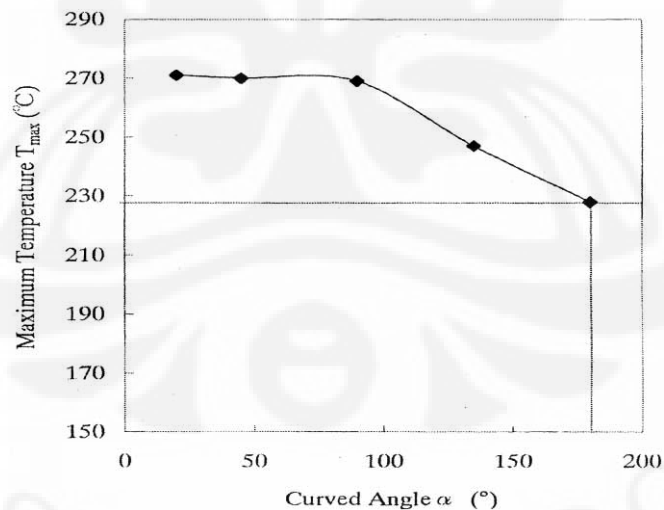
$$T_{max,90}(^{\circ}C) = -20.56 \ln R_0 + 283 \quad (2.5)$$

Persamaan diatas jika digambarkan dalam bentuk grafik adalah seperti pada gambar 2.8 di bawah ini :



Grafik 2.1 Pengaruh nilai R_0 terhadap temperatur maksimum [5]

Sedangkan grafik pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur maksimum kabel adalah seperti pada gambar 2.9 dibawah ini :



Grafik 2.2 Pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur maksimum [5]

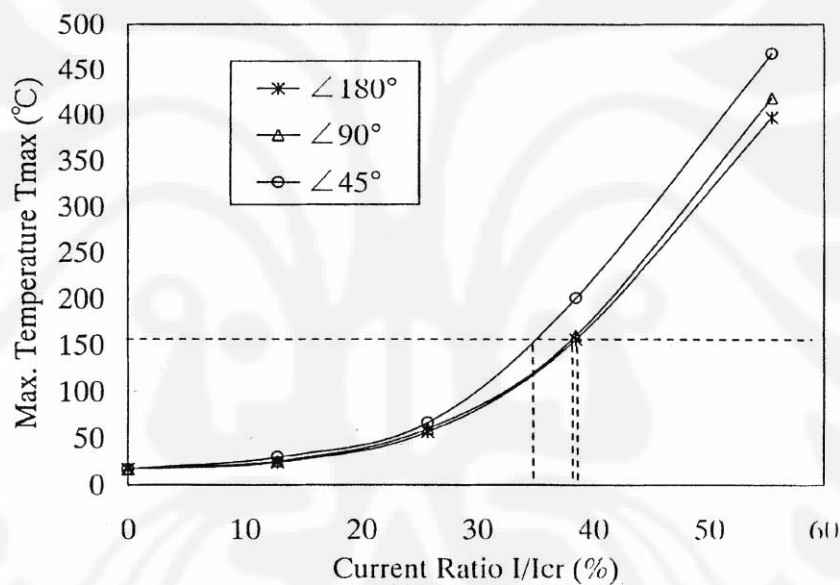
Kabel yang digunakan disini adalah kabel dengan diameter 1 mm. Gambar diatas menunjukkan semakin besar nilai sudut penekukan, semakin besar nilai temperatur maksimum yang dicapai.

2.3.2.2 Pengaruh Rasio Arus I/I_{cr} Terhadap Temperatur Konduktor

Kenaikan temperatur pada penghantar yang lurus dapat digambarkan pada persamaan 2.6 dimana I_{cr} adalah Arus kritis dari penghantar.

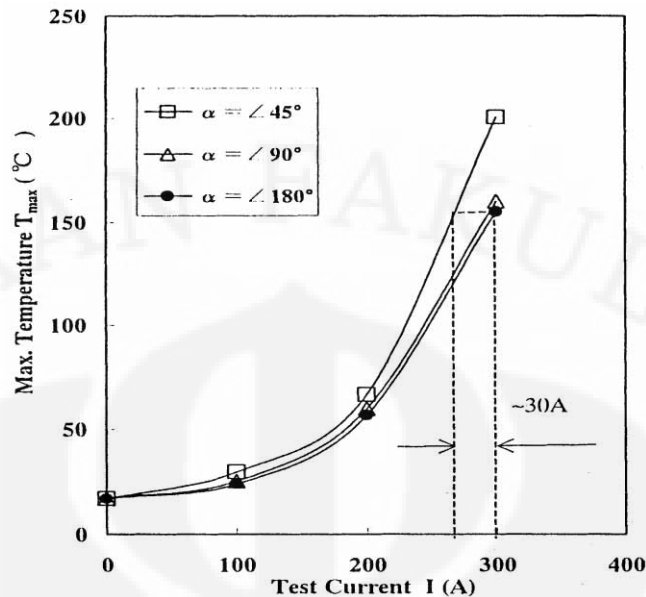
$$T_{\max,180} \text{ } ^\circ\text{C} = 0.00170 \left(\frac{I}{I_{cr}} \right)^3 + 0.0382 \left(\frac{I}{I_{cr}} \right)^2 - 0.441 \left(\frac{I}{I_{cr}} \right) + 17.0 \quad (2.6)$$

dimana $\left(0 \leq \frac{I}{I_{cr}} (\%) \leq 55,5 \right)$. Jika digambarkan dalam bentuk grafik, maka persamaan 2.6 dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.10 di bawah ini :



Grafik 2.3 Pengaruh rasio arus terhadap temperatur maksimum [5]

Sedangkan Pengaruh arus pengujian terhadap temperatur dapat dilihat pada gambar 2.11 di bawah ini :



Grafik 2.4 Pengaruh suhu pengujian terhadap temperatur maksimum [5]

Terlihat bahwa untuk arus yang sama, nilai temperatur maksimum yang dicapai penghantar yang ditekuk lebih besar bila dibandingkan dengan penghantar lurus.

2.4. Sumber Pemanasan pada Kabel [7]

Pemanasan yang terjadi pada kabel berasal dari arus listrik yang menyebabkan *losses* atau rugi-rugi yang terjadi di dalam kabel. Sumber-sumber pemanasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Rugi-Rugi Konduktor

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

$$P_c = I^2 R_{ac} \quad W \quad (2.7)$$

dengan I adalah arus yang mengalir dan R_{ac} adalah resistansi AC.

Nilai resistansi AC berbeda dengan nilai resistansi DC. Nilai resistansi DC dipengaruhi oleh temperatur kerja dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha_{20} (T - 20^\circ)] \quad (2.8)$$

dengan :

- R_{20} : resistansi arus searah pada suhu 20°C [Ohm]
 α_{20} : koefisien temperatur dari resistansi pada 20°C [Ohm/ $^\circ\text{C}$]
 T : temperatur kerja [$^\circ\text{C}$]

Resistansi AC lebih besar daripada resistansi DC karena 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 bolak-baliknya 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.

Akibat kedua efek tersebut, resistansi AC lebih besar daripada resistansi DC, dan hubungannya dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$R_{ac} = R_{dc} [1 + Y_s + Y_p] \quad (2.9)$$

dengan :

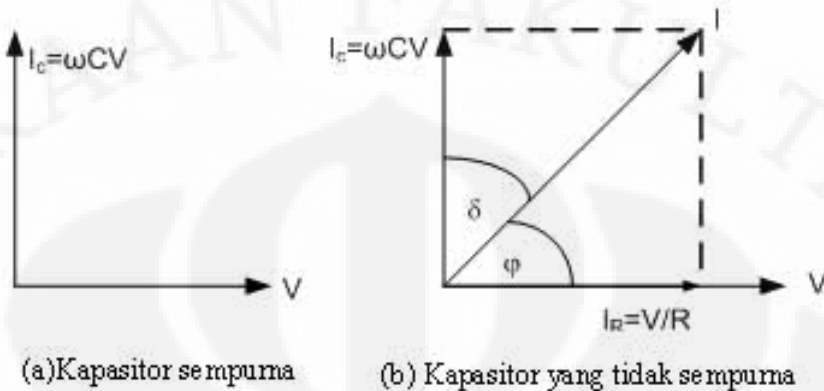
- R_{ac} : resistansi AC [Ohm]
 R_{dc} : resistansi DC [Ohm]
 Y_s : faktor koreksi akibat *skin effect*
 Y_p : faktor koreksi akibat *proximity effect*

2. Rugi-Rugi Dielektrik (*Dielectric losses*)

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

Apabila arus bolak-balik melalui suatu kapasitor sempurna, maka arus mendahului tegangan sebesar 90° , seperti terlihat pada Gambar 2.12a, dan arusnya adalah $I_c = \omega CV$. Sedangkan pada kapasitor yang tidak ideal, maka I mendahului V dengan sudut kurang dari 90° karena terjadi kehilangan daya dielektrik. Keadaan

tersebut dapat ditunjukkan oleh gambar 12b. Sudut ϕ adalah sudut fasa kapasitor, dan $\delta = 90^\circ - \phi$, adalah sudut kehilangan (*loss-angle*).



Gambar 2.8 Diagram vector arus pada kapasitor

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

$$P_D = \omega C V^2 \tan \delta \quad W \quad (2.10)$$

dengan:

$\omega = 2\pi f$, f adalah frekuensi [Hz]

C : kapasitansi [F]

V : tegangan [V]

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

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

$$C = \frac{0,024\epsilon}{\log \frac{d_{in}}{d_c}} \quad \mu F / phase / km \quad (2.11)$$

dengan:

d_{in} : diameter bahan isolasi kabel

d_c : diameter konduktor

ϵ : permitivitas bahan dielektrik kabel

2.5. 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, $R_t [^{\circ}C/W]$, dan perbedaan temperatur, $\Delta T [^{\circ}C]$, pada daerah yang dilewatinya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta T = R_t \cdot q \quad (2.12)$$

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

$$R_t = r \frac{l}{A} \quad (2.13)$$

dengan :

- r : resistivitas termal [$^{\circ}C \cdot m / W$]
- l : panjang [m]
- A : luas permukaan yang benda padat yang dilewati [m^2]

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

$$k = \frac{q}{A \cdot \frac{\Delta T}{m}} [W / m / ^{\circ}C] \quad (2.14)$$

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

$$K \approx \frac{1}{R_t} \approx \frac{q}{\Delta T} [W / ^{\circ}C] \quad (2.15)$$

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.

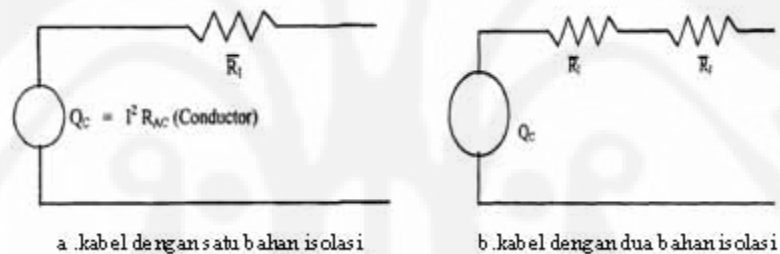
Aliran panas pada penghantar dapat digambarkan dalam bentuk rangkaian termal, semakin banyak komponen yang ada pada kabel, maka rangkaian termalnya akan semakin kompleks. Simbol yang digunakan pada rangkaian termal adalah:

\bar{R} = resistansi termal

Q = Sumber energi panas

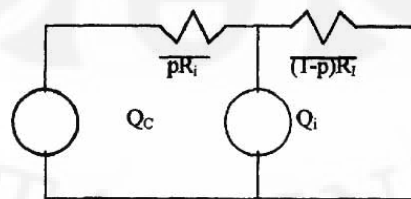
\bar{C} = Kapasitansi Termal

Untuk kabel dengan satu lapis bahan isolasi rangkaian termalnya adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13a. Sumber panas yang ada pada konduktor mengalirkan panas hanya kepada satu resistansi termal. Resistansi ini bisa dalam wujud isolasi dan selubung. Sedangkan gambar 2.13b merupakan gambar rangkaian termal dari kabel dengan dua bahan isolasi yang berbeda.



Gambar 2.9 Rangkaian termal untuk kabel dengan satu sumber kalor [7]

Kedua rangkaian termal diatas adalah rangkain termal untuk kabel dengan satu sumber panas. Untuk kabel dengan lebih dari satu sumber panas, maka gambar rangkaiannya adalah seperti pada gambar 14 dibawah ini, dimana Q_c adalah sumber kalor dari konduktor, dan Q_i adalah sumber kalor dari Isolasi.



Gambar 2.10 Rangkaian termal untuk kabel dengan dua sumber kalor [7]

BAB III

METODE PENGUJIAN

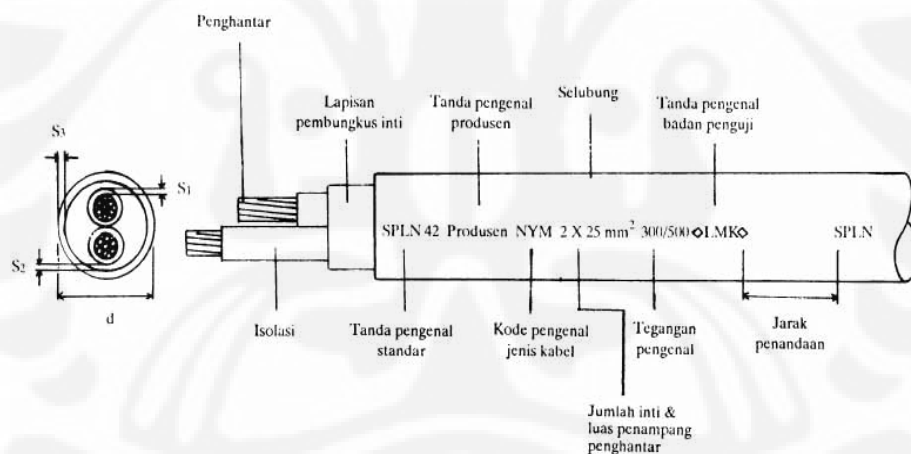
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode yang dilakukan dalam pengujian, peralatan dan rangkaian yang digunakan dalam pengujian, serta jalannya pengujian.

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. Sampel Pengujian

Sampel yang digunakan untuk pengujian adalah kabel NYM 2x 1.5 mm² dengan standar SPLN-42. Dibawah ini adalah gambar konstruksi dari kabel NYM.



Gambar 3.1. Konstruksi kabel NYM [2]

Adapun parameter teknis dari kabel yang menggunakan standar SPLN-42 adalah sebagai berikut :

Jumlah inti dan luas penampang	$= 2 \times 1.5 \text{ mm}^2$
Jumlah kawat dalam satu inti	$= 1 \text{ buah}$
Diameter kawat	$= 1.38 \text{ mm}$
Isolasi nominal S_1	$= 0.7 \text{ mm}$
Lapisan Pembungkus inti S_2	$= 0.4 \text{ mm}$

Selubung Nominal S3	=1,2 mm
Diameter luar	=10 mm
Kuat Hantar Arus pada 30° C	=19 A
Kuat Hantar Arus Pada 40° C	=16 A

Untuk kabel yang digunakan adalah kabel yang beredar dipasaran dengan label standar SNI/SPLN-42. Ada beberapa perbedaan antara kabel yang sesuai standar dengan yang tidak sesuai standar yaitu :

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

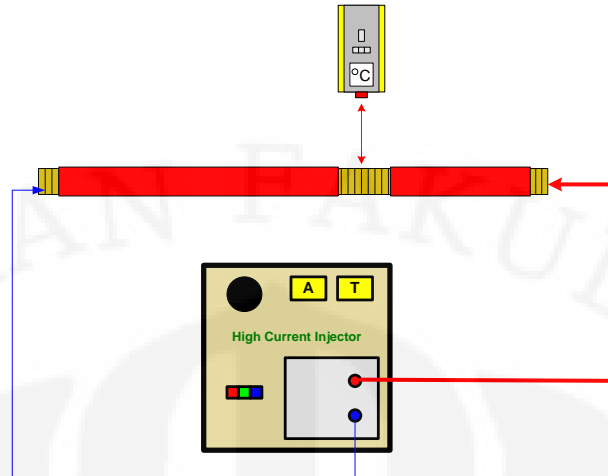
3.1.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan untuk pengujian kabel NYM 2 x 1.5 mm² adalah sebagai berikut

1. High Current Injector Test Set
2. Sumber tegangan AC 220 V
3. Amperemeter
4. Thermocouple
5. Stopwatch
6. Kabel – kabel penghubung dengan kapasitas 500 Amp

3.1.3 Rangkaian Pengujian

Pada Pengujian terdapat lima buah kabel yang akan diuji, yaitu kabel yang ditekuk 135 derajat, 90 derajat, 60 derajat, 30 derajat, dan kabel yang ditekuk balik. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kenaikan temperatur kabel yang ditekuk apabila dialiri arus. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan thermocouple. Temperatur kabel di catat ketika sudah mencapai kondisi stabil.



Gambar 3.2. Rangkaian pengujian



Gambar 3.3. Penampang High Current Injector

3.2 Pengujian termal terhadap kabel NYM 2 x 1.5 mm² yang ditekuk

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengujian karakteristik termal kabel yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Persiapan awal pengujian
2. Proses pengujian

3.2.1. Persiapan awal pengujian

Pengujian ini dilakukan dalam 2 bagian yaitu pengujian temperatur untuk kabel yang sesuai standar dan pengujian untuk kabel yang tidak sesuai standar. Sebelum melakukan pengujian, maka ada beberapa hal yang harus dikerjakan, antara lain :

1. Mencatat temperatur ruangan .
2. Mengukur temperatur semua bagian dari kabel, baik itu konduktor maupun isolasi.
3. Mencatat Kelembaban
4. Menyiapkan form untuk mencatat data pengujian.

3.2.2 Proses Pengujian

Apabila setiap langkah pada persiapan telah selesai dilaksanakan, maka kabel telah siap untuk diuji temperaturnya.

3.2.2.1. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat

Apabila setiap langkah pada persiapan telah selesai dilaksanakan, maka kabel telah siap untuk diuji kenaikan temperaturnya. Kabel yang diuji ada 5 buah yaitu kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat, kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat, kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat, kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat, dan kabel yang ditekuk balik. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan arus kepada kabel hingga pada kabel mencapai temperatur stabilnya. Langkah- langkah yang dilakukan pada pengujian adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua peralatan.
2. Menyiapkan kabel yang akan diuji baik itu kabel yang lurus, maupun kabel yang ditekuk.
3. Merangkai rangkaian percobaan seperti pada gambar 3.2.
4. Menyalakan sumber tegangan AC 220 V.
5. Menyalakan *Current Injector* (tombol *main power* diposisikan on) dan tunggu beberapa detik agar *current meter* menunjukkan angka nol Ampere.
6. Atur skala arus yang akan digunakan, dengan mengatur skala pada nilai 20 Ampere
7. Tekan tombol JOG dan naikan arus (*raise current*) perlahan – lahan sampai yang diinginkan (variasi arus yang diberikan adalah 5A, 10A, 15A, 17A, 18A, dan 19A).
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 nomer 7 sampai 9.
11. Mencatat temperatur kabel pada bagian konduktor dan isolasi kabel setiap 30 detik selama 8 menit. Untuk tahapan ini besar arus yang diberikan adalah 5A, 10A, 15A, 17A, 18A, dan 19A.
12. Apabila percobaan sudah selesai, matikan *current injector* dan sumber tegangan AC 220 V.

3.2.2.2. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat

Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama dengan langkah-langkah yang digunakan pada pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat.

3.2.2.3. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat

Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama dengan langkah-langkah yang digunakan pada pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat.

3.2.2.4. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat

Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama dengan langkah-langkah yang digunakan pada pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat.

3.2.2.5. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk balik

Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama dengan langkah-langkah yang digunakan pada pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali yaitu pengujian terhadap kabel yang ditekuk mulai dari 135 derajat sampai dengan kabel ditekuk balik. Untuk setiap pengujian diberikan nilai arus yang bervariasi yang besarnya adalah 5 Ampere, 10 Ampere, 15 Ampere, 17 Ampere, 18 Ampere, dan 19 Ampere. Pengukuran temperatur dilakukan sampai kabel mencapai temperatur yang konstan.

4.1.Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 135 Derajat



Gambar 4.8. Kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat

Pengujian yang pertama dilakukan dengan menekuk kabel sebesar 135 derajat seperti gambar di atas. Kemudian kabel dialiri arus, temperatur konduktor dan isolasinya dicatat setiap 30 detik selama 8 menit. Konduktor pada kabel mencapai temperatur yang konstan membutuhkan waktu sekitar 120 detik untuk nilai arus 5A sedangkan untuk isolasi kabel membutuhkan waktu 150 detik. Waktu yang dibutuhkan kabel untuk mencapai nilai temperatur konstannya semakin lama ketika arus yang mengalir semakin tinggi. Data pengujian yang didapat ditunjukkan oleh tabel berikut ini :

Tabel 4.6. Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat

t (sekon)	I = 5A		I = 10A		I = 15A		I = 17A		I = 18A		I = 19A	
	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)
30	27.7	27.1	29	28	32.2	30.5	36	33	37	33.9	38	35
60	27.9	27.1	29.7	28.2	32.8	30.6	36.2	33.1	37.1	34.1	38.1	35
90	28	27.2	30	28.5	33.2	30.8	36.2	33.2	37.3	34.3	38.2	35.1
120	28.2	27.1	30.4	28.6	33.8	31.2	36.2	33.2	37.5	34.4	38.4	35.2
150	28.2	27.5	30.4	28.9	34.1	31.8	36.4	33.3	37.6	34.5	38.3	35.3
180	28.1	27.5	30.4	29	34.1	32	36.5	33.5	37.6	34.7	38.5	35.3
210	28.2	27.5	30.4	29	34.1	32	36.7	33.4	37.7	34.8	38.6	35.2
240	28.2	27.4	30.5	29	34	32.1	36.6	33.4	37.5	34.8	38.7	35.3
270	28.1	27.4	30.4	29	34.1	32.1	36.7	33.5	37.7	34.8	38.7	35.4
300	28.2	27.5	30.4	29	34.1	32.1	36.6	33.5	37.7	34.8	38.7	35.4
330	28.2	27.5	30.4	29	34	32.1	36.7	33.4	37.6	34.8	38.7	35.4
360	28.1	27.4	30.4	29.1	34.1	32.1	36.7	33.5	37.7	34.8	38.7	35.4
390	28.2	27.5	30.5	29	34.2	32	36.8	33.7	37.7	34.7	38.6	35.2
420	28.2	27.5	30.4	28.9	34.1	32.1	36.7	33.6	37.8	34.8	38.7	35.4
450	28.2	27.5	30.4	29	34.1	32.1	36.5	33.5	37.8	34.8	38.7	35.4
480	28.2	27.5	30.5	29.1	34.1	32.1	36.7	33.5	37.7	34.7	38.8	35.4

4.1.2 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 90 Derajat



Gambar 4.9. Kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat

Pengujian yang kedua yaitu dengan menekuk kabel sebesar 90 derajat. Tahap pengujiannya sama dengan pengujian yang pertama yaitu dengan mengalirkan arus yang bervariasi pada kabel dan mencatat temperatur yang terjadi pada kabel baik pada penghantar maupun pada isolasinya setiap 30 detik sampai kabel mencapai temperatur yang konstan. Waktu yang dibutuhkan kabel untuk mencapai temperatur yang konstan saat kabel dialiri arus sebesar 5A adalah sekitar 150 detik untuk konduktor dan 180 detik untuk isolasi kabel. Ketika arus yang mengalir pada kabel semakin besar, waktu yang dibutuhkan oleh kabel untuk mencapai temperatur yang konstan semakin lama.

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.7. Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat

t (sekon)	I = 5A		I = 10A		I = 15A		I = 17A		I = 18A		I = 19A	
	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)
30	28	27.4	29.7	28	33	30	37	34.5	39.5	36	41.5	37.3
60	28.1	27.4	30	28.2	34	30.8	37.3	34.6	40	36.2	41.7	37.4
90	28.2	27.5	30.2	28.6	35	30.9	37.5	34.9	40.3	36.4	41.8	37.5
120	28.4	27.5	30.5	29	35.5	31.3	38	35	40.5	36.5	42	37.6
150	28.6	27.5	30.8	29.4	35.9	31.8	38.4	35.2	40.7	36.5	42	37.7
180	28.6	27.6	31.3	29.6	36	32.1	38.9	35.4	40.9	36.6	42.1	37.9
210	28.6	27.6	31.3	29.5	35.8	33	38.9	35.6	41	36.8	42.2	37.9
240	28.5	27.6	31.2	29.6	36	33	38.9	35.6	40.9	36.8	42.3	38
270	28.6	27.5	31.3	29.6	36	32.9	38.8	35.6	40.9	36.8	42.3	38.1
300	28.6	27.6	31.2	29.6	36.1	33	38.9	35.6	40.8	36.8	42.4	38.1
330	28.5	27.5	31.3	29.5	36	33	38.9	35.4	40.8	36.7	42.4	38.2
360	28.5	27.5	31.4	29.7	36	33	38.9	35.6	40.9	36.8	42.3	38.1
390	28.6	27.6	31.3	29.6	36	33	38.9	35.6	40.9	36.7	42.3	38.1
420	28.6	27.6	31.3	29.6	35.9	33	39	35.6	40.9	36.8	42.3	38.1
450	28.6	27.6	31.3	29.6	36	33.1	38.9	35.6	40.9	36.8	42.2	38
480	28.6	27.6	31.3	29.7	36	33	38.9	35.7	41	36.8	42.3	38.1

4.1.3 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 60 Derajat



Gambar 4.10. Kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat

Pengujian yang ketiga yaitu pengujian kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat. Sama seperti pengujian-pengujian sebelumnya, arus yang dialirkan pada kabel nilainya bervariasi yaitu 5 Ampere, 10 Ampere, 15 Ampere, 17 Ampere, 18 Ampere, dan 19 Ampere. Temperatur dicatat setiap 30 detik sampai kabel mencapai temperatur yang konstan untuk setiap nilai arus yang dialirkan. Waktu yang dibutuhkan oleh kabel untuk mencapai temperatur yang konstan ketika arus yang dialirkan adalah 5A yaitu sekitar 210 detik untuk konduktor dan 240 detik untuk isolasi kabel. Waktu yang diperlukan kabel untuk mencapai keadaan temperatur konstan semakin lama ketika arus yang mengalir pada kabel semakin besar.

Dari pengujian didapatkan data seperti di bawah ini :

Tabel 4.8. Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat

t (sekon)	I = 5A		I = 10A		I = 15A		I = 17A		I = 18A		I = 19A	
	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)
30	28.3	27.7	30.3	29.3	33.8	32.4	37.5	36	40.5	37.4	42.3	39
60	28.4	27.8	30.6	29.5	34.4	32.7	37.8	36	40.8	37.6	42.4	39.1
90	28.5	27.9	30.8	29.6	34.6	33.2	38	36.1	40.9	37.8	42.6	39.3
120	28.6	27.9	31	30	34.6	33.6	38.4	36.2	41	37.9	42.7	39.5
150	28.6	28	31.3	30.1	34.6	33.9	38.6	36.5	41	38	42.9	39.6
180	28.7	28	31.6	30.2	35.3	34	38.8	36.6	41.1	38.2	43.1	39.7
210	28.9	28.1	31.8	30.4	35.5	34.2	39.3	36.8	41.5	38.3	43.1	39.8
240	28.9	28.3	32	30.5	35	34.3	39.5	36.7	41.7	38.4	43.3	40
270	28.9	28.3	32	30.8	36.3	34.5	39.8	36.9	41.9	38.5	43.4	39.9
300	28.8	28.2	32.1	30.9	36.2	34.7	39.7	36.9	42	38.5	43.4	40
330	28.9	28.2	32	30.9	36.3	34.6	39.7	37	42.1	38.6	43.6	40.1
360	28.9	28.3	32.1	30.8	36.3	34.7	39.7	37	42	38.5	43.6	40.1
390	28.9	28.3	32	30.9	36.3	34.7	39.7	37	41.9	38.6	43.5	40.1
420	28.9	28.3	32	30.9	36.4	34.7	39.8	37	42	38.6	43.6	40.2
450	28.9	28.3	32	31	36.3	34.6	39.7	36.9	42	38.6	43.6	40.1
480	28.9	28.2	32	31	36.3	34.7	39.7	37	42	38.6	43.6	40.2

4.1.4 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 30 Derajat



Gambar 4.11. Kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat

Pengujian berikutnya yaitu pengujian kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan arus pada kabel yang ditekuk, arus yang dialirkan pada kabel nilainya bervariasi yaitu 5 Ampere, 10 Ampere, 15 Ampere, 17 Ampere, 18 Ampere, dan 19 Ampere. Pencatatan temperatur dilakukan setiap 30 detik sampai kabel mencapai temperatur yang konstan untuk setiap nilai arus yang dialirkan. Dari data pengujian didapatkan waktu yang dibutuhkan kabel untuk mencapai temperatur konstan pada saat kabel dialiri arus 5A yaitu selama sekitar 210 detik untuk konduktor dan 240 detik untuk isolasi kabel. Ketika arus yang mengalir pada kabel semakin tinggi, waktu yang dibutuhkan kabel untuk mencapai temperatur konstan semakin lama.

Dari pengujian didapatkan data seperti di bawah ini :

Tabel 4.9. Data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 30 derajat

t (sekon)	I = 5A		I = 10A		I = 15A		I = 17A		I = 18A		I = 19A	
	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)
30	28.5	27.8	30.7	29.4	34.9	33.1	38.4	37.3	42.5	38.9	43.8	40.4
60	28.6	27.9	31	29.7	34.9	33.6	39.2	37.6	42.5	38.9	43.9	40.8
90	28.6	27.9	31.3	30	35.1	34	39.1	37.6	42.6	39	44	40.9
120	28.8	28	31.4	30.1	35.5	34.2	39.4	37.8	42.6	39	44.1	41
150	28.8	28.1	31.7	30.4	36	34.6	39.4	38	42.7	39.1	44.3	40.9
180	29	28.2	31.8	30.5	36.1	34.7	39.6	38.2	42.8	39.2	44.3	41.1
210	29.1	28.3	32.1	30.6	36.4	35	39.7	38.1	43	39.4	44.4	41.1
240	29.1	28.4	32.4	30.8	36.6	35.2	39.8	38.3	43.1	39.3	44.5	41.3
270	29.1	28.3	32.5	30.9	36.8	35.4	40	38.4	43.3	39.4	44.4	41.5
300	29.1	28.4	32.5	31	37	35.6	40.1	38.4	43.4	39.3	44.6	41.4
330	29.1	28.4	32.5	31.1	37	35.7	40.2	38.5	43.6	39.3	44.7	41.3
360	29.1	28.4	32.6	31.1	37	35.7	40.1	38.7	43.5	39.4	44.7	41.5
390	29.2	28.4	32.5	31.1	37	35.8	40.2	38.8	43.6	39.5	44.7	41.6
420	29.1	28.4	32.5	31.1	37.1	35.7	40.2	38.7	43.5	39.5	44.7	41.6
450	29.1	28.4	32.6	31.2	37	35.7	40.3	38.7	43.6	39.5	44.7	41.6
480	29.1	28.4	32.5	31.1	37	35.7	40.2	38.7	43.6	39.5	44.8	41.6

4.1.5 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Balik



Gambar 4.12. Kabel yang ditekuk balik

Pada Pengujian terakhir kabel ditekuk sampai konduktor dari kabel tersebut berhimpit atau bisa dikatakan bahwa kabel ditekuk balik. Kabel tersebut dialiri arus yang nilainya bervariasi yaitu sebesar 5 Ampere, 10 Ampere, 15 Ampere, 17 Ampere, 18 Ampere, dan 19 Ampere. Temperatur dicatat setiap 30 detik sampai kabel mencapai temperatur konstan untuk setiap nilai arus yang dialirkan. Pada saat kabel dialiri arus 5A kabel mencapai temperatur konstan pada waktu sekitar 210 detik untuk konduktor dan 240 detik untuk isolasi kabel. Waktu untuk mencapai temperatur konstan ini akan semakin lama ketika arus yang mengalir pada kabel semakin besar.

Dari pengujian didapatkan data seperti di bawah ini :

Tabel 4.10. Data hasil pengujian kabel yang ditekuk balik

t (sekon)	I = 5A		I = 10A		I = 15A		I = 17A		I = 18A		I = 19A	
	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)	T _{Konduktor} (°C)	T _{Isolator} (°C)
30	29	28.2	32.1	30.4	37.4	34	43.5	39.1	45	41	48	43.2
60	29.1	28.3	32.4	30.5	38.3	35.1	43.7	39	45.6	41.6	48.4	43.3
90	29.2	28.3	32.6	30.7	38.9	35.5	43.9	39.1	45.7	41.8	48.6	43.5
120	29.3	28.4	32.8	30.9	39.2	35.8	43.9	39.2	45.8	42	48.8	43.4
150	29.3	28.5	33.1	30.7	39.6	35.8	43.9	39.2	46.3	42.2	48.9	43.6
180	29.2	28.5	33.4	31	39.8	36	44	39.4	46.5	42.2	49	43.7
210	29.3	28.4	33.5	31.1	40	36.2	44	39.5	46.8	42.3	49	43.7
240	29.3	28.5	33.6	31.4	40.4	36.6	44.2	39.6	47	42.4	49.1	43.8
270	29.2	28.4	33.6	31.5	40.7	36.8	44.3	39.7	47.4	42.6	49.1	43.8
300	29.3	28.5	33.5	31.6	40.8	37	44.4	39.8	47.5	42.6	49.2	43.7
330	29.3	28.5	33.5	31.6	40.7	37.2	44.3	40	47.6	42.9	49.2	43.8
360	29.3	28.5	33.6	31.6	40.8	37.1	44.4	40	47.6	42.8	49.3	43.9
390	29.3	28.5	33.6	31.5	40.7	37.2	44.4	39.8	47.7	42.9	49.3	43.9
420	29.3	28.5	33.6	31.6	40.8	37.2	44.3	39.9	47.6	42.9	49.3	43.8
450	29.3	28.5	33.6	31.6	40.8	37.2	44.4	40	47.6	42.9	49.3	43.9
480	29.3	28.5	33.6	31.6	40.8	37.3	44.4	40	47.6	42.9	49.3	43.9

4.2. Grafik Data Hasil Pengujian

Dari data yang dihasilkan dari pengujian, dapat kita lihat pengaruh besar sudut penekukan terhadap temperatur kabel yang dihasilkan. Jika kita buat grafik dari data yang didapat maka akan diperoleh grafik sebagai berikut :

4.2.1 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 135 Derajat

Dari pengujian yang dilakukan pada kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat ini, data temperatur yang didapatkan berubah-ubah sampai didapatkan temperatur konstan. Ketika kabel dialiri arus 5A data temperatur untuk konduktor terus naik dari temperatur 27.7°C sampai temperatur 28.2°C . Untuk temperatur isolasinya juga data yang didapatkan juga nilainya terus naik dari mulai 27.1°C hingga mencapai 27.5°C . Pada keadaan inilah temperatur dianggap sudah mencapai kondisi konstan karena temperatur tersebut tidak berubah lagi.

Pada saat kabel dialiri arus sebesar 10A, data temperatur yang didapatkan nilainya lebih besar dari data sebelumnya yaitu ketika dialiri arus sebesar 5A. Nilai temperatur konduktor yang didapat pada saat kabel dialiri arus 10A terus meningkat dan mengalami perubahan dari mulai 29°C dan mencapai temperatur konstan pada 30.4°C . Temperatur pada isolasinya juga mengalami perubahan dari 28°C sampai 29°C . Pada keadaan tersebut baik temperatur konduktor maupun isolasi telah berada pada keadaan yang konstan.

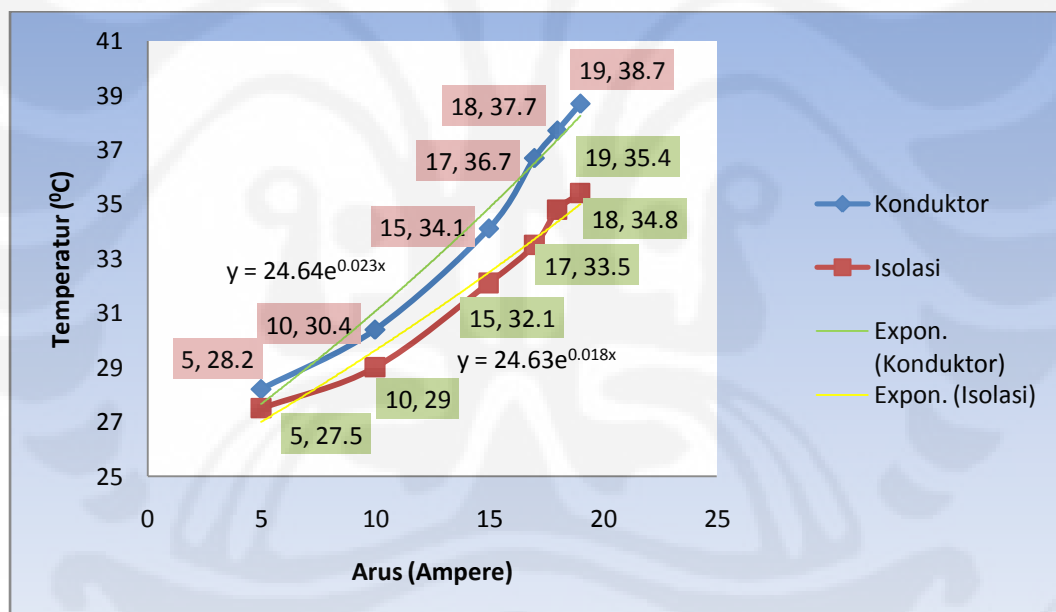
Pengujian berikutnya adalah dengan mengalirkan arus sebesar 15A pada kabel. Data yang didapat menunjukkan peningkatan besarnya temperatur dibandingkan dengan saat kabel dialiri arus 5A dan 10A. Penghantar mencapai kondisi konstan pada temperatur 34.1°C dan isolasi mencapai kondisi konstan pada temperatur 32.1°C . Baik pada konduktor maupun isolasi kabel temperatur yang didapatkan ada yang nilainya melebihi dari kondisi konstan namun itu hanya sementara.

Pada pengujian dengan mengalirkan arus sebesar 17A pada kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat didapatkan temperatur konstan kabel yaitu 36.7°C untuk konduktor dan 33.5°C untuk isolasi. Nilai ini meningkat dibandingkan data yang didapat dari pengujian dengan mengalirkan arus yang lebih kecil dari 17A.

Pengujian dilanjutkan dengan mengalirkan arus sebesar 18A pada kabel. Dari pengujian tersebut didapatkan temperatur konstan pada kabel yaitu 37.7⁰C untuk konduktor dan 34.8⁰C untuk isolasi kabel.

Pengujian berikutnya adalah dengan mengalirkan arus sebesar nilai KHA (Kuat Hantar Arus) dari kabel NYM yang dipakai. Nilai KHA dari kabel NYM yang dipakai ini adalah 19A. Temperatur kabel pada saat dialiri arus 19A memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada saat dialiri arus dibawahnya. Kabel mencapai temperatur konstan pada 38.7⁰C pada konduktor dan 35.4⁰C pada isolasi kabel.

Dari data tersebut dapat kita buat grafik hubungan antara besar arus terhadap temperatur yang dihasilkan pada saat kabel ditekuk sebesar 135 derajat. Berikut adalah grafik yang didapat dari data hasil pengujian :



Grafik 4.1. Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat

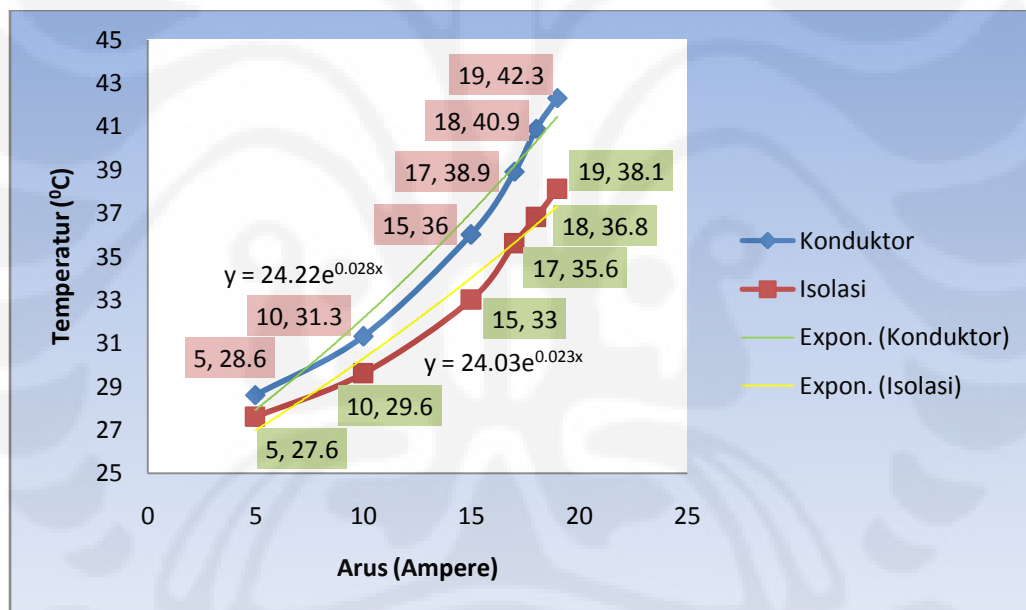
4.2.2 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 90 Derajat

Pada pengujian yang kedua adalah dengan mengalirkan arus pada kabel yang ditekuk dengan sudut tekukan yang besarnya adalah 90 derajat. Pada saat kabel dialiri arus sebesar 5A temperatur kabel mencapai kondisi konstan pada nilai 28.6⁰C di konduktor dan 27.6⁰C di isolasi kabel. Nilai temperatur konstan ini meningkat ketika arus yang dialirkan pada kabel dinaikkan menjadi 10A. temperatur yang

terjadi adalah 31.3°C untuk konduktor dan 29.6°C untuk isolasi kabel. Begitu juga ketika nilai arus kembali dinaikkan menjadi 15A, temperatur kabel konstan pada nilai 36°C pada konduktor dan 33°C pada isolasi kabel.

Pada saat arus yang dialirkan pada kabel 17A, temperatur konstan pada kabel bernilai 38.9°C di konduktor dan 35.6°C di isolasi kabel. Temperatur konstan pada kabel pada saat dialirkan arus 18A meningkat menjadi 40.9°C di konduktor dan 36.8°C di isolasi kabel. Pada saat kabel dialiri arus yang nilainya sama dengan nilai KHA kabel temperatur kabel konstan pada nilai 42.3°C di konduktor dan 38.1°C di isolasi kabel.

Berikut adalah grafik hubungan antara besar arus dan temperatur dari data hasil pengujian kabel yang dibengkokkan dengan sudut sebesar 90 derajat :



Grafik 4.2. Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat

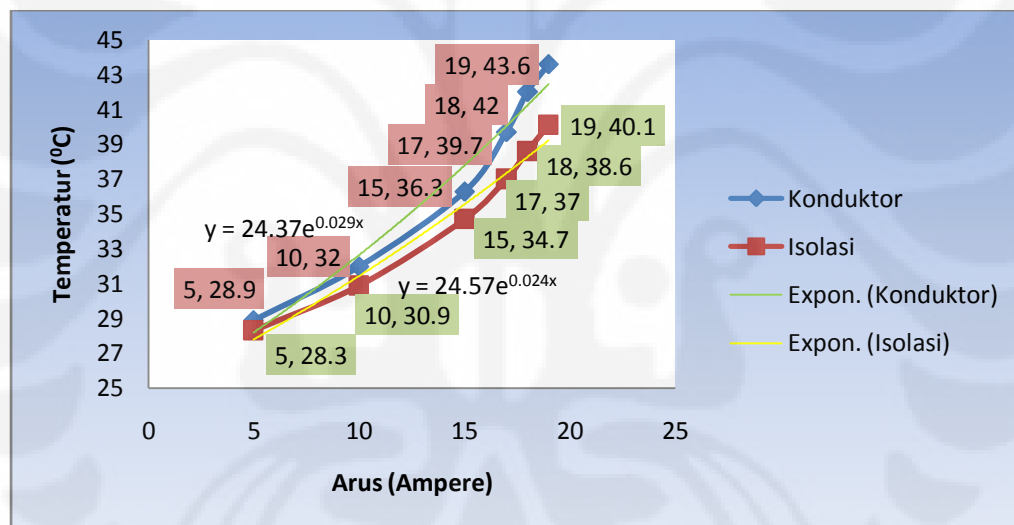
4.2.3 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 60 Derajat

Pengujian berikutnya adalah mengalirkan arus pada kabel yang ditekuk dengan besar sudut tekukan 60 derajat. Pertama adalah dengan mengalirkan arus sebesar 5A pada kabel, temperatur kabel terus meningkat sampai mencapai kondisi konstan pada nilai 28.9°C di konduktor dan 28.3°C di isolasi kabel. Pada nilai arus 10A kabel mencapai temperatur konstan pada temperatur 32°C di konduktor dan 30.9°C di isolasi kabel. Nilai temperatur tersebut kembali meningkat ketika arus

yang dialirkan dinaikkan menjadi 15A, kabel mencapai temperatur konstan pada nilai temperatur sebesar 36.3⁰C di konduktor dan 34.7⁰C di isolasi.

Nilai temperatur konstan pada konduktor berubah menjadi 39.7⁰C dan di isolasi bertambah menjadi 37⁰C ketika arus yang dialirkan pada kabel ditingkatkan sampai nilai 17A. pada nilai arus 18A kabel mencapai temperatur konstan pada temperatur 42⁰C di konduktor dan 38.6⁰C di isolasi kabel. Temperatur konstan pada konduktor meningkat menjadi 43.6⁰C dan pada isolasi meningkat menjadi 40.1⁰C pada saat kabel dialiri arus sebesar 19A yang merupakan nilai KHA dari kabel tersebut.

Grafik hubungan antara besar arus dan nilai temperatur konstan pada kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



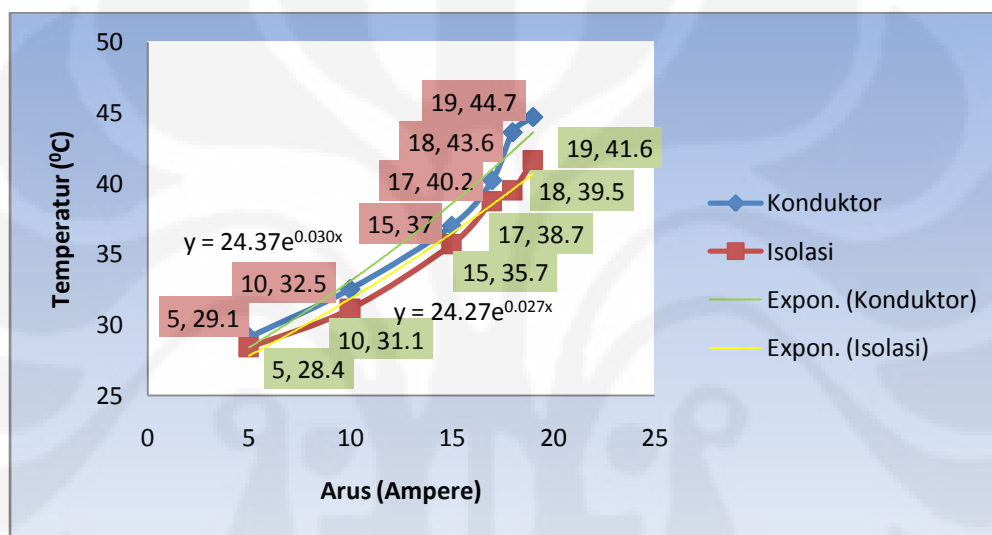
Grafik 4.3. Grafik data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 60 derajat

4.2.4 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Sebesar 30 Derajat

Pengujian yang keempat adalah dengan menekuk kabel sebesar 30 derajat dan mengalirkan arus yang besarnya bervariasi sampai dengan nilai KHA dari kabel tersebut. Pertama adalah dengan mengalirkan arus sebesar 5A pada kabel, temperatur kabel terus meningkat dan mencapai kondisi konstan pada temperatur 29.1⁰C untuk konduktor dan 28.4⁰C untuk isolasi kabel. Ketika dialiri arus sebesar 10A nilai temperatur konstan kabel meningkat menjadi 32.5⁰C untuk konduktor dan 31.1⁰C untuk isolasi kabel. Nilai temperatur konstan kabel ini kembali meningkat menjadi 37⁰C untuk konduktor dan 35.7⁰C untuk isolasi kabel ketika kabel dialiri arus yang

besarnya 15A. Kemudian kabel dialiri arus sebesar 17A dan temperatur konstan kabel adalah 40.2°C untuk konduktor dan 38.7°C untuk isolasi kabel. Pada saat kabel dialiri arus sebesar 18A nilai temperatur konstan dari konduktor kabel adalah 43.6°C dan temperatur konstan isolasinya adalah 39.5°C . Temperatur konstan kabel saat kabel dialiri arus 19A atau sama dengan nilai KHA kabel temperatur konstannya mencapai 44.7°C untuk konduktor dan 41.6°C untuk isolasi.

Di bawah ini adalah grafik hubungan antara besar arus dengan temperatur konstan kabel dari data hasil pengujian kabel yang ditebuk sebesar 30 derajat :



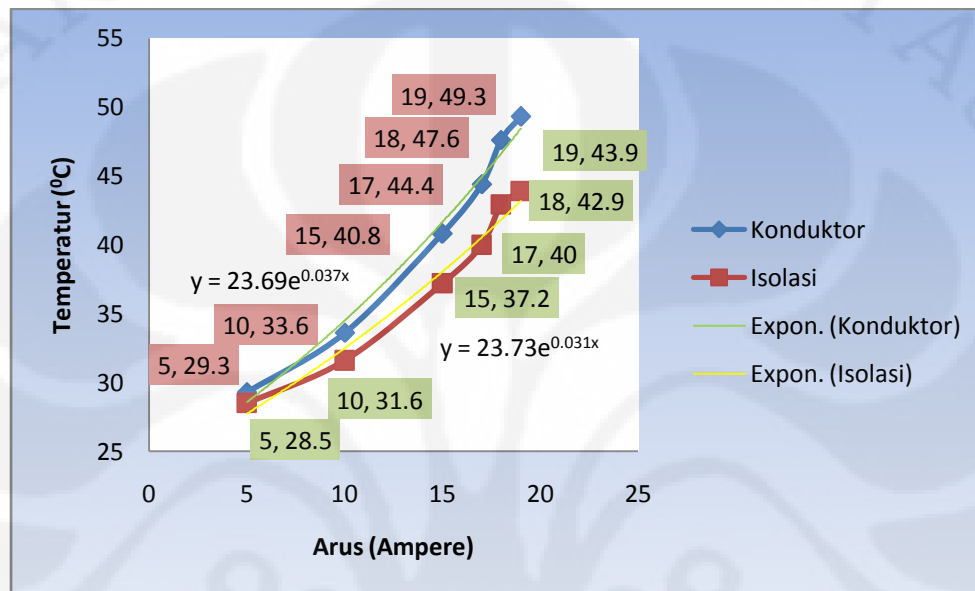
Grafik 4.4. Grafik data hasil pengujian kabel yang ditebuk sebesar 30 derajat

4.2.5 Grafik Pengujian Kabel yang Ditebuk Balik

Pengujian terakhir adalah dengan mengalirkan arus pada kabel yang ditebuk sampai keadaan kabel ditebuk balik. Pertama adalah dengan mengalirkan arus sebesar 5A pada kabel, temperatur konstan yang didapat adalah 29.3°C untuk konduktor dan 28.5°C untuk isolasi kabel. Selanjutnya arus yang dialirkan nilainya dinaikkan menjadi 10A dan temperatur konstannya pun berubah menjadi 33.6°C pada konduktor dan 31.6°C pada isolasi kabel. Nilai temperatur konstan ini berubah lagi ketika arus yang dialirkan pada kabel dinaikkan nilainya menjadi 15A, nilai temperatur konstannya menjadi 40.8°C pada konduktor dan 37.2°C pada isolasi kabel. Ketika arus yang dialirkan pada kabel bernilai 17A, temperatur konstan pada konduktor adalah 44.4°C dan temperatur konstan pada isolasi kabel adalah 40°C . Nilai temperatur konstan kabel naik menjadi 47.6°C pada konduktor dan 42.9°C pada

isolasi kabel ketika arus yang mengalir pada kabel bernilai 18A. Saat kabel dialiri arus sebesar 19A temperatur kabel meningkat kembali menjadi 49.3⁰C pada konduktor dan 43.9⁰C pada isolasi kabel.

Grafik di bawah ini adalah grafik hubungan antara besarnya arus dengan temperatur konstan kabel yang didapat dari hasil pengujian yang dilakukan :



Grafik 4.5. Grafik data hasil pengujian kabel yang ditebuk sampai tekuk balik

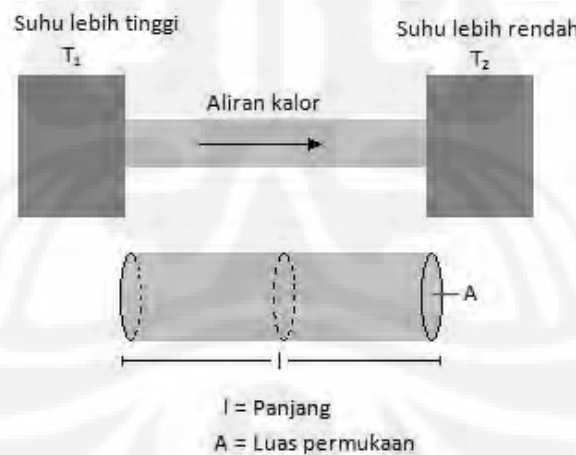
4.3. Analisis Data dan Grafik

4.3.1 Analisis Perbedaan Nilai Temperatur Konstan Antara Konduktor dengan Isolasi

Dari data yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan dapat terlihat bahwa besarnya nilai dari arus yang mengalir pada kabel akan mempengaruhi nilai temperatur konstan pada kabel. Pada konduktor maupun pada isolasi kabel tersebut terlihat bahwa temperatur semakin tinggi ketika arus yang dialirkan pada kabel diperbesar nilainya. Dari data pertama yaitu pada pengujian dengan mengalirkan arus pada kabel yang ditebuk sebesar 135 derajat temperatur konstan yang terjadi pada konduktor bergerak naik dari nilai 28.2⁰C ketika kabel dialiri arus sebesar 5A sampai nilai 38.7⁰C ketika kabel dialiri arus sebesar 19A, sedangkan untuk temperatur konstan pada isolasi kabel bergerak naik dari nilai 27.5⁰C ketika kabel dialiri arus 5A menjadi 35.4⁰C ketika arus yang mengalir 19A.

Dari data tersebut terlihat bahwa kenaikan arus yang mengalir pada kabel berbanding lurus dengan kenaikan nilai temperatur konstan kabel. Hal ini dikarenakan panas yang terjadi pada kabel baik pada konduktor maupun pada isolasi kabel merupakan akibat dari adanya rugi-rugi yang terjadi pada kabel. Rugi-rugi yang terjadi pada kabel salah satunya adalah rugi-rugi pada konduktor. Rugi-rugi ini berbanding lurus dengan kuadrat nilai dari arus yang mengalir pada kabel. Dilihat dari hubungan tersebut maka semakin besar nilai dari arus yang mengalir maka akan semakin besar pula rugi-rugi daya yang terjadi. Menurut prinsip dari hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan maka rugi-rugi daya tersebut akan diubah menjadi bentuk energi lain, dalam hal ini diubah menjadi energi panas.

Dari data tersebut juga dapat terlihat bahwa temperatur konstan dari konduktor lebih tinggi dibandingkan temperatur konstan isolasi kabel. Hal ini dikarenakan adanya perpindahan kalor dari konduktor ke isolasi kabel. Ketika benda yang memiliki perbedaan suhu saling bersentuhan, terdapat sejumlah kalor yang mengalir dari benda atau tempat yang bersuhu tinggi menuju benda atau tempat yang bersuhu rendah.



Gambar 4.13. Arah laju aliran kalor [8]

Dari gambar di atas, benda yang terletak di sebelah kiri memiliki suhu yang lebih tinggi (T_1) sedangkan benda yang terletak di sebelah kanan memiliki suhu yang lebih rendah (T_2). Karena adanya perbedaan suhu ($T_1 - T_2$), kalor mengalir dari benda yang bersuhu tinggi menuju benda yang bersuhu rendah (arah aliran kalor ke kanan). Benda yang dilewati kalor memiliki luas penampang (A) dan panjang (l).

Berdasarkan hasil pengujian, jumlah kalor yang mengalir selama selang waktu tertentu (Q/t) berbanding lurus dengan perbedaan suhu ($T_1 - T_2$), luas penampang (A), sifat suatu benda (k = konduktivitas termal) dan berbanding terbalik dengan panjang benda. Secara matematis bisa ditulis sebagai berikut :

$$\frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{l} \quad (4.1)$$

Dengan :

- Q = kalor (satunya kilokalori [kkal] atau joule [J])
- t = waktu (sekon [s])
- $\frac{Q}{t}$ = laju aliran kalor (satunya adalah Joule/sekon atau kkal/sekon,
1 Joule/sekon = 1 watt)
- A = luas penampang benda (satunya meter kuadrat [m^2])
- T_1 = Temperatur tinggi (satunya Kelvin [K] atau derajat celcius [$^{\circ}C$])
- T_2 = Temperatur rendah (satunya Kelvin [K] atau derajat celcius [$^{\circ}C$])
- l = panjang benda (satunya meter [m])
- $\frac{T_1 - T_2}{l}$ = gradient suhu (satunya Kelvin/meter [K/m] atau derajat celcius per meter [$^{\circ}C/m$])
- k = konduktivitas termal benda

Dari persamaan di atas, nilai dari kecepatan laju aliran kalor dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah konduktivitas termal benda. Benda yang memiliki konduktivitas termal (k) besar merupakan penghantar kalor yang baik (konduktor termal yang baik). Sebaliknya, benda yang memiliki konduktivitas termal yang kecil merupakan penghantar kalor yang buruk (konduktor termal yang buruk). Karena konduktor memiliki konduktivitas termal yang besar maka konduktor akan dengan cepat mengalirkan kalor yang dia miliki, kalor tersebut mengalir ke tempat yang suhunya lebih rendah dari suhu konduktor yaitu isolasi kabel. Isolasi kabel memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah atau dengan kata

lain resistansi termalnya sangat besar sehingga isolasi sangat lambat dalam mengalirkan kalor [8].

$$R = \frac{l}{k} \quad (4.2)$$

Dengan R = Resistansi termal
 l = ketebalan bahan
 k = konduktivitas termal

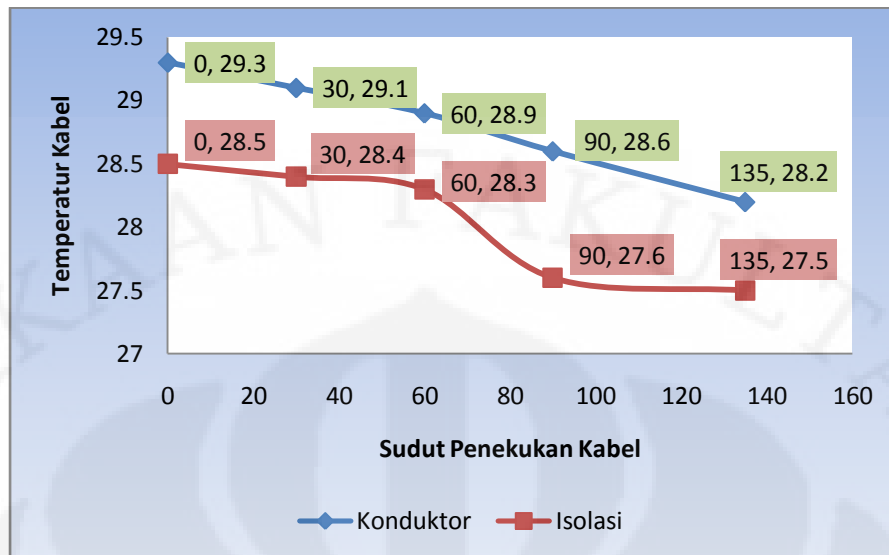
Dengan lambatnya aliran kalor yang terjadi menyebabkan suhu yang ada di luar permukaan isolasi lebih rendah daripada suhu yang ada pada konduktor.

Dari data-data pengujian yang lain pun didapatkan hal yang sama dimana nilai dari temperatur konstan konduktor lebih tinggi dibandingkan dengan nilai temperatur konstan isolasi kabel. Hal ini sesuai dengan teori yang ada.

4.3.2 Analisis Pengaruh Besar Sudut Penekukan Kabel Terhadap Temperatur Konstan

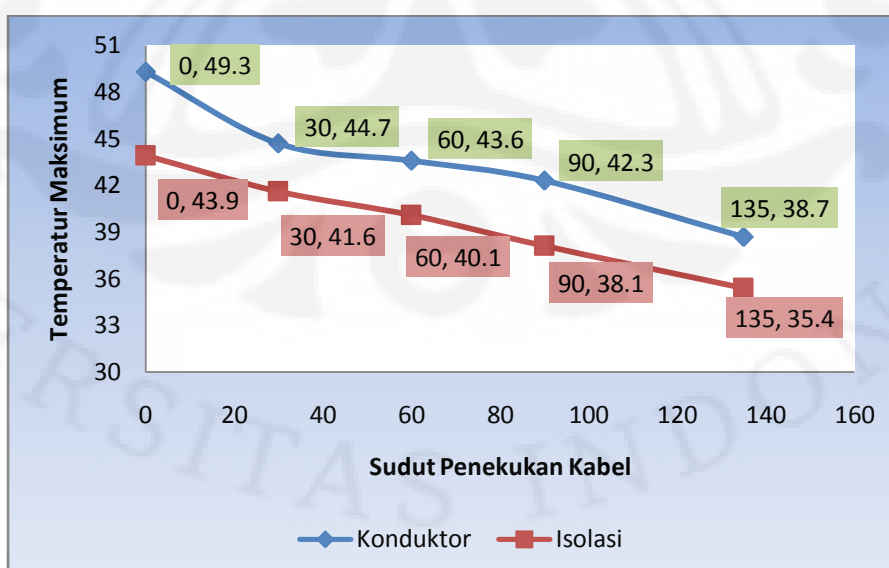
Jika dibandingkan antara data yang didapat dari pengujian pertama ketika kabel ditekuk sebesar 135 derajat dengan data hasil pengujian yang lainnya yaitu ketika kabel ditekuk dengan sudut yang lebih kecil dari 135 derajat, terlihat jelas bahwa besar sudut penekukan pun mempengaruhi besarnya nilai dari temperatur konstan kabel yang terjadi.

Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sudut penekukan berbanding terbalik dengan nilai temperatur konstan dari kabel. Semakin kecil sudut penekukan (semakin lancip sudutnya) pada kabel akan menyebabkan temperatur konstan kabel akan semakin tinggi. Hal ini diperlihatkan oleh grafik yang didapatkan dari hasil percobaan seperti di bawah ini :



Grafik 4.6. Grafik pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur pada arus 5A

Pada nilai arus yang kecil peningkatan temperatur yang terjadi tidak terlalu tinggi meskipun kabel ditekuk sampai tekuk balik. Dari data yang didapat dari pengujian, perbedaan temperatur antara kabel yang ditekuk 135 derajat dengan kabel yang ditekuk balik pada saat arus yang mengalir 5A adalah 1.1°C untuk konduktor dan 1°C untuk isolasi. Perbedaan temperatur yang cukup tinggi akan dihasilkan antara kabel yang ditekuk 135 derajat dengan kabel yang ditekuk balik ketika arus yang mengalir besar mencapai nilai KHanya. Hal ini dapat dilihat dari grafik yang dihasilkan dari data pengujian di bawah ini :

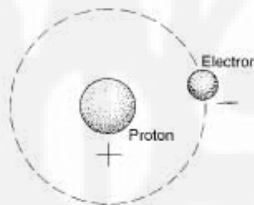


Grafik 4.7. Grafik pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur pada arus 19A

Dari grafik di atas terlihat bahwa perbedaan temperatur yang terjadi antara kabel yang ditekuk 135 derajat dengan kabel yang ditekuk balik adalah 10.6°C .

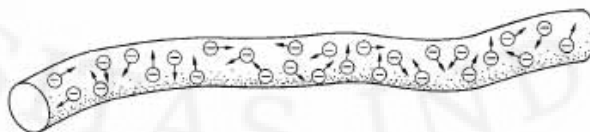
Hal di atas disebabkan karena adanya rugi-rugi daya dan adanya medan magnet yang tidak merata pada kabel yang ditekuk. Hal tersebut erat kaitannya dengan muatan-muatan yang ada pada kabel baik pada konduktor maupun isolasi dari kabel tersebut. Setiap substance dibentuk oleh molekul-molekul yang terdiri dari atom-atom. Dan atom-atom tersebut terdiri dari elektron, proton, dan neutron. Proton memiliki muatan listrik positif, elektron memiliki muatan listrik negative, dan neutron tidak bermuatan listrik. Pada pembahasan ini neutron akan diabaikan karena tidak memiliki peranan pada listrik.

Elektron dan proton pada atom dapat diibaratkan dengan sistem tata surya kita, dimana proton dimisalkan sebagai matahari yang dikelilingi oleh planet-planet berupa elektron. Contoh yang sederhana adalah atom hydrogen yang memiliki satu buah proton dan satu buah elektron.



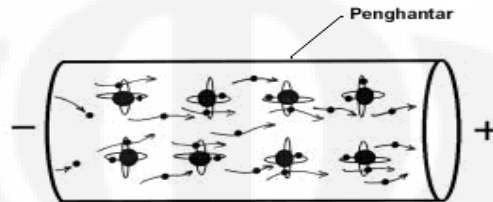
Gambar 4.14. Atom hydrogen [9]

Elektron-elektron mengelilingi inti dalam jarak yang bervariasi. Semakin dekat elektron dengan inti maka akan semakin sulit elektron tersebut untuk lepas dari orbitnya dan semakin jauh jarak elektron terhadap inti maka semakin mudah elektron untuk lepas dan menjadi elektron bebas yang mampu berpindah ke atom yang lain. Perpindahan elektron tersebut dinamakan dengan aliran elektron.



Gambar 4.15. Elektron bebas [9]

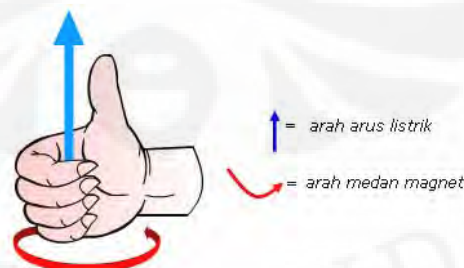
Arah dari pergerakan elektron bebas ini random. Ketika terjadi perbedaan potensial (muatan) antara ujung yang satu dengan ujung yang lainnya pada suatu material maka akan terjadi pergerakan elektron dari ujung yang memiliki jumlah elektron yang lebih banyak menuju ujung satunya lagi yang memiliki jumlah elektron lebih sedikit [9].



Gambar 4.16. Pergerakan elektron ketika terjadi perbedaan potensial [10]

Dalam pergerakannya elektron ini mendapatkan hambatan saat melewati atom di sebelahnya. Hal ini dikarenakan arah pergerakan dari elektron tersebut tidak beraturan maka dalam pergerakannya elektron-elektron ini ada yang menabrak atom-atom lain yang ada dalam penghantar atau bahan. Akibatnya akan terjadi gesekan antara elektron dengan atom pada penghantar. Gesekan tersebut akan menimbulkan panas pada penghantar. Semakin besar hambatan yang ada pada penghantar maka akan semakin banyak pula terjadi gesekan antara elektron dengan atom dan akan menyebabkan penghantar menjadi semakin panas.

Pada penghantar yang dialiri arus akan timbul medan magnet di sekitar penghantar. Arah dari medan magnet tersebut mengikuti kaidah tangan kanan seperti gambar di bawah ini [11]:



Gambar 4.10. Arah medan magnet sesuai kaedah tangan kanan [11]

Di sekitar kabel yang ditebuk elektron yang sedang bergerak akan berinteraksi dengan medan magnet yang terjadi sehingga elektron akan mendapatkan

tambahan energi dari medan magnet dan akan membuat elektron bergerak semakin cepat [12]. Semakin cepatnya pergerakan elektron ini akan menyebabkan tabrakan antara elektron dengan atom-atom penghantar akan semakin sering terjadi dan akan membuat penghantar akan menjadi lebih panas.

Intensitas medan magnet yang terjadi di sekitar penghantar tidak sama di semua titik. Semakin jauh jarak dari penghantar maka intensitas medan magnetnya akan semakin kecil. Dengan semakin kecilnya sudut tekukan pada kabel maka jarak antar penghantar sebelum dan sesudah tekukan akan semakin dekat. Intensitas medan magnet yang diterima oleh penghantar tersebut akan semakin kuat dan energy yang didapatkan elektron untuk bergerak akan semakin besar sehingga kecepatan elektron akan semakin bertambah. Dengan bertambahnya kecepatan elektron maka akan menyebabkan penghantar akan semakin panas.

Ketika kabel ditekuk maka akan terjadi penumpukkan muatan di tempat tekukan tersebut. Kerapatan muatan tersebut akan meningkatkan nilai dari tegangan di tempat tekukan. Tekukan pada kabel juga akan membuat isolasi kabel merenggang dan membuat tahanan isolasinya berkurang. Dengan berkurangnya tahanan isolasi dari isolasi kabel dan meningkatnya tegangan di bagian kabel yang ditekuk tersebut akan mengakibatkan terjadinya arus bocor pada bagian tersebut. Arus bocor ini juga akan menyebabkan bagian isolasi mejadi panas. Jika bahan isolasi tidak bagus maka penekukan kabel ini akan mengakibatkan kegagalan bahan isolasi tersebut untuk menahan arus dan menahan panas.

Dari data pengujian didapat nilai temperatur dari kabel yang ditekuk balik memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan temperatur pada kabel yang ditekuk dengan sudut penekukan yang lebih besar. Hal ini dapat terlihat dari grafik data hasil pengujian. Untuk kabel yang ditekuk balik, hubungan antara temperatur konduktor dengan arus yang mengalir pada kabel dituliskan dengan persamaan :

$$y = 23.69e^{0.037x} \quad (4.3)$$

dengan y = temperatur konduktor
 x = besarnya arus yang mengalir pada konduktor
 e = bilangan natural

Dari persamaan tersebut nilai dari temperatur konduktor akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan arus. Dibandingkan dengan persamaan yang didapatkan dari grafik data hasil pengujian pada kabel yang ditebuk dengan sudut tekukan yang lebih besar, koefisien dari x pada kabel yang ditebuk balik memiliki nilai paling besar yaitu 0.037, sedangkan yang lain adalah 0.03 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 30 derajat), 0.029 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 60 derajat), 0.028 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 90 derajat), dan 0.023 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 135 derajat). Begitu juga dengan persamaan grafik data hasil pengujian temperatur untuk isolasi kabel. Pada pengujian dengan kabel yang ditebuk balik persamaan dari grafik hubungan antara temperatur isolasi dengan arus yang mengalir adalah :

$$y = 23.73e^{0.031x} \quad (4.4)$$

dengan y adalah temperatur isolasi dan x adalah besar arus yang mengalir. Nilai dari koefisien x untuk kabel yang ditebuk balik memiliki nilai paling tinggi dibandingkan dengan kabel yang ditebuk dengan sudut tekuk yang lebih besar.

Persamaan grafik data hasil pengujian dapat dituliskan secara sederhana menjadi :

$$y = K.e^{Ax} \quad (4.5)$$

Selain dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir (x), nilai dari temperatur juga dipengaruhi oleh nilai dari K dan A . Semakin besar nilai dari K dan A maka nilai dari temperatur yang terjadi akan semakin meningkat. Besarnya nilai dari koefisien K dan A salah satunya dipengaruhi oleh besarnya sudut tekukan pada kabel. Semakin kecil sudut tekukan pada kabel (semakin lancip sudutnya) maka nilai dari A akan semakin besar dan menyebabkan temperatur yang terjadi semakin tinggi.

Kenaikan temperatur ini harus sangat diperhatikan. Temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan isolasi menjadi panas, pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi, yang menyebabkan modulus elastik dan kekerasannya rendah, sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar. Bersamaan dengan itu, sifat listrik, ketahanan volume dan tegangan putus dielektrik menjadi lebih kecil dan pada umumnya konstanta dielektrik menjadi besar. Kalau temperatur melewati titik transisi, bahan termoplastik seperti karet menjadi lunak,

dan selain perubahan pada sifat-sifat diatas modulus elastiknya juga tiba-tiba berubah [13]. Selanjutnya, pada temperatur tinggi bahan kristal dapat meleleh dan dapat mengalir. Jika ini berlanjut maka akan dapat menyebabkan bahaya seperti kebakaran jika di lingkungan di sekitarnya terdapat bahan-bahan yang mudah terbakar.



BAB V

KESIMPULAN

Dari pengujian mengenai pengaruh besar sudut penekukan pada kabel NYM 2x1.5 mm² terhadap temperatur stabil kabel yang dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (LTTPL) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Kenaikan temperatur pada kabel dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir pada kabel dan besar sudut penekukan pada kabel.
2. Semakin kecil sudut penekukan (semakin lancip sudutnya) pada kabel akan menyebabkan temperatur kabel baik itu konduktor maupun isolasi kabel akan semakin meningkat.
3. Terjadi penurunan kemampuan tahanan isolasi pada kabel yang ditekuk. Untuk mendapatkan temperatur kabel yang sama ketika kabel dialiri arus, besar yang dibutuhkan kabel yang ditekuk balik nilainya lebih kecil dibandingkan dengan kabel yang ditekuk dengan sudut penekukan yang lebih besar. Pada kabel yang ditekuk 135 derajat untuk mencapai suhu 38.70C diperlukan arus sebesar 19A, sedangkan pada kabel yang ditekuk balik hanya diperlukan arus 15A.

DAFTAR REFERENSI

- [1] S.Baskoro. "Tipe Kabel Instalasi". Online posting 28 January 2008
<<http://sbaskoro.wordpress.com/2008/01/28/tipe-kabel-untuk-instalasi-rumah/>>
- [2] PLN. Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V. 1992.<http://pln-km.com/e-standard/detail_search_result_spln2.php?id=SPLN%2042-2_1992>
- [3] Arifianto. "Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt". Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok, Desember 2008.
- [4] Pemerintah Republik Indonesia, PP 15/1991 tentang Standar Nasional Indonesia. 25 Februari 1991.
<<http://www.theceli.com/dokumen/produk/pp/1991/15-1991.htm>>
- [5] Yafang Liu, Kazunari Morita, Toru Iwao, Masao Endo, and Tsuginori Inaba. "The Temperature Characteristics and Current Conducting Ability of Horizontally Curved Conductors." IEEE Transanction on Power Delivery, Vol. 17, no. 4, October 2002.
- [6] Yafang Liu, Masao Endo, Tsuginori Inaba. "The Distributions of Temperature an Magnetic Force on a Curved Conductor." IEEE Power Engineering Review, Vol. 19, July 1999 : 51-52.
- [7] Thue, Williamm. Electrical Power Cable Engineering. Marcell Dekker Inc, NewYork, 1999.
- [8] San Lohat, Alexander."Konduksi." Gudang Ilmu Fisika Gratis. March 2009.
<<http://www.gurumuda.com/2009/03/konduksi/>>
- [9] Scaddan, Brian. Electrical Installation Work : Fourth Edition. England, 2002.

- [10] RI - Bahan Pelatihan Nasional Otomotif Perbaikan Kendaraan Ringan Electrical
<<http://smkn3boy.sch.id%2Fdownload%2FModul%2520Produktif%2520mekanik%2520Otomotif%2FPengenalan%2520Arus%2C%2520Tegangan%2520dan%2520Tahanan%2520Listrik.doc>>
- [11] Medan Magnet. <http://www.e-dukasi.net/mapok/mp_full.php?id=269&fname=materi03.html>
- [12] “Melongok Fenomena Fisika di Sekitar SUTET”. PLN, 8 November 2008.<<http://www.plnjateng.co.id/?p=256>>
- [13] Shinroku Saito and Tata Surdia. Pengetahuan Bahan Teknik : Cetakan Kedua. Pradya Paramita, 1992.