

**ANALISIS BESAR ARUS DAN SUDUT PENEKUKAN
TERHADAP TEMPERATUR KABEL NYM 2 x 1,5 mm²
(Penelitian di PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk)**



YOSUA JOHARA SUMANTO

5115122587

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam Memperoleh Gelar
Sarjana Pendidikan**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2016

ABSTRAK

YOSUA JOHARA SUMANTO, ANALISIS BESAR ARUS DAN SUDUT PENEKUKAN TERHADAP TEMPERATUR KABEL NYM 2 x 1.5 mm² (Penelitian di PT. KMI Wire and Cable, Tbk), Skripsi. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta 2016. Dosen Pembimbing: Massus Subekti, S.Pd., M.T. dan Drs. Purwanto Gendroyono, M.T.

Masalah utama yang diteliti adalah kabel berjenis NYM 2 x 1,5 mm² yang dalam penelitian ini menerapkan kondisi khusus yaitu ditekuk atau dibengkokkan. Tekukan pada sebuah kabel NYM 2 x 1,5 mm² membuat arus yang mengalir terhambat dan bertumpuk pada titik tekukan sehingga menjadi dasar penelitian ini dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh kondisi tekuk terhadap kenaikan temperatur kabel NYM 2 x 1,5 mm².

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah eksperimen laboratorium dengan sampel kabel NYM 2 x 1.5 mm² produksi PT. KMI Wire and Cable, Tbk tersertifikasi. Sampel dibagi menjadi beberapa bagian, dengan total 30 kabel yang masing-masing 5 meter panjangnya dan dibagi untuk 5 sudut penekukan. Data diambil langsung di laboratorium Quality Control PT. KMI Wire and Cable, Tbk dengan mengalirkan arus bervariasi pada sampel yang normal dan yang sudah ditekuk untuk kemudian dilihat kenaikan temperturnya pada titik tekuk.

Dari data penelitian didapatkan temperatur pada saat ditekuk 0 derajat sebesar 64,0°C dan 45,1°C saat kabel dalam keadaan normal (tidak ditekuk) dengan sama-sama dialiri arus KHA. Kenaikan temperatur dari kondisi normal ini juga terjadi di sudut-sudut tekuk yang lain. Dimana temperatur kabel saat ditekuk > kabel dalam kondisi normal. Semakin kecil sudut penekukan, suhu yang dihasilkan juga semakin meningkat.

Kata kunci :

Penekukan Kabel, Kenaikan Temperatur Kabel

ABSTRACT

YOSUA JOHARA SUMANTO, ANALYSIS OF FLOW CURRENT AND TEMPERATURE ON ANGLE DEGREE CABLE NYM 2 x 1.5 mm² (Research in PT. KMI Wire and Cable Tbk), Skripsi. Jakarta: Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2016. Supervisor: Massus Subekti, S.Pd., M.T. and Drs. Purwanto Gendroyono, M.T.

The main problem studied are manifold cable NYM 2 x 1.5 mm² in this study apply special conditions that split. Bending on a cable NYM 2 x 1.5 mm² create a current that flows obstructed and stacked at the point of bending so that the basis of this research. The purpose of this study was to determine the effect of the rise in temperature conditions of buckling cable NYM 2 x 1.5 mm².

The method used in the study was a laboratory experiment with a sample of cable NYM 2 x 1.5 mm² production PT. KMI Wire and Cable Tbk certified. The sample was divided into several sections, with a total of 30 cables, each 5 meters in length and is divided to 5 bending angle. Data is taken directly in the laboratory Quality Control PT. KMI Wire and Cable Tbk with varying current flow in normal samples and that has been bent for later visits the temperature rise at the point of buckling.

Research data obtained from the temperature at 0 degrees bent of 64,0° C and 45,1° C when the cable under normal circumstances (not bent) with equally energized CRC. Rising temperatures than normal conditions also occur in the corners bend others. Where the cable temperature when bent > cable under normal conditions. The smaller the angle of bending, the resulting temperature is also increasing.

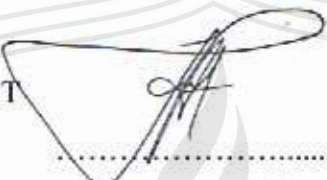

Keywords :

Bending Cables, Cable Temperature Rising


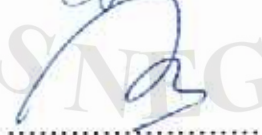

**ANALISIS BESAR ARUS DAN SUDUT PENEKUKAN TERHADAP
TEMPERATUR KABEL NYM 2 x 1.5 mm²
(Penelitian di PT. KMI Wire and Cable, Tbk)**

Yosua Johara Sumanto, NIM. 5115122587

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Massus Subekti, S.Pd, M.T (Dosen Pembimbing I)		24.11.2016
Drs. Purwanto G., M.T (Dosen Pembimbing II)		21.11.2016

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Daryanto, M.T (Ketua Penguji)		11.11.2016
Aris Sunawar, S.Pd, M.T (Sekretaris)		3.12.2016
Drs. Ir. Parjiman, M.T (Dosen Ahli)		21-11-2016

Tanggal Lulus:

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis analisis besar arus dan sudut penekukan terhadap temperatur kabel NYM 2 x 1,5 mm² (penelitian di PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk) adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Desember 2016
Yang membuat pernyataan

Yosua Johara Sumanto
NIM. 5115122587

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan segala proses kegiatan Penelitian Skripsi dan menyusun skripsi yang berjudul

“ANALISIS BESAR ARUS DAN SUDUT PENEKUKAN TERHADAP TEMPERATUR KABEL NYM 2 x 1.5 mm²”

Penulis menyusun skripsi ini berdasarkan seluruh penelitian yang telah penulis lakukan di PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk, Cakung Jakarta Timur. Dalam menyusun skripsi ini, penulis tidak sekedar menyusun begitu saja, tetapi penulis melakukan penelitian secara langsung, beradaptasi dari awal proses penelitian hingga pengambilan data penelitian. Skripsi ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Pendidikan dalam bidang Keteknikan.

Dalam pembuatan skripsi ini, penulis tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dorongan dan kerja sama dari semua pihak. Untuk itu dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, Ibu, dan keluarga atas segala perhatian, dukungan, dan semangat yang diberikan kepada penulis selama ini.
2. Bapak Massus Subekti, S.Pd., M.T., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Massus Subekti, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi I jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.

4. Bapak Drs. Purwanto Gendroyono, M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi II jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.
5. Bapak Agus Dwi Sasongko selaku Kepala Departemen Quality Control di PT. KMI Wire and Cable Tbk.
6. Bapak Firdaus Hakim selaku Kepala Departemen Comben & IR di PT. KMI Wire and Cable Tbk.
7. Ibu Astuti selaku pihak divisi HRD di PT. KMI Wire and Cable Tbk.
8. Bapak Amin selaku Pembimbing Lapangan divisi Lab. Quality Control di PT. KMI Wire and Cable Tbk.
9. Bapak Haryanto, Bapak Fajar, Bapak Yahya, Bapak Tomo, Bapak Dani, selaku instruktur perbagian proses dan seluruh karyawan PT. KMI Wire and Cable Tbk yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah meluangkan waktu untuk memberikan buah pikiran demi penyusunan laporan ini.
10. Teman – teman Mahasiswa teknik Elektro UNJ khususnya angkatan 2012 yang telah memberikan dukungan semangat untuk penyelesaian laporan ini.
11. Semua pihak terkait yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak guna memperbaiki dan menyempurnakan penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, Desember 2016

Penulis

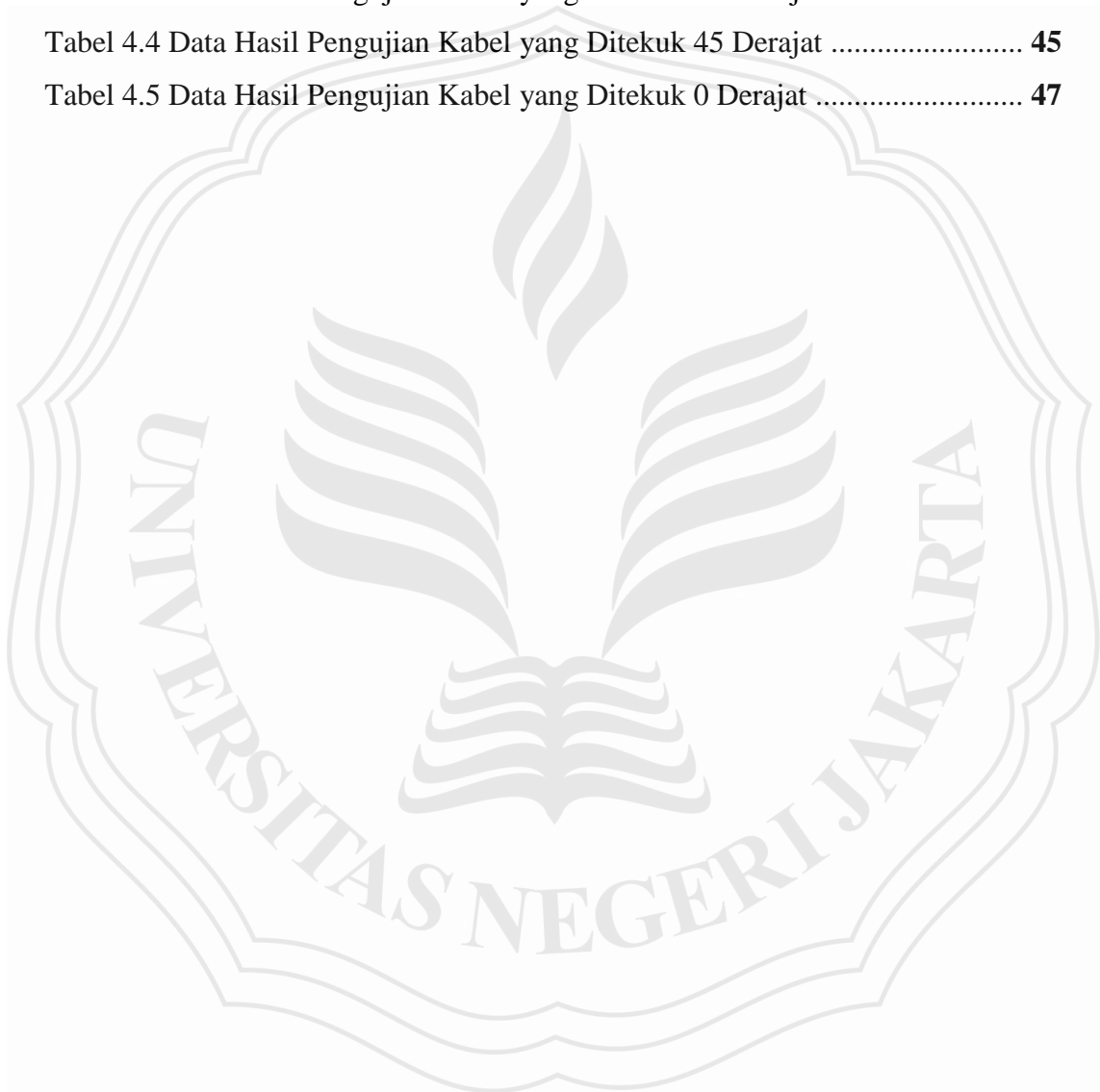
DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Kegunaan Penelitian	5
BAB II KERANGKA TEORITIS	7
2.1 Kerangka Teoritis	7
2.1.1 Jenis Kabel Instalasi	7
2.1.2 Kabel NYM	10
2.1.3 Karakteristik Medan Magnet dan Temperature pada Penghantar yang Ditekuk	15
2.1.4 Sumber Pemanasan pada Kabel	21
2.1.5 Temperatur dan Aliran Panas pada Kabel	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Metodologi Penelitian	27
3.3 Sampel Penelitian	27
3.4 Instrumen Penelitian	28
3.4.1 Peralatan Penelitian	28
3.4.2 Prosedur Penelitian	28
3.5 Teknik Analisis Data	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS	37
4.1 Data Hasil Pengujian	37
4.1.1 Data Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat	37

4.1.2 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 135 Derajat	40
4.1.3 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 90 Derajat	42
4.1.4 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 45 Derajat	44
4.1.5 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 0 Derajat	46
4.2 Pembahasan	48
4.2.1 Grafik Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat	48
4.2.2 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 135 Derajat	49
4.2.3 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 90 Derajat	51
4.2.4 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 45 Derajat	53
4.2.5 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 0 Derajat	54
4.3 Analisis Data	56
4.3.1 Analisis Perbedaan Nilai Temperatur Konstan Antara Konduktor dengan Isolasi	56
4.3.2 Analisis Pengaruh Besar Sudut Penekukan Kabel Terhadap Temperatur Konstan	58
BAB V KESIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Implikasi	66
5.3 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat	39
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 135 Derajat	41
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 90 Derajat	43
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 45 Derajat	45
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 0 Derajat	47



DAFTAR GAMBAR

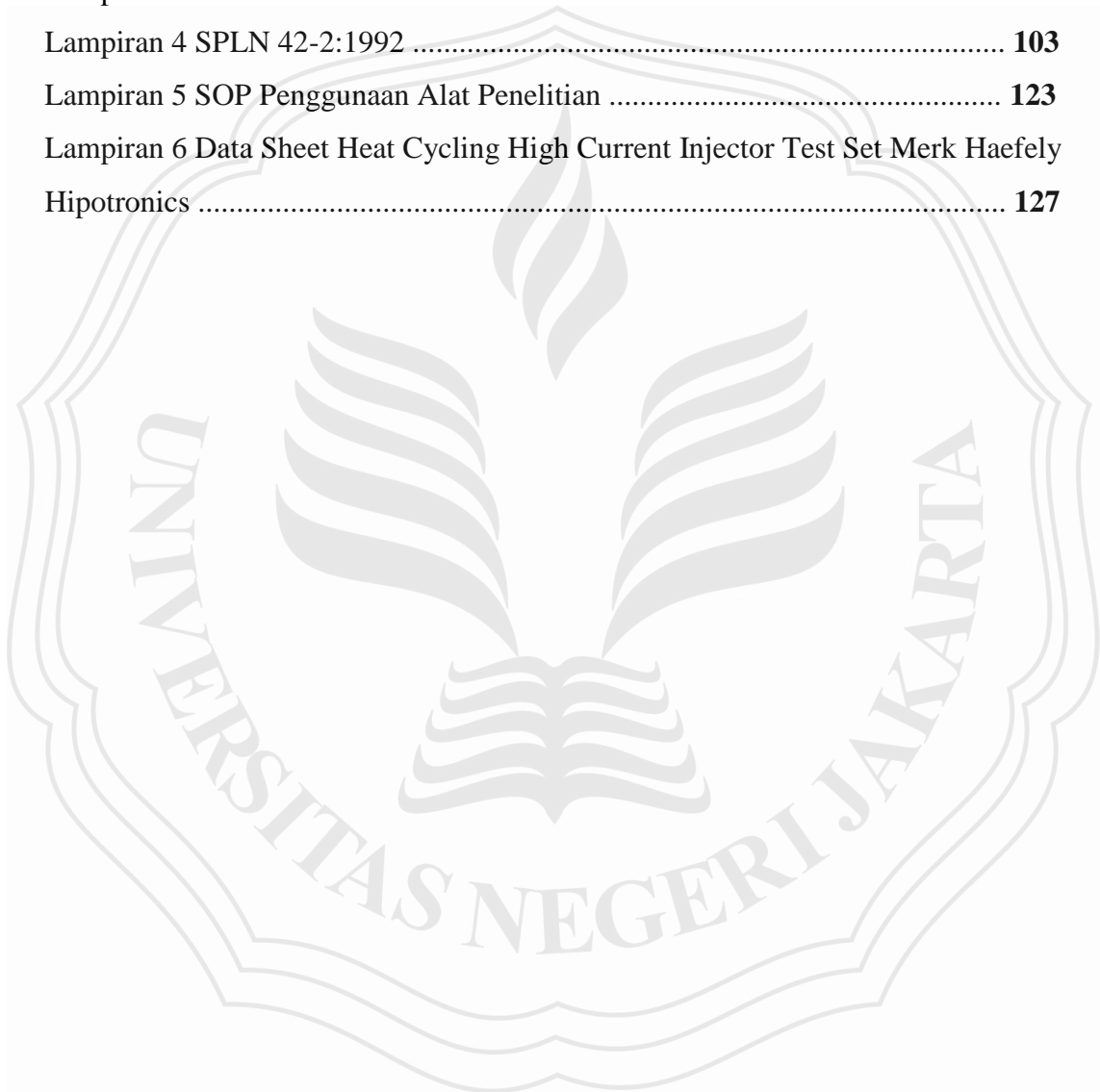
	Hal.
Gambar 2.1 Kabel sebagai penyalur daya listrik	7
Gambar 2.2 Kabel NYA	8
Gambar 2.3 Kabel NYM	9
Gambar 2.4 Kabel NYY	9
Gambar 2.5 Bagian kabel NYM	10
Gambar 2.6 Penghantar yang ditekuk	16
Gambar 2.7 Model yang digunakan untuk perhitungan	17
Gambar 2.8 Pengaruh nilai R_0 terhadap temperatur maksimum	18
Gambar 2.9 Pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur maksimum	19
Gambar 2.10 Pengaruh rasio arus terhadap temperatur maksimum	20
Gambar 2.11 Pengaruh suhu pengujian terhadap temperatur maksimum	20
Gambar 2.12 Diagram vector arus pada kapasitor	23
Gambar 2.13 Rangkaian termal untuk kabel dengan satu sumber kalor	26
Gambar 2.14 Rangkaian termal untuk kabel dengan dua sumber kalor	26
Gambar 3.1 Rangkaian Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat	30
Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk 135 Derajat	32
Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk 90 Derajat	33
Gambar 3.4 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk 45 Derajat	34
Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk Balik	35
Gambar 4.1 Sampel kabel lurus 180 derajat	37
Gambar 4.2 Proses Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat	38
Gambar 4.3 Sampel kabel ditekuk 135 derajat	40
Gambar 4.4 Proses pengujian kabel ditekuk 135 derajat	40
Gambar 4.5 Sampel kabel ditekuk 90 derajat	42
Gambar 4.6 Proses pengujian kabel ditekuk 90 derajat	43
Gambar 4.7 Sampel kabel ditekuk 45 derajat	44
Gambar 4.8 Proses pengujian kabel ditekuk 45 derajat	44
Gambar 4.9 Sampel kabel ditekuk balik	46
Gambar 4.10 Proses pengujian kabel ditekuk balik	46
Gambar 4.11 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat	49

Gambar 4.12 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk 135 Derajat	51
Gambar 4.13 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk 90 Derajat	52
Gambar 4.14 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk 45 Derajat	54
Gambar 4.15 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk Balik 0 Derajat	55
Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Sudut Penekukan Terhadap Temperatur Pada Arus 5A	59
Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Sudut Penekukan Terhadap Temperatur Pada Arus 19A	60



DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
Lampiran 1 Lembar Kerja Penelitian	71
Lampiran 2 Data Lembar Kerja Penelitian	73
Lampiran 3 SNI 04-6629:2006	78
Lampiran 4 SPLN 42-2:1992	103
Lampiran 5 SOP Penggunaan Alat Penelitian	123
Lampiran 6 Data Sheet Heat Cycling High Current Injector Test Set Merk Haefely Hipotronics	127



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Belakangan ini peran listrik dalam kehidupan semakin jelas terlihat. Berbagai macam kebutuhan hidup tidak lepas dari peranan listrik. Listrik seperti bilah mata pisau, satu sisi bisa bermanfaat namun di sisi lain juga bisa sangat membahayakan. Dari beberapa kasus kebakaran yang terjadi di Indonesia, ternyata 80 persen disebabkan karena masalah kelistrikan yang tidak baik. Kondisi demikian sering berakibat fatal yakni terjadinya hubungan arus pendek yang mengakibatkan kebakaran dengan kerugian ratusan miliar per tahun. Selain itu, listrik juga dapat menyebabkan kematian yang tingkatnya berbeda-beda untuk setiap orang tergantung dari jenis kelamin, usia dan juga berat badan (Hudaya, 2011: 6).

Menurut Deni Almanda (1997: 13), penyebab kebakaran yang diakibatkan oleh listrik dimulai dari kegagalan isolasi dari penghantar listrik itu sendiri. Penghantar listrik berisolasi atau yang biasa disebut kabel listrik adalah sebuah divais yang dapat menghantarkan muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya. Pada umumnya, sebuah kabel listrik terdiri dari bagian inti yang disebut konduktor dan dibungkus oleh bagian material isolasi listrik. Sebuah kabel memiliki kemampuan hantar arus (KHA) yang berbeda-beda dalam menyalurkan listrik, tergantung dari dimensi kabel tersebut. Arus listrik dapat dianalogikan sebagai derasnya air yang mengalir pada suatu pipa ataupun media lainnya dimana

pipa adalah kabel listriknya. Ketika arus hubung singkat terjadi, sesuai dengan hukum ohm, $I = V/R$, dimana jika tegangan V yang konstan dan tahanan listrik R yang hampir mendekati nol, maka akan dihasilkan nilai arus listrik yang sangat besar sekali. Derasnya air yang mengalir dalam sebuah pipa yang dipompa oleh sebuah pompa dengan tekanan tinggi akan berakibat pada pecahnya pipa tersebut. Begitu pula yang terjadi dengan kabel listrik. Kabel yang menyalurkan daya listrik yang besar (daya sebanding dengan kuadrat arus, $P = I^2R$) menyebabkan panas yang berlebihan. Jika syarat terjadi kebakaran lainnya yaitu adanya oksigen dan bahan mudah terbakar tersedia di sekeliling kabel tersebut, kebakaran pun terjadi.

Kebakaran yang diakibatkan oleh listrik, sebenarnya tidak hanya disebabkan oleh kondisi arus hubung singkat saja, tetapi dapat juga disebabkan oleh penggunaan listrik yang melebihi kapasitas penghantar (*overloads*). Selain itu, mode penggunaan kabel seperti penggunaan kabel secara lurus, menekuk maupun terikat akan menurunkan nilai KHA kabel. Berdasarkan penelitian dari R. Setiabudy, B.Sudiarto, C. Hudaya, Arifianto dalam *Analysis of Thermal Characteristics of PVC Cable Rating Voltage of 300/500 Volt under Overload Operation*, *Proceeding of The 11th International Seminar of Quality in Research Faculty of Engineering University of Indonesia, August 2009*, kabel yang digunakan secara lurus cenderung memiliki KHA yang lebih baik dibandingkan dengan kabel yang ditekuk, melengkung ataupun terikat. Tekukan pada sebuah kabel membuat arus yang mengalir menjadi terhambat dan bertumpuk pada titik tekukan. Sehingga KHA pun menjadi kurang baik.

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*) yang disebabkan karena tingginya temperatur pada kabel yang menyebabkan rusaknya isolasi tersebut.

Untuk itu pada skripsi ini dilakukan penelitian terhadap kabel listrik rumah tinggal berstandar SNI yang ditekuk untuk mengetahui kenaikan temperatur yang terjadi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas beberapa masalah yang dapat diidentifikasi yaitu:

1. Kabel listrik dalam pemasangannya tidak hanya dalam kondisi lurus, tetapi juga dengan kondisi khusus yaitu melingkar dan ditekuk.
2. Penyebab hubung singkat dalam instalasi rumah tinggal diantaranya kegagalan isolasi, kenaikan temperatur konduktor, dan arus berlebih pada titik tertentu penghantar berisolasi.
3. Penghantar listrik berisolasi yang sering mengalami kegagalan dalam rumah tinggal berjenis NYM berinti tunggal dan berinti serabut.

4. Keberadaan kabel listrik berjenis NYM di pasaran masih banyak yang belum sesuai standar SNI atau lembaga terkait.

1.3 Batasan Masalah

Agar masalah yang dibahas lebih jelas dan terarah, maka perlu adanya pembatasan masalah yang meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Departemen *Quality Control* PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk yang terletak di Jalan Raya Bekasi KM. 23,1 – Cakung, Jakarta Timur 13910.
2. Kabel listrik yang diteliti merupakan produk dari PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk berstandar SNI 04-6629.4..
3. Kabel listrik tersebut berjenis NYM dengan 2 penghantar berinti tunggal 300/500 volt berpenampang 1,5 mm².
4. Penelitian menggunakan sumber tegangan AC 220 volt frekuensi 50 Hz.
5. Kabel diteliti dalam kondisi lurus 180 derajat dan kondisi khusus, yaitu ditekuk 135 derajat, 90 derajat, 45 derajat, dan tekuk balik 0 derajat.
6. Arus yang diberikan bervariasi mulai dari 5 A, 10 A, 15 A, 17 A, 18 A, dan KHA 19 A..
7. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah milik PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk dan sudah terkalibrasi oleh lembaga kalibrasi terakreditasi.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan pembatasan masalah, maka rumusan masalahnya sebagai berikut:

1. Apa yang terjadi ketika penekukan dan besar arus diberikan terhadap kabel NYM 2 x 1,5 mm²?
2. Bagaimana dampak yang ditimbulkan dari kabel NYM 2 x 1,5 mm² yang ditekuk dan diberi arus bervariasi?
3. Berapakah sudut tekuk dan besar arus yang ideal untuk penggunaan kabel NYM 2 x 1,5 mm² agar sesuai dengan temperatur maksimum yang diijinkan dalam SNI 04-6629.4 dari lima sudut dan enam arus yang dibatasi?

1.5 Tujuan Penelitian

Sedangkan tujuan penelitian ini adalah untuk:

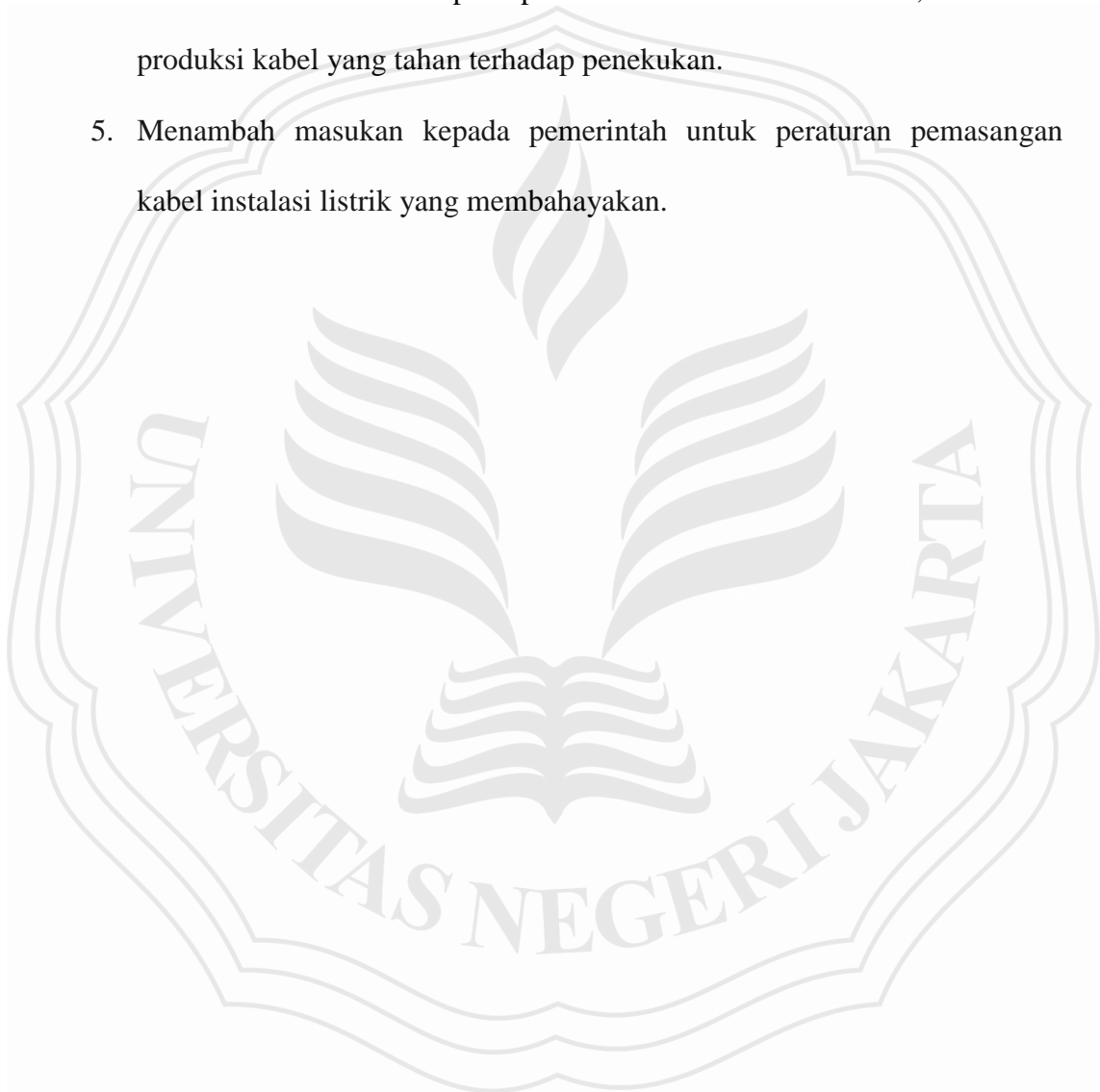
1. Menerapkan suatu kondisi khusus, yaitu penekukan yang menggunakan kabel NYM dalam pemasangan instalasi listrik terhadap kenaikan temperatur kabel itu sendiri.
2. Mengetahui besar arus dan sudut tekuk yang ideal terhadap kenaikan temperatur kabel dalam kondisi ditekuk.

1.6 Kegunaan Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat umum tentang kondisi yang baik dalam pemasangan kabel dalam instalasi rumah tinggal.

2. Mengurangi potensi kebakaran akibat pemasangan kabel dalam instalasi rumah tinggal yang sering ditekuk.
3. Mengembangkan ilmu pengetahuan tentang kondisi khusus dalam pemasangan kabel.
4. Memberikan masukan kepada pihak PT KMI *Wire and Cable*, Tbk untuk produksi kabel yang tahan terhadap penekukan.
5. Menambah masukan kepada pemerintah untuk peraturan pemasangan kabel instalasi listrik yang membahayakan.



BAB II

KERANGKA TEORITIS

2.1 Kerangka Teoritis

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

1. Untuk menyalurkan daya listrik dari suatu tempat ke tempat lain, seperti yang terlihat pada gambar 2.1.
2. Untuk membawa sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 2.1 Kabel sebagai penyalur daya listrik

Sumber: Slide Mata Kuliah Bahan-Bahan Listrik Teknik Elektro UNJ

2.1.1 Jenis Kabel Instalasi

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 (gambar 2.2). 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

Sumber: Slide Mata Kuliah Bahan-Bahan Listrik Teknik Elektro UNJ

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 (gambar 2.3). Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik

dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.3 Kabel NYM

Sumber: Slide Mata Kuliah Bahan-Bahan Listrik Teknik Elektro UNJ

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).



Gambar 2.4 Kabel NYY

Sumber: Slide Mata Kuliah Bahan-Bahan Listrik Teknik Elektro UNJ

2.1.2 Kabel NYM

2.1.2.1 Arti Kode Pengenal Kabel NYM

Arti kode pengenal kabel NYM menurut SNI 04-6629.4:2006 (lampiran 3) 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 2 x 1.5 mm² (re) 300/500 volt menyatakan kabel berisolasi dan berselubung PVC berinti dua dengan tegangan pengenal 300/500 V, berpenghantar tembaga padat bulat dengan luas penampang 1.5 mm² dengan sistem pengenal warna inti tanpa hijaukuning.

2.1.2.2 Konstruksi Kabel NYM



Gambar 2.5 *Bagian kabel NYM*

Sumber: Slide Mata Kuliah Bahan-Bahan Listrik Teknik Elektro UNJ

Konstruksi kabel NYM dilihat dari gambar 2.5:

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:

- a. Meratakan distribusi medan listrik sehingga tidak terjadi penimbunan tegangan.
- b. Untuk mengamankan manusia dari bahaya listrik.
- c. 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 sintesis seperti karet silikon dan PVC.

2.1.2.3 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 No. 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:

- a. Memberikan perlindungan kepada konsumen, tenaga kerja, dan masyarakat baik dalam keselamatan maupun kesehatan

- b. Mewujudkan jaminan mutu dengan memperhatikan sektor-sektor yang terkait
- c. Meningkatkan daya guna, hasil guna dan produktivitas dalam mencapai mutu produk dan/atau jasa yang memenuhi standar
- d. Mewujudkan tercapainya persaingan yang sehat dalam perdagangan
- e. 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.

Standar Nasional Indonesia untuk jenis kabel NYM diatur dalam SNI 04-6629.4 tahun 2006 (lihat di lampiran 3). Selain Standar Nasional Indonesia, standar lain yang digunakan di Indonesia adalah SPLN yaitu standar yang digunakan oleh Perusahaan Listrik Negara. SPLN untuk kabel NYM sendiri dituliskan dalam SPLN 42-2 tahun 1992 (lihat di lampiran 4). Standar ini tidak berbeda jauh dengan SNI karena keduanya mengacu pada standar IEC. 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.

Namun sejak tanggal 7 Desember 2014, semua kabel berjenis NYM diwajibkan memakai Standar Nasional Indonesia 04-6629.4:2006 dan tidak boleh mengikuti standar lain selain Standar Nasional Indonesia. Dengan demikian SPLN 42-2:1992 tidak berlaku lagi. Hal ini diatur dalam Peraturan Kementerian Perdagangan Nomor 84/M-IND/PER/10/2014.

2.1.2.4 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.

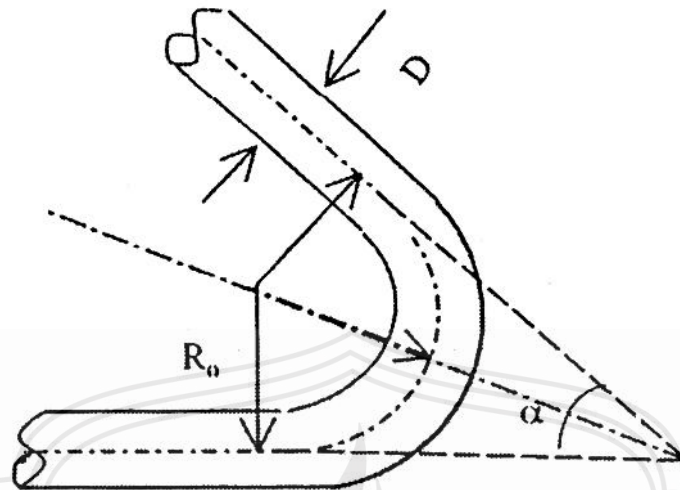
Untuk pemasangannya digunakan klem dengan jarak antara yang cukup sehingga terpasang rapi dan lurus. Jika dipasang diruang lembab harus digunakan kotak sambung yang kedap air dan kedap lembab. Luas penampang hantaran yang harus digunakan ditentukan kemampuan hantaran arus yang diperlukan dan suhu keliling 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 diperlengkapan 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.

2.1.3 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.

Sumber: IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17 No. 4, Oktober 2002. Hal. 1153

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.

2.1.3.1 Distribusi Gaya Magnetik pada Konduktor yang Ditekuk.

Dari gambar 2.7, kepadatan flux magnet yang dihasilkan pada titik $P(x,y)$, dimana x,y (m) adalah koordinat Cartesian dari titik P , digambarkan pada persamaan berikut:

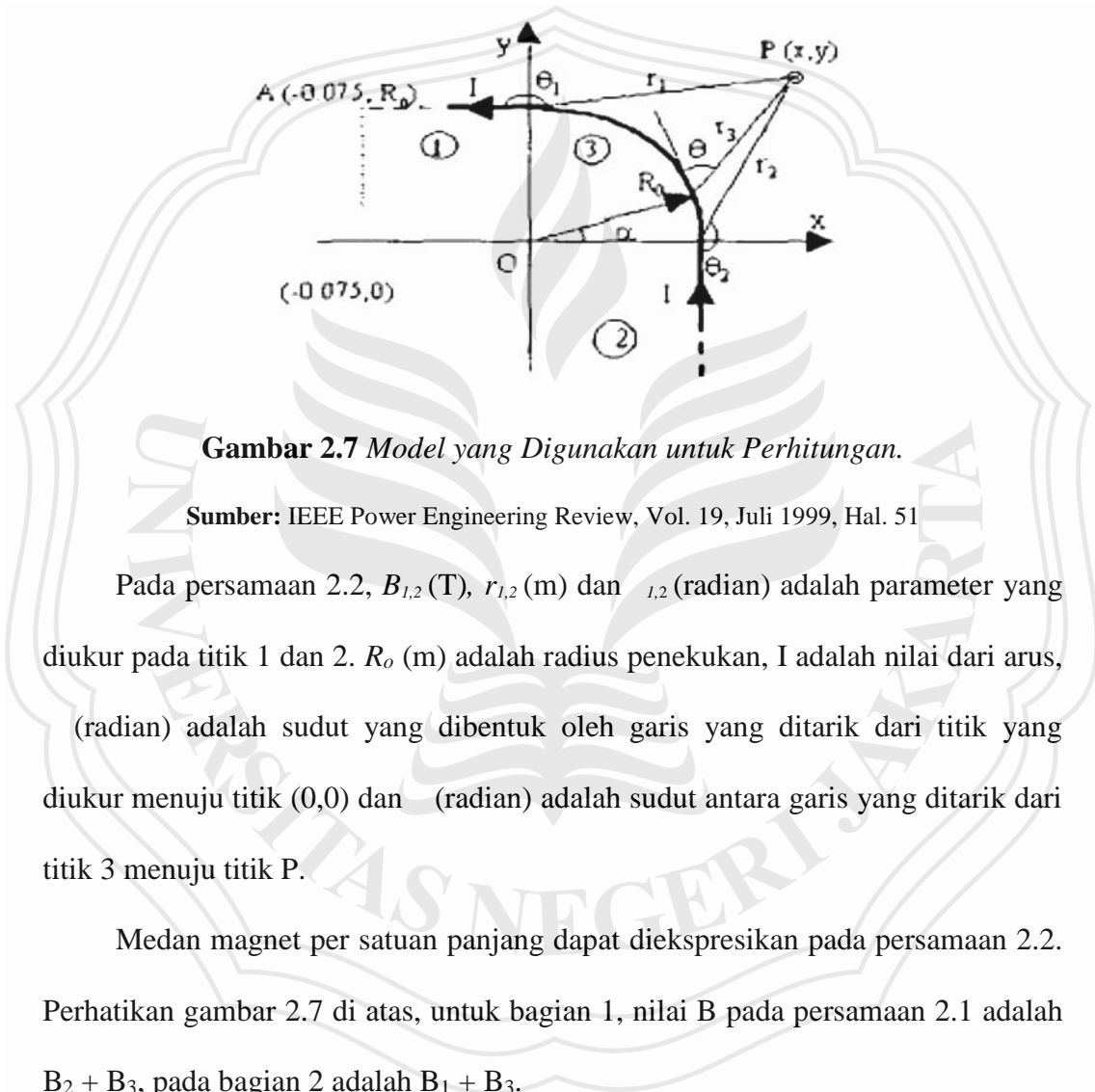
$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 + \mathbf{B}_3 \quad (\text{T}) \quad (2.1)$$

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

$$B_3 = \int_{||} \frac{\pi \mu I R_o \cdot \sin \theta}{4\pi^2} \cdot d\alpha \quad (\text{T}) \quad (2.3)$$

$$\Delta \vec{B}_3 = (I \cdot \Delta \vec{l}) \cdot \vec{r}^3 \quad (\text{N/m}) \quad (2.4)$$

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



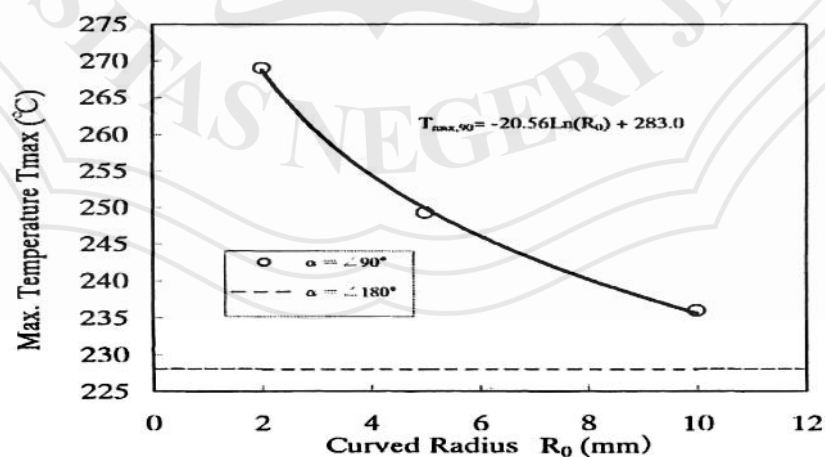
2.1.3.2 Karakteristik Temperatur dari Konduktor yang Ditekuk

1. Pengaruh Sudut Penekukan dan Radius Penekukan Terhadap Temperatur Konduktor

Pada percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan kabel dengan diameter 1 mm didapatkan pengaruh radius tekukan R_o terhadap temperatur maksimum konduktor. 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 $R_o = 2$ 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 diturunkan dalam bentuk persamaan:

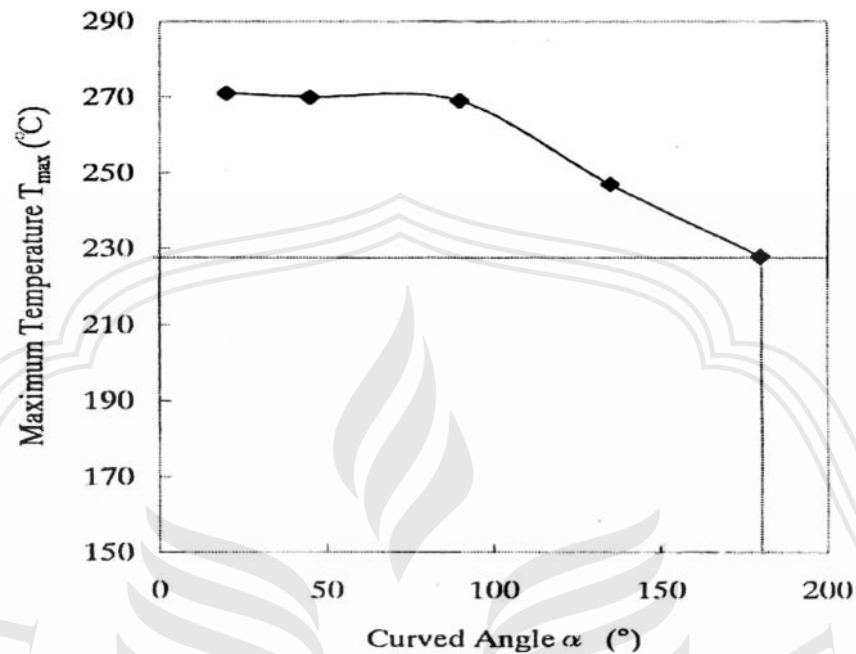
$$T_{max,90} (^{\circ}\text{C}) = 0,000400 \cdot \left(\frac{I}{I_{cr}}\right)^3 - 0,0211 \cdot \left(\frac{I}{I_{cr}}\right)^2 + 0,379 \cdot \left(\frac{I}{I_{cr}}\right) \quad (2.5)$$

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



Gambar 2.8 Pengaruh nilai R_o terhadap temperatur maksimum

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



Gambar 2.9 Pengaruh sudut penekukan terhadap temperatur maksimum

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

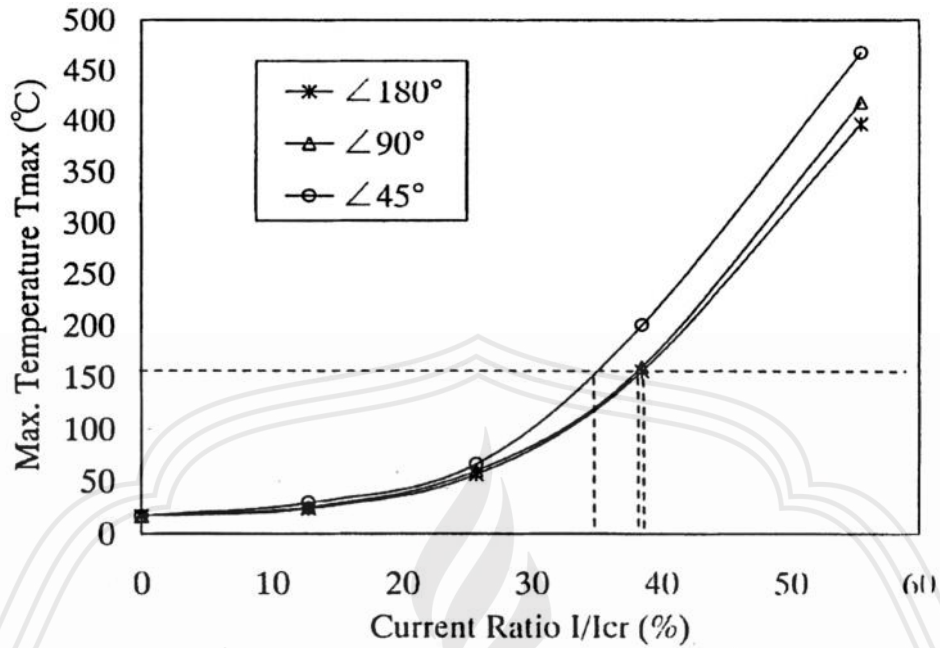
2. Pengaruh Rasio Arus I / I_{cr} Terhadap Temperatur Konduktor

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

$$T_{\max,180} \text{ } ^\circ\text{C} = 0,00170 \left(\frac{I}{I_{cr}} \right)^3 + 0,0382 \left(\frac{I}{I_{cr}} \right)^2 - 0,441 \left(\frac{I}{I_{cr}} \right) + 17 \quad (2.6)$$

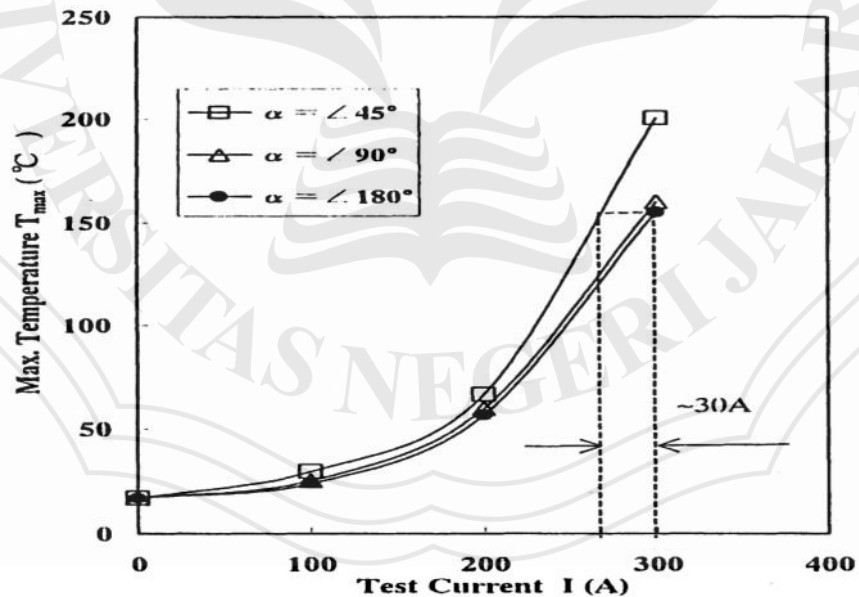
Dimana $\left(0 \leq \frac{I}{I_{cr}} (\%) \leq 55,5 \right)$. Jika digambarkan dalam bentuk grafik,

maka persamaan 2.6 dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.10 di bawah ini :



Gambar 2.10 Pengaruh rasio arus terhadap temperatur maksimum

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



Gambar 2.11 Pengaruh suhu pengujian terhadap temperatur maksimum

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

2.1.4 Sumber Pemanasan pada Kabel.

Menurut William Thue dalam bukunya yang berjudul *Electrical Power Cable Engineering*, Marcel Dekker Inc, New York: 1999, 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.

$$P_c = I^2 \cdot R_{ac} \quad (\text{Watt}) \quad (2.7)$$

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:

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

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 ketidakteraturan distribusi kerapatan arus listrik pada suatu penampang penghantar. Pada penghantar berbentuk silinder kerapatan arus semakin meningkat dari sumbu penghantar ke permukaan. Ketidakteraturan

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)

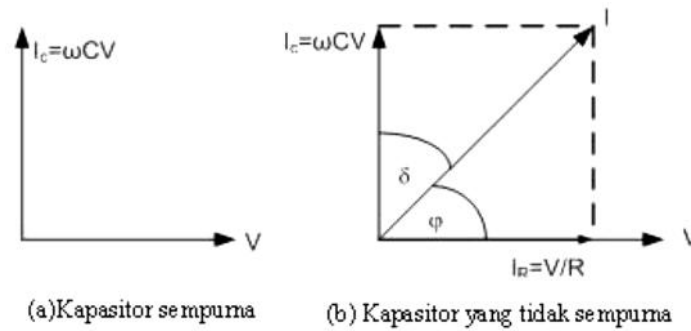
Y_s : faktor koreksi akibat *skin effect*

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 $I_c = \omega C V$. 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 2.12b. Sudut θ adalah sudut fasa kapasitor, dan $\phi = 90^\circ - \theta$, adalah sudut kehilangan (*loss-angle*).



Gambar 2.12 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:

$$P_D = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta \quad (\text{Watt}) \quad (2.10)$$

Dengan:

ω : $2\pi f$, f adalah frekuensi (Hz)

C : kapasitansi (F)

V : tegangan (V)

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

Kapasitansi pada kabel, menurut Yafang Liu (1999: 51), untuk kabel berinti tunggal atau tiga inti berpelindung dengan konduktor silindris dapat dinyatakan dengan persamaan :

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

Dengan:

d_m : diameter bahan isolasi kabel

d_c : diameter konduktor

ϵ : permitivitas bahan dielektrik kabel

2.1.5 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 [C /W], dan perbedaan temperatur, T [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:

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

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:

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

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

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

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.

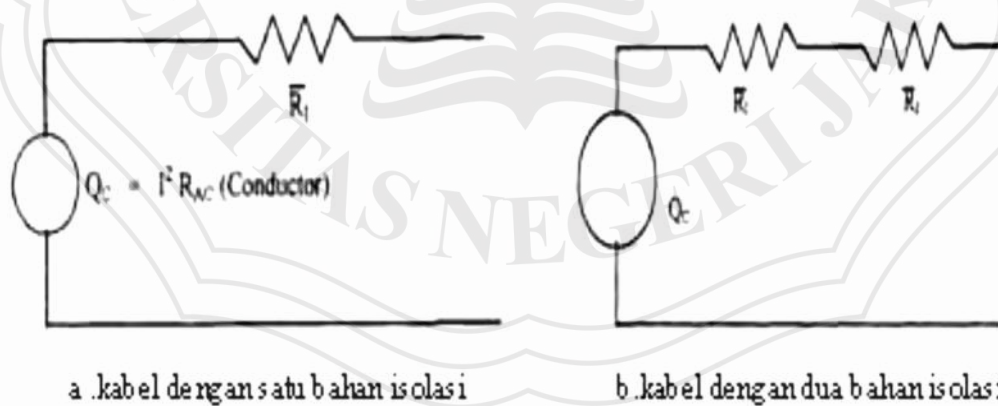
Aliran panas pada penghantar dapat digambarkan dalam bentuk rangkaian termal, semakin banyak komponen yang ada pada kabel, maka rangkaian termalnya akan semakin kompleks. Simbol yang digunakan pada rangkaian termal adalah:

\bar{R} : resistansi termal

Q : sumber energi panas

\bar{C} : kapasitansi termal

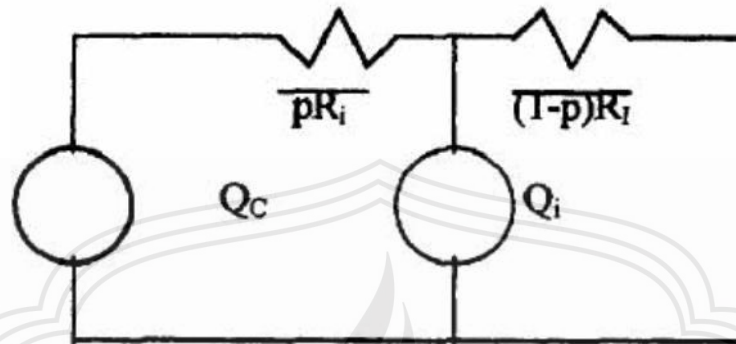
Untuk kabel dengan satu lapis bahan isolasi rangkaian termalnya adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13a. Sumber panas yang ada pada konduktor mengalirkan panas hanya kepada satu resistansi termal. Resistansi ini bisa dalam wujud isolasi dan selubung. Sedangkan gambar 2.13b merupakan gambar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



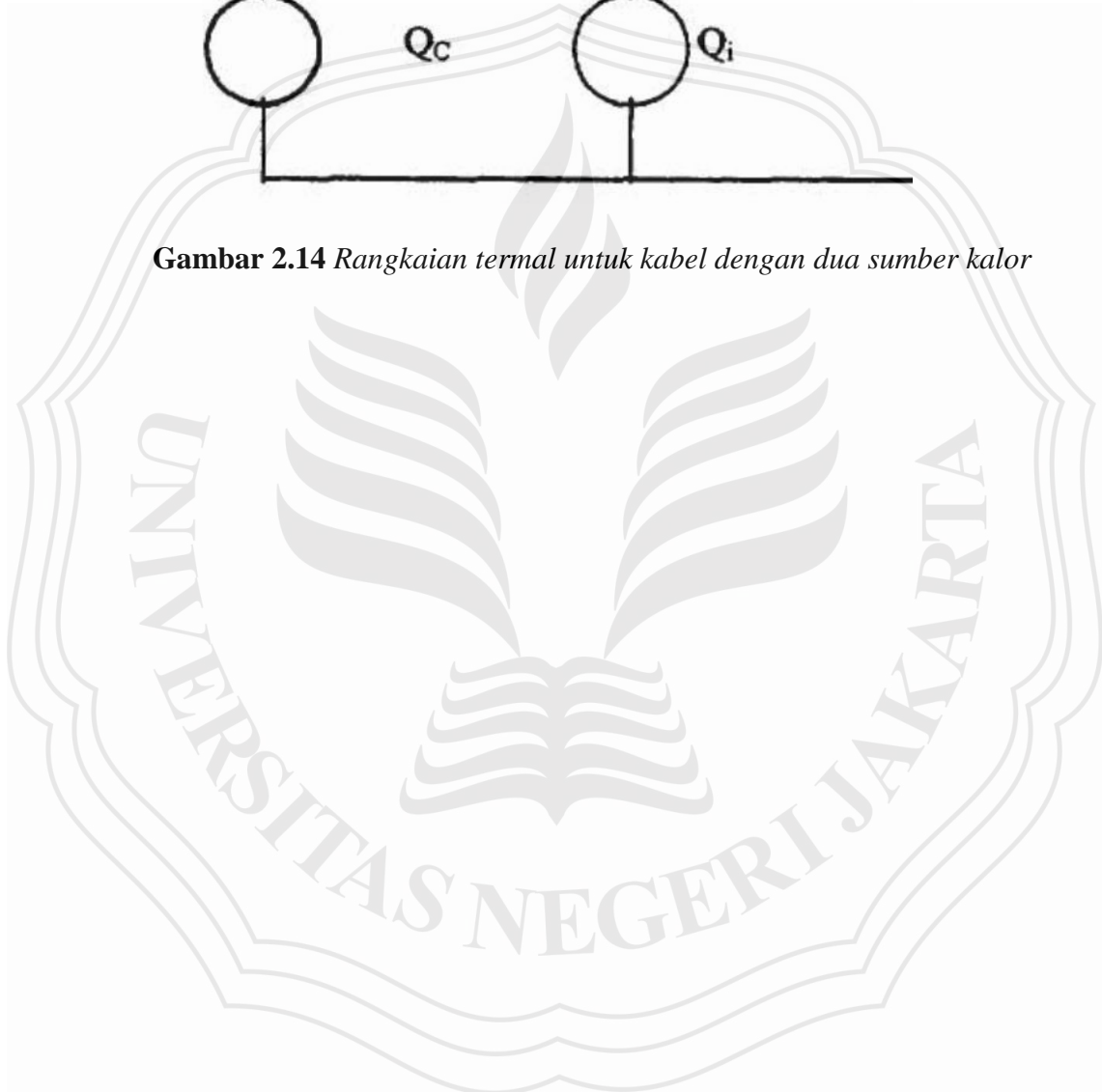
Gambar 2.13 Rangkaian termal untuk kabel dengan satu sumber kalor

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 2.14 dibawah ini, dimana Q_c adalah sumber kalor dari konduktor, dan Q_i adalah sumber kalor dari Isolasi.



Gambar 2.14 Rangkaian termal untuk kabel dengan dua sumber kalor



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam melakukan penelitian, tempat yang digunakan harus sesuai dengan standar penelitian. Penelitian Kabel NYM 2 x 1,5 mm² terhadap penekukan dan besar arus dilakukan di PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk pada Departemen *Quality Control*. Penelitian dilakukan selama 1 bulan pada bulan Februari 2016.

3.2 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan untuk penulisan ini yaitu menggunakan metode eksperimen laboratorium. Penelitian dilakukan dengan mengukur temperatur kabel NYM yang ditebuk dengan beberapa sudut penekukan dan dialiri arus yang bervariasi.

3.3 Sampel Penelitian

Sampel yang digunakan untuk penelitian adalah kabel NYM 2 x 1.5 mm² dengan standar SNI 04-6629.4:2006 produksi PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk.

Adapun parameter teknis dari kabel yang menggunakan standar SNI 04-6629.4:2006 (lampiran 3) adalah sebagai berikut:

Jumlah inti dan luas penampang	: 2 x 1.5 mm ²
Jumlah kawat dalam satu inti	: 1 buah
Diameter kawat	: 1.38 mm
Isolasi nominal S ₁	: 0,7 mm

Lapisan Pembungkus inti S ₂	: 0.4 mm
Selubung Nominal S ₃	: 1,2 mm
Diameter luar	: 10 mm
Kuat Hantar Arus pada 30 °C	: 19 A
Kuat Hantar Arus Pada 40 °C	: 16 A

3.4 Instrumen Penelitian

3.4.1 Peralatan Penelitian

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

1. *Heat Cycling High Current Injector Test Set Up To 20 kA* model LVTS merk Haefely Hipotronics (lampiran 6)
2. Sumber tegangan AC 220 V
3. Resistomat
4. Tang Amper
5. *Thermocouple*
6. Timer
7. Lembar kerja / Tabel Penelitian (lampiran 1)

3.4.2 Prosedur Penelitian

Pada penelitian terdapat lima buah kabel yang akan diuji, yaitu kabel lurus 180 derajat, ditekuk 135 derajat, ditekuk 90 derajat, ditekuk 45 derajat, dan kabel yang ditekuk balik 0 derajat. 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.

Proses penelitian karakteristik temperatur kabel yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

3.4.2.1 Persiapan Awal Penelitian

Pengujian ini dilakukan dalam 2 bagian yaitu pengujian tahanan penghantar dan pengujian temperatur untuk kabel yang ditekuk. Untuk penghantar berjenis tembaga, maka tahanan maksimumnya tidak boleh lebih dari 12,1 . Sebelum melakukan pengujian, maka ada beberapa hal yang harus dikerjakan, antara lain :

1. Mengukur tahanan penghantar menggunakan resistomat.
2. Mengukur temperatur awal semua bagian dari kabel, baik itu konduktor maupun isolasi.
3. Mencatat temperatur awal ruangan.
4. Menyiapkan lembar kerja pengujian.

3.4.2.2 Proses Penelitian

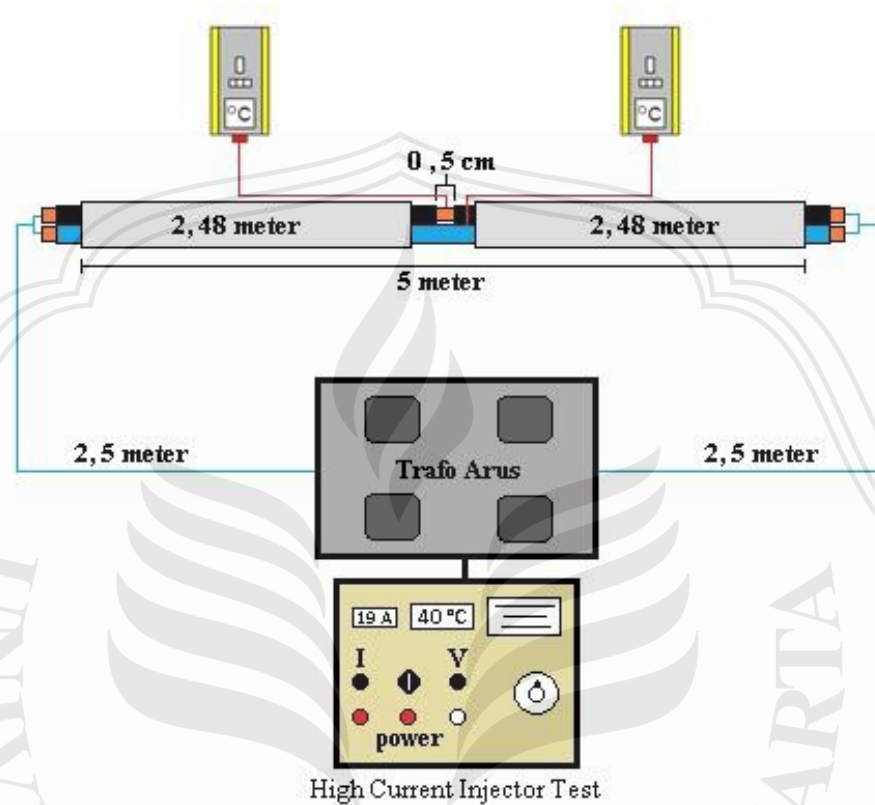
1. Pengujian terhadap kabel lurus sebesar 180 derajat

Apabila setiap langkah pada persiapan telah selesai dilaksanakan, maka kabel telah siap untuk diuji kenaikan temperaturnya. Kabel yang diuji ada 5 buah yaitu kabel lurus 180 derajat, ditekuk 135 derajat, ditekuk 90 derajat, ditekuk 45 derajat, dan kabel yang ditekuk balik 0 derajat. 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 lurus 180 derajat yang akan diuji sebanyak 6 buah masing masing dengan panjang 5 meter.
3. Merangkai rangkaian percobaan seperti pada gambar 3.1.

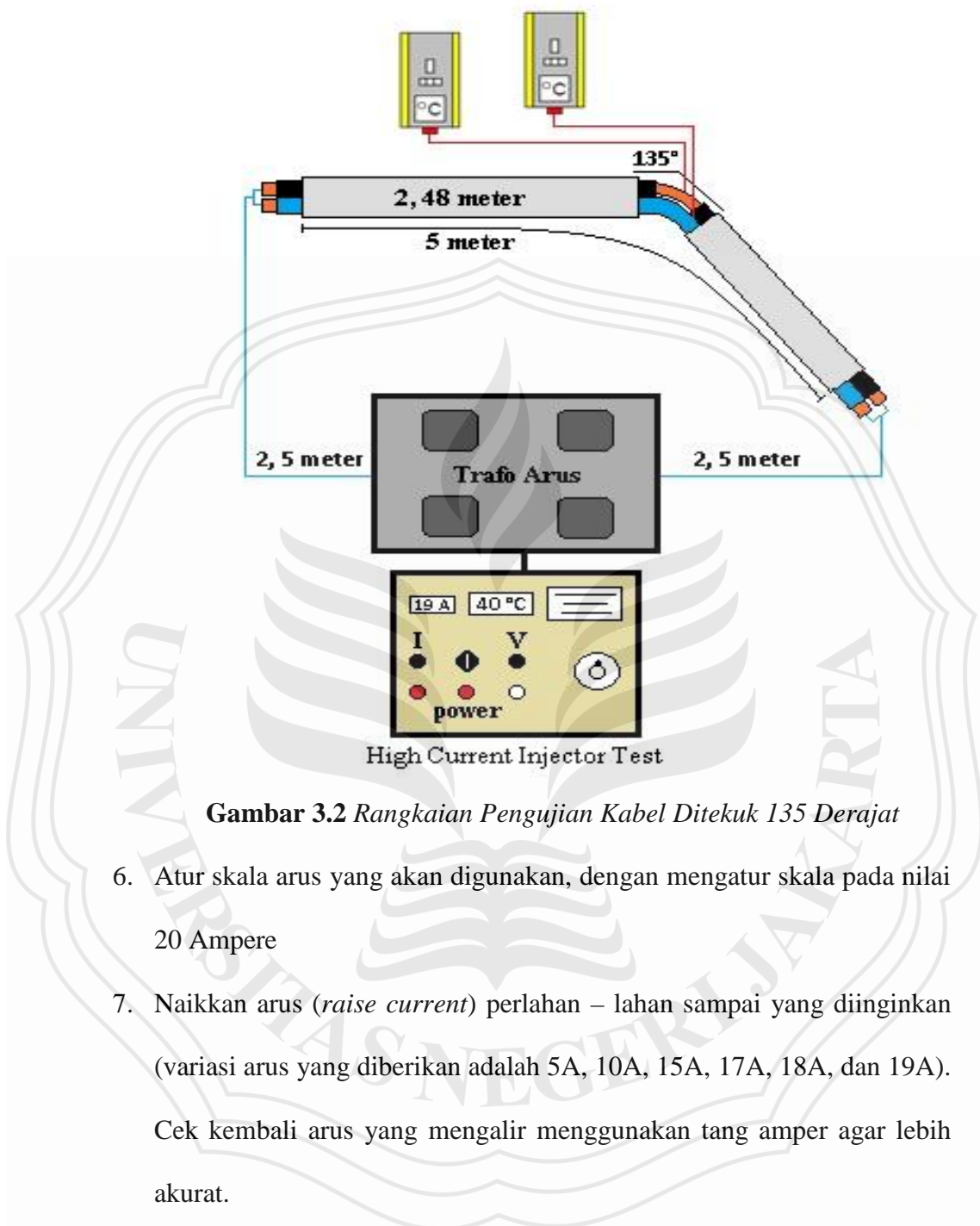


Gambar 3.1 Rangkaian Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat

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 (lampiran 5).
6. Atur skala arus yang akan digunakan, dengan mengatur skala pada nilai 20 Ampere.
7. Naikkan arus (*raise current*) perlahan – lahan sampai yang diinginkan (variasi arus yang diberikan adalah 5A, 10A, 15A, 17A, 18A, dan 19A).

Cek kembali arus yang mengalir menggunakan tang amper agar lebih akurat.

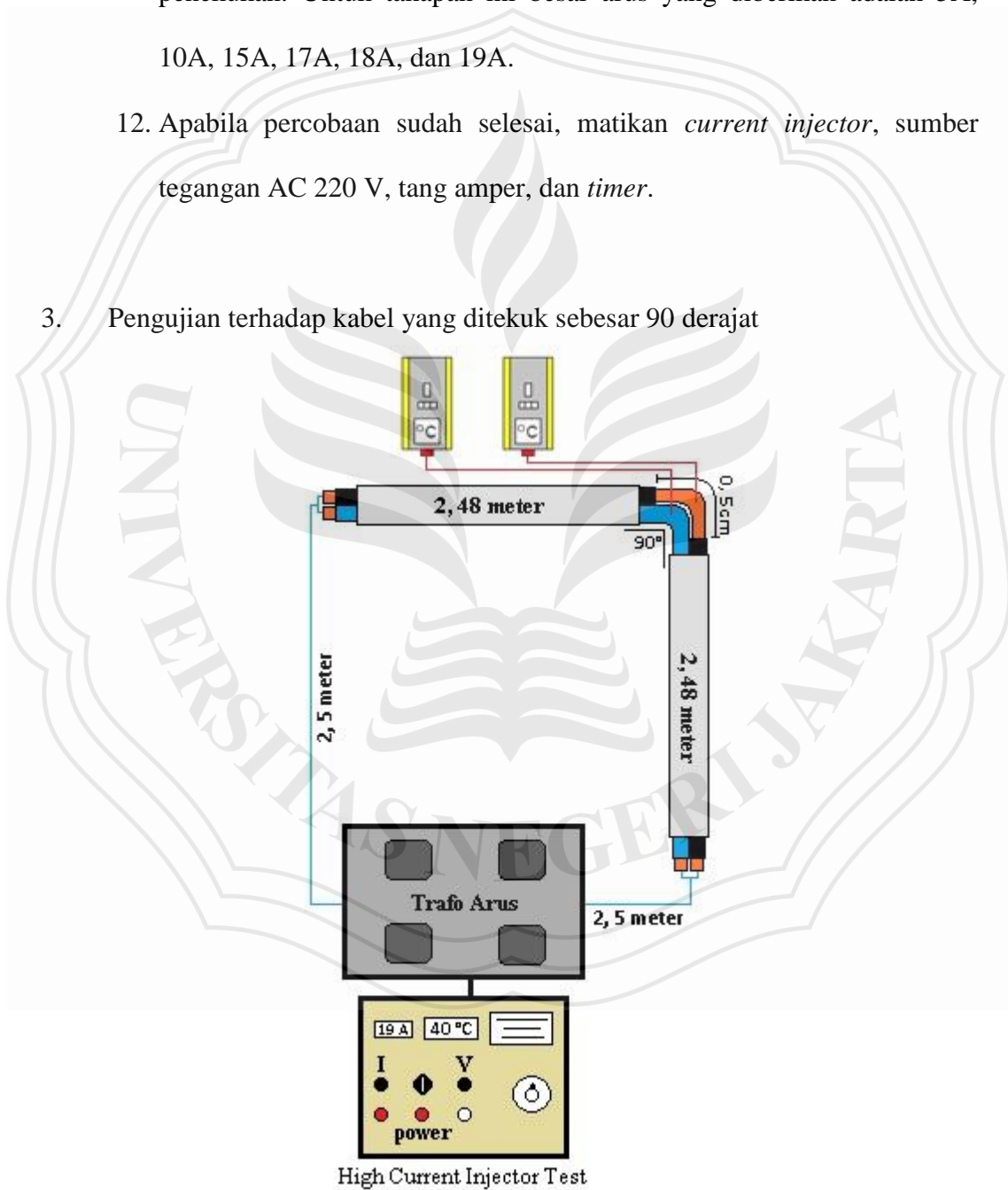
8. Setelah itu, tekan tombol ON pada daerah *low voltage*.
 9. Jika berhasil maka *timer* akan menyala dan jika tidak berhasil tombol trip akan menyala.
 10. Jika trip maka turunkan arus melalui tombol *raise current* dan setelah itu ulangi langkah nomor 7 sampai 9.
 11. Mencatat temperatur ruangan dan temperatur kabel pada bagian konduktor dan isolasi kabel setiap 30 detik selama 10 menit di titik penekukan. 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.
2. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat
- Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan adalah:
1. Menyiapkan semua peralatan.
 2. Menyiapkan kabel tekuk 135 derajat yang akan diuji sebanyak 6 buah masing masing dengan panjang 5 meter.
 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.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk 135 Derajat

6. Atur skala arus yang akan digunakan, dengan mengatur skala pada nilai 20 Ampere
7. Naikkan arus (*raise current*) perlahan – lahan sampai yang diinginkan (variasi arus yang diberikan adalah 5A, 10A, 15A, 17A, 18A, dan 19A). Cek kembali arus yang mengalir menggunakan tang amper agar lebih akurat.
8. Setelah itu, tekan tombol ON pada daerah *low voltage*.
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 setelah itu ulangi langkah nomor 7 sampai 9.
 11. Mencatat temperatur ruangan dan temperatur kabel pada bagian konduktor dan isolasi kabel setiap 30 detik selama 10 menit di titik penekukan. Untuk tahapan ini besar arus yang diberikan adalah 5A, 10A, 15A, 17A, 18A, dan 19A.
 12. Apabila percobaan sudah selesai, matikan *current injector*, sumber tegangan AC 220 V, tang amper, dan *timer*.
3. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 90 derajat

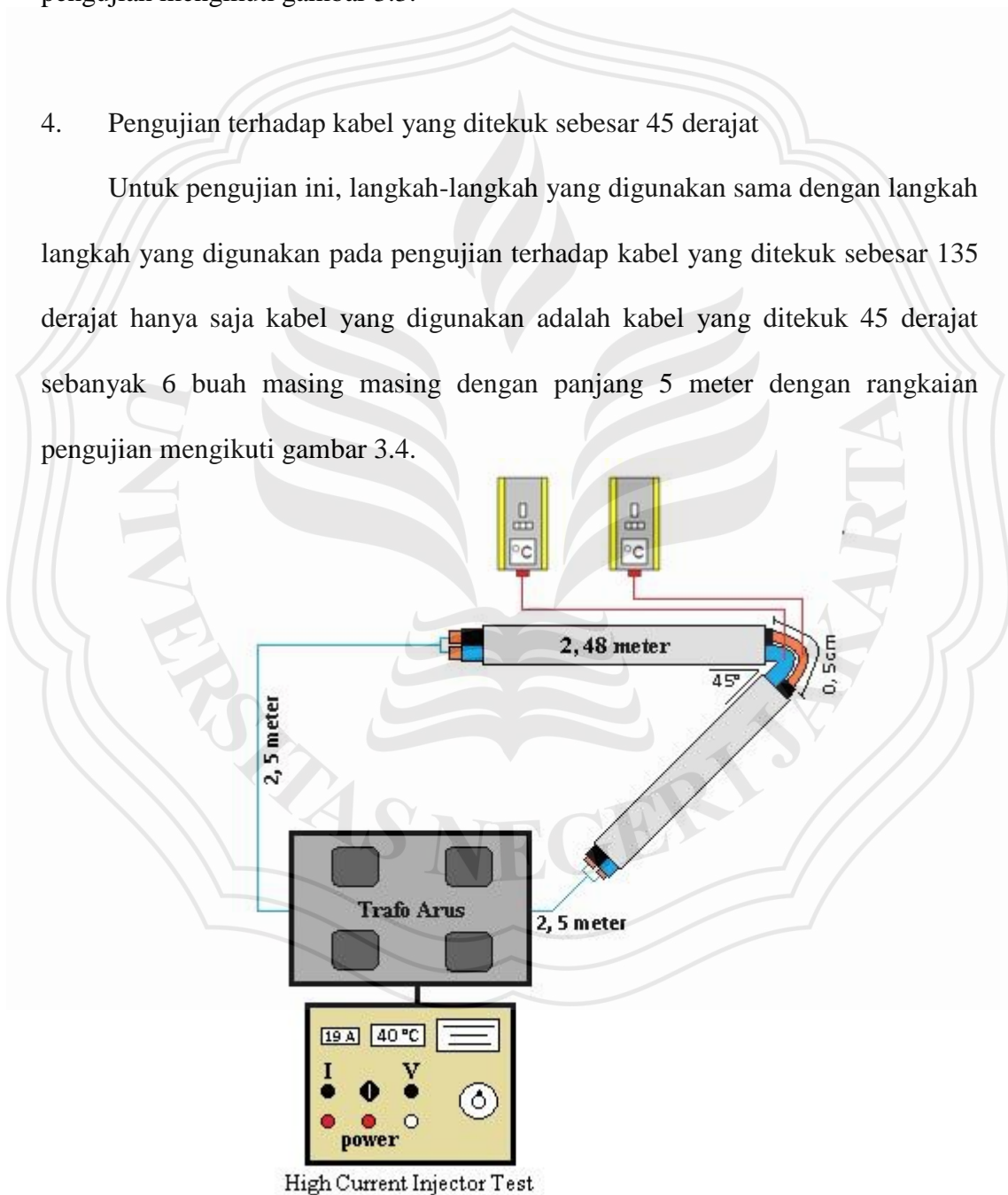


Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk 90 Derajat

Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama dengan langkah langkah yang digunakan pada pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat hanya saja kabel yang digunakan adalah kabel yang ditekuk 90 derajat sebanyak 6 buah masing masing dengan panjang 5 meter dengan rangkaian pengujian mengikuti gambar 3.3.

4. Pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 45 derajat

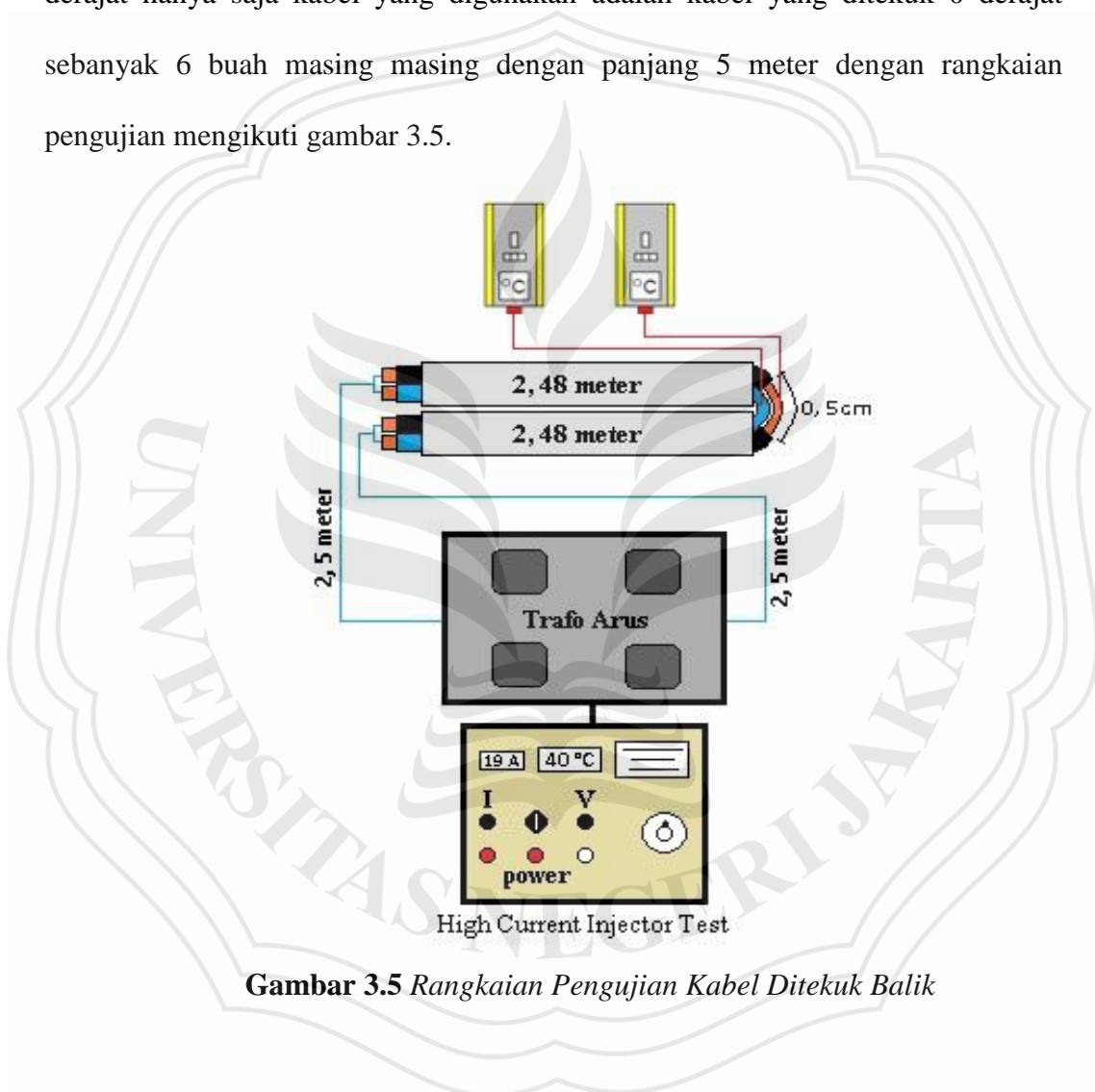
Untuk pengujian ini, langkah-langkah yang digunakan sama dengan langkah langkah yang digunakan pada pengujian terhadap kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat hanya saja kabel yang digunakan adalah kabel yang ditekuk 45 derajat sebanyak 6 buah masing masing dengan panjang 5 meter dengan rangkaian pengujian mengikuti gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk 45 Derajat

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 hanya saja kabel yang digunakan adalah kabel yang ditekuk 0 derajat sebanyak 6 buah masing masing dengan panjang 5 meter dengan rangkaian pengujian mengikuti gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Kabel Ditekuk Balik

3.5 Teknik Analisis Data

Untuk mendapatkan data yang objektif, aktual, akurat, serta dapat dipertanggung jawabkan di dalam menyusun data untuk skripsi ini, penulis akan menjelaskan bagaimana teknik – teknik pengumpulan data, dan sangatlah penting sebagai bahan analisa untuk menyelesaikan permasalahan yang dirumuskan. Data – data ini disusun secara sistematis dan juga sesuai dengan masalah peneliti, di dalam hal ini masalah yang berkaitan adalah: *Penekukan dan Besar Arus Terhadap Kenaikan Temperatur Kabel NYM 2 x 1,5 mm² Berstandar SNI 04-6629.4.*

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis data kualitatif dimana data-data yang diperoleh akan dibandingkan satu sama lain dan dijadikan pertimbangan dalam menentukan seberapa besar pengaruh yang terjadi pada setiap hasil pengukuran. Dengan menggunakan berbagai data tambahan maka akan dapat menggali lebih dalam melalui analisisnya.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali, yaitu pengujian terhadap kabel lurus, ditekuk 135 derajat sampai dengan kabel yang 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 konstan.

4.1 Data Hasil Pengujian

4.2.1 Data Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat



Gambar 4.1 *Sampel Kabel Lurus 180 Derajat*



Gambar 4.2 Proses Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat

Pengujian yang pertama dilakukan terhadap kabel lurus sebesar 180 derajat seperti gambar 4.1 dan diatur seperti gambar 4.2. Kemudian kabel dialiri arus, temperatur konduktor dan isolasinya dicatat setiap 30 detik selama 10 menit. Konduktor pada kabel mencapai temperatur yang konstan membutuhkan waktu sekitar 150 detik untuk nilai arus 5A sedangkan untuk isolasi kabel membutuhkan waktu 210 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 4.1 berikut ini:

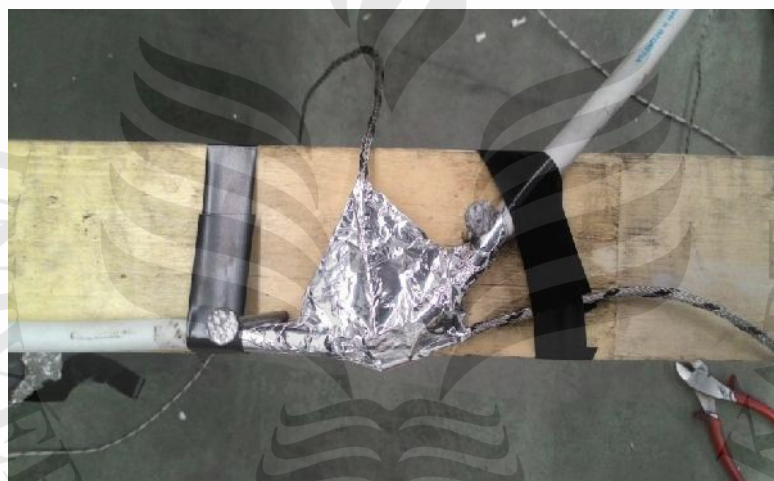
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat

Waktu (sekon)	Arus (5A)		Arus (10A)		Arus (15A)		Arus (17A)		Arus (18A)		Arus (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)
0	33,0	33,0	32,9	33,0	33,0	33,0	33,1	33,0	33,1	33,0	33,0	33,0
30	33,3	33,0	33,4	33,0	33,7	33,3	33,7	33,4	33,9	33,5	34,1	33,5
60	33,6	33,0	33,8	33,1	34,3	33,5	34,5	33,9	34,9	34,0	35,3	34,2
90	33,8	33,1	34,1	33,3	35,1	33,8	35,2	34,3	35,8	34,6	36,1	34,9
120	34,0	33,1	34,7	33,4	35,7	34,1	35,9	35,2	36,0	35,3	37,6	35,5
150	34,1	33,1	35,2	33,5	36,6	34,5	36,9	35,9	37,0	35,9	39,0	36,0
180	34,1	33,1	35,5	33,6	37,3	35,0	37,8	36,6	37,7	36,8	40,5	37,0
210	34,0	33,2	35,8	33,8	37,5	35,5	38,3	37,1	38,9	37,6	42,0	37,7
240	34,1	33,2	35,8	33,9	37,8	36,0	38,8	37,5	39,7	38,0	43,6	38,0
270	34,1	33,2	35,9	34,0	37,5	36,4	39,0	37,5	40,6	38,0	44,4	38,2
300	34,1	33,2	35,9	34,1	37,4	36,7	39,3	37,5	41,5	38,0	44,9	38,5
330	34,0	33,2	35,8	34,1	37,4	36,7	39,4	37,6	41,5	38,2	45,1	38,7
360	34,1	33,2	35,8	34,1	37,5	36,7	39,4	37,6	41,5	38,2	45,1	38,7
390	34,1	33,3	35,8	34,0	37,4	36,7	39,4	37,7	41,0	38,2	45,0	38,7
420	34,1	33,2	35,8	34,1	37,5	36,6	39,4	37,7	40,5	38,2	45,1	38,7
450	34,2	33,2	35,7	34,1	37,5	36,7	39,4	37,6	41,5	38,2	45,1	38,7
480	34,1	33,2	35,8	34,2	37,5	36,7	40,0	37,6	41,5	38,2	45,1	38,7
510	34,1	33,2	35,8	34,1	37,5	36,7	39,4	37,6	41,5	38,2	45,0	38,7
540	34,1	33,2	35,8	34,1	37,7	36,6	39,4	37,6	41,5	38,2	45,1	38,7
570	34,1	33,2	35,8	34,1	37,4	36,6	39,4	37,6	41,5	38,2	45,1	38,8
600	34,1	33,2	35,8	34,1	37,5	36,7	39,5	37,6	41,5	38,2	45,1	38,7

4.2.2 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 135 Derajat



Gambar 4.3 Sampel kabel ditekuk 135 derajat



Gambar 4.4 Proses pengujian kabel ditekuk 135 derajat

Pengujian yang kedua dilakukan dengan menekuk kabel sebesar 135 derajat seperti gambar 4.3 dan diatur seperti gambar 4.4. Kemudian kabel dialiri arus, temperatur konduktor dan isolasinya dicatat setiap 30 detik selama 10 menit. Konduktor pada kabel mencapai temperatur yang konstan membutuhkan waktu sekitar 150 detik untuk nilai arus 5A sedangkan untuk isolasi kabel membutuhkan waktu 210 detik. Waktu yang dibutuhkan kabel untuk mencapai nilai temperatur konstantanya semakin lama ketika arus yang mengalir semakin tinggi. Data pengujian yang didapat ditunjukkan oleh tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 135 Derajat

Waktu (sekon)	Arus (5A)		Arus (10A)		Arus (15A)		Arus (17A)		Arus (18A)		Arus (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)
0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	32,9	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
30	33,3	33,0	33,5	33,0	33,7	33,1	33,8	33,2	33,9	33,2	34,0	33,3
60	33,6	33,1	33,9	33,1	34,2	33,3	34,6	33,6	34,8	33,8	35,0	33,9
90	33,9	33,1	34,5	33,3	34,9	33,5	35,4	34,0	35,9	34,4	36,0	34,6
120	34,0	33,2	35,0	33,4	35,7	33,8	36,3	34,4	37,0	35,0	37,2	35,3
150	34,1	33,1	35,4	33,6	36,6	34,6	37,1	34,8	38,1	35,6	38,4	36,0
180	34,4	33,2	35,8	33,8	37,5	35,4	37,8	35,1	39,0	36,2	39,5	36,7
210	34,1	33,3	36,0	33,9	38,1	36,1	38,3	35,7	40,7	37,1	40,5	37,3
240	34,1	33,3	36,1	33,9	38,6	36,5	38,5	36,4	41,3	37,6	41,2	38,0
270	34,4	33,3	36,0	34,1	38,4	36,8	38,7	37,0	42,0	38,0	41,6	38,3
300	34,1	33,2	36,1	34,0	38,4	36,9	38,9	37,5	42,5	38,3	47,1	38,6
330	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	36,9	38,9	37,8	42,3	38,4	47,4	38,7
360	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	36,7	38,9	37,7	42,5	38,4	47,1	38,9
390	34,2	33,3	36,0	34,1	38,4	36,7	38,9	37,8	42,5	38,4	47,1	38,9
420	34,1	33,3	36,0	34,2	38,4	36,9	38,9	37,7	42,5	38,4	47,1	38,9
450	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	36,9	38,9	37,8	42,5	38,4	47,1	38,9
480	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	36,9	38,9	37,8	42,5	38,4	47,1	38,9
510	34,1	33,3	36,1	34,1	38,3	36,9	39,1	37,8	42,1	38,4	47,1	38,9
540	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	36,9	38,9	37,8	42,5	38,4	47,0	38,9
570	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	37,0	38,9	37,8	42,5	38,4	47,1	38,9
600	34,1	33,3	36,0	34,1	38,4	36,9	38,9	37,8	42,5	38,5	47,1	38,9

4.2.3 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 90 Derajat



Gambar 4.5 Sampel kabel ditekuk 90 derajat



Gambar 4.6 Proses pengujian kabel ditekuk 90 derajat

Pengujian yang ketiga yaitu dengan menekuk kabel sebesar 90 derajat seperti gambar 4.5 dan diatur seperti gambar 4.6. Tahap pengujiannya sama dengan pengujian yang pertama dan kedua yaitu dengan mengalirkan arus yang bervariasi pada kabel dan mencatat temperatur yang terjadi pada kabel baik pada penghantar maupun pada isolasinya setiap 30 detik. Waktu yang dibutuhkan kabel untuk mencapai temperature yang konstan saat kabel dialiri arus sebesar 5A adalah sekitar 150 detik untuk konduktor dan 210 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 pada tabel 4.3 berikut :

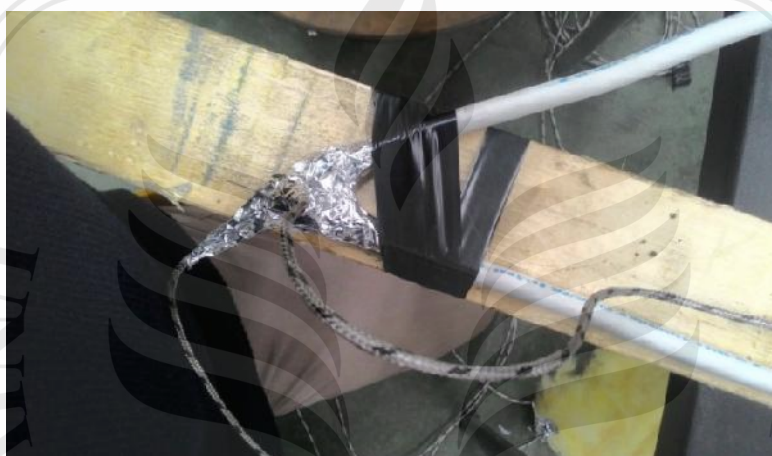
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 90 Derajat

Waktu (sekon)	Arus (5A)		Arus (10A)		Arus (15A)		Arus (17A)		Arus (18A)		Arus (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)
0	33,0	33,1	33,0	33,0	33,1	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,1	33,0
30	33,4	33,0	33,3	33,0	33,9	33,3	33,9	33,4	34,1	33,5	34,2	33,5
60	33,8	33,1	33,8	33,0	34,8	33,5	35,0	33,8	35,2	34,0	35,4	33,9
90	33,9	33,1	34,3	33,2	35,7	34,0	36,1	34,2	36,3	34,5	36,4	34,5
120	34,3	33,2	34,7	33,4	36,7	34,6	37,1	34,7	37,4	35,0	37,4	35,1
150	34,4	33,3	35,2	33,5	37,7	35,2	38,2	35,2	38,3	35,4	39,3	35,5
180	34,4	33,4	35,7	33,8	38,5	35,9	39,1	35,8	40,3	35,9	41,1	36,1
210	34,4	33,5	36,0	34,0	38,8	36,4	39,5	36,5	42,2	36,6	44,9	36,8
240	34,4	33,5	36,3	34,3	38,8	36,6	39,9	36,9	43,0	37,2	47,7	37,4
270	34,6	33,8	36,3	34,5	38,8	36,9	39,9	37,4	44,4	37,8	49,4	38,0
300	34,5	33,5	36,3	34,5	38,8	37,0	40,0	37,8	45,0	38,2	50,8	38,4
330	34,4	33,5	36,4	34,5	38,8	37,0	40,1	37,9	45,8	38,6	52,5	38,8
360	34,4	33,5	36,3	34,5	38,8	37,0	40,1	38,0	45,8	38,5	53,2	39,0
390	34,3	33,5	36,3	34,4	38,8	37,0	40,1	38,0	45,3	38,7	53,0	39,0
420	34,4	33,5	36,3	34,4	38,8	37,0	40,1	38,0	45,8	38,7	53,2	39,1
450	34,4	33,5	36,3	34,5	38,5	37,0	40,1	38,2	45,8	38,7	53,2	39,1
480	34,4	33,5	36,5	34,5	38,6	37,0	40,1	38,1	45,8	38,7	53,2	39,1
510	34,4	33,6	36,3	34,4	38,8	37,1	40,1	38,0	45,8	38,7	53,2	39,1
540	34,4	33,5	36,3	34,5	38,8	37,0	40,1	38,0	45,8	38,7	53,2	39,1
570	34,4	33,5	36,3	34,5	38,8	37,0	40,1	38,0	45,8	38,7	53,2	39,0
600	34,4	33,5	36,3	34,5	38,8	37,1	40,1	38,0	45,8	38,7	53,2	39,1

4.2.4 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk 45 Derajat



Gambar 4.7 Sampel kabel ditekuk 45 derajat



Gambar 4.8 Proses pengujian kabel ditekuk 45 derajat

Pengujian yang keempat yaitu pengujian kabel yang ditekuk sebesar 45 derajat seperti gambar 4.7 dan diatur seperti gambar 4.8. 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. Waktu yang dibutuhkan oleh kabel untuk mencapai temperatur yang konstan ketika arus yang dialirkan sebesar 5A yaitu sekitar 150 detik untuk konduktor dan 210 detik untuk isolasi kabel. Waktu yang diperlukan kabel untuk mencapai keadaan temperature konstan semakin lama ketika arus yang mengalir pada kabel semakin besar. Dari pengujian didapatkan data pada tabel 4.4 di bawah ini:

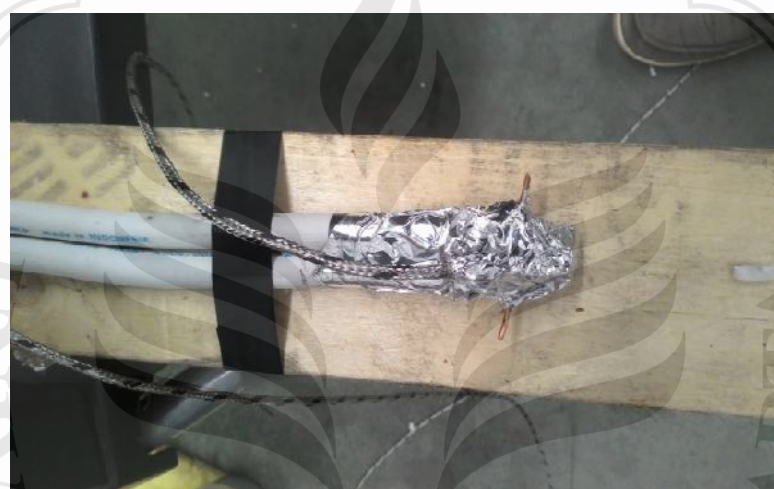
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 45 Derajat

Waktu (sekon)	Arus (5A)		Arus (10A)		Arus (15A)		Arus (17A)		Arus (18A)		Arus (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)
0	33,0	32,9	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
30	33,3	33,0	33,5	33,1	33,9	33,4	34,0	33,6	34,4	33,6	34,5	33,7
60	33,8	33,0	34,0	33,1	34,9	33,8	35,1	34,1	35,9	34,2	36,0	34,4
90	34,3	33,2	34,6	33,2	35,7	34,2	36,2	34,6	37,2	34,7	40,4	35,2
120	34,6	33,4	35,2	33,5	36,7	34,6	37,3	35,0	38,4	35,2	44,4	35,8
150	34,8	33,5	36,0	33,7	37,7	35,0	38,1	35,4	39,5	35,6	48,3	36,4
180	34,8	33,5	36,5	33,9	38,4	35,5	39,0	35,8	40,7	36,0	49,9	37,0
210	34,8	33,6	36,8	34,2	39,1	36,0	40,2	36,1	41,6	36,5	51,6	37,5
240	34,7	33,6	37,2	34,5	39,8	36,4	41,9	36,5	45,2	37,1	53,1	37,9
270	34,8	33,6	37,2	34,6	40,2	36,8	42,2	37,1	47,6	37,6	55,0	38,2
300	34,8	33,6	37,2	34,8	40,0	37,0	43,5	37,5	49,2	38,2	56,0	38,5
330	34,8	33,6	37,2	34,8	40,2	37,2	43,2	37,8	49,6	38,5	57,4	38,9
360	34,8	33,6	36,9	34,6	40,2	37,2	43,2	38,0	49,7	38,8	58,7	39,2
390	34,8	33,5	37,2	34,8	40,2	37,2	43,2	38,3	49,6	39,0	59,0	39,5
420	35,0	33,6	37,2	34,8	40,2	37,2	43,2	38,3	49,6	39,2	59,0	39,7
450	34,9	33,5	37,2	34,8	39,9	37,2	43,2	38,3	49,6	39,2	59,0	40,0
480	34,8	33,6	37,2	34,8	40,2	37,2	43,2	38,3	49,6	39,1	59,0	39,9
510	34,8	33,6	37,2	34,8	40,2	37,2	43,2	38,3	49,6	39,2	59,0	40,0
540	34,8	33,6	37,2	34,7	40,2	37,2	43,4	38,3	49,6	39,1	59,0	40,0
570	34,8	33,6	37,2	34,8	40,2	37,2	43,2	38,3	49,6	39,2	59,0	40,0
600	34,8	33,6	37,3	34,8	40,2	37,1	43,2	38,3	49,6	39,2	59,0	40,0

4.2.5 Data Pengujian Kabel yang Ditekuk Balik 0 Derajat



Gambar 4.9 *Sampel kabel ditekuk balik*



Gambar 4.10 *Proses pengujian kabel ditekuk balik*

Pada pengujian terakhir kabel ditekuk sampai konduktor dari kabel tersebut berhimpit atau bisa dikatakan bahwa kabel ditekuk balik seperti gambar 4.9 dan dikondisikan pada gambar 4.10. 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 temperature konstannya pada waktu sekitar 180 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 pada tabel 4.5 di bawah ini :

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kabel yang Ditekuk 0 Derajat

Waktu (sekon)	Arus (5A)		Arus (10A)		Arus (15A)		Arus (17A)		Arus (18A)		Arus (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)
0	33,0	33,1	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,1	33,0	33,0
30	33,4	33,1	33,6	33,3	35,0	33,6	35,0	33,6	36,5	33,7	36,5	33,7
60	33,9	33,3	34,2	33,4	37,1	34,2	37,2	34,3	39,1	34,3	39,2	34,4
90	34,3	33,4	35,6	33,6	39,1	34,9	39,5	35,0	42,4	35,1	42,5	35,2
120	34,7	33,5	36,6	33,8	42,1	35,5	42,7	35,7	45,6	35,8	45,7	36,0
150	34,7	33,6	37,9	34,0	45,0	36,0	45,7	36,2	47,6	36,5	48,9	36,8
180	34,8	33,7	39,1	34,3	48,5	36,4	48,8	36,7	49,9	37,1	50,0	37,7
210	34,8	33,7	40,0	34,5	51,3	36,8	51,6	37,2	51,7	37,7	52,9	38,5
240	34,8	33,8	40,9	34,8	52,5	37,0	52,2	37,6	53,3	38,2	54,7	39,1
270	34,8	33,8	40,9	35,1	53,0	37,2	53,7	37,9	55,8	38,7	56,4	39,6
300	34,8	33,8	40,5	35,3	53,0	37,3	54,1	38,2	56,1	39,0	58,8	40,1
330	34,8	33,8	40,1	35,2	53,0	37,6	56,5	38,5	57,5	39,2	60,2	40,6
360	34,8	33,8	40,9	35,3	53,0	37,6	57,5	38,7	58,9	39,5	61,6	41,0
390	34,8	33,9	40,9	35,2	53,0	37,6	57,5	38,8	60,1	39,8	62,9	41,2
420	34,8	33,8	40,9	35,2	53,0	37,6	57,9	38,9	60,1	40,0	63,2	41,5
450	34,8	33,8	41,0	35,2	53,0	37,6	57,5	38,9	60,1	40,0	64,0	41,6
480	34,8	33,8	40,9	35,2	53,0	37,6	57,5	38,9	60,1	40,1	64,0	41,7
510	34,8	33,8	40,9	35,2	53,0	37,6	57,6	38,9	60,1	40,1	64,0	41,8
540	34,8	33,8	40,9	35,2	53,0	37,6	57,5	38,9	60,1	40,1	64,0	41,9
570	35,0	33,8	40,9	35,2	53,0	37,8	57,5	38,9	60,1	40,1	64,0	41,9
600	34,8	33,8	40,9	35,2	53,0	37,6	57,5	38,9	60,1	40,1	64,0	41,9

4.2 Pembahasan

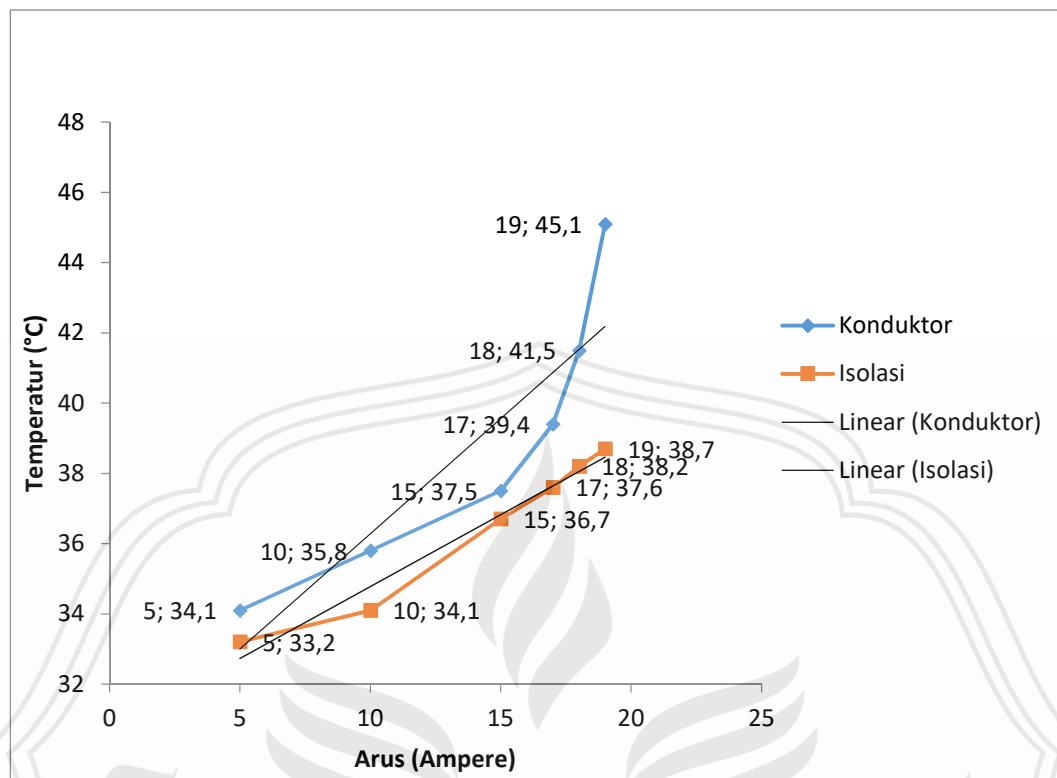
Dari data yang dihasilkan dari pengujian, dapat kita lihat pengaruh besar sudut penekukan terhadap temperatur kabel yang dihasilkan. Jika kita buat grafik dari data yang didapat maka akan diperoleh grafik sebagai berikut:

4.2.1 Grafik Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat

Pengujian pertama adalah mengalirkan arus pada kabel lurus 180 derajat. Pertama adalah dengan mengalirkan arus sebesar 5A pada kabel, temperatur kabel terus meningkat sampai mencapai kondisi konstan pada nilai 34,1 °C di konduktor dan 33,2 °C di isolasi kabel. Pada nilai arus 10A kabel mencapai temperatur konstan pada temperatur 35,8 °C di konduktor dan 34,1 °C di isolasi kabel. Nilai temperatur tersebut kembali meningkat ketika arus yang dialirkan dinaikkan menjadi 15A, kabel mencapai temperatur konstan pada nilai temperatur sebesar 37,5 °C di konduktor dan 36,7 °C di isolasi.

Nilai temperatur konstan pada konduktor berubah menjadi 39,4 °C dan di isolasi bertambah menjadi 37,6 °C ketika arus yang dialirkan pada kabel ditingkatkan sampai nilai 17A. Pada nilai arus 18A kabel mencapai temperatur konstan pada temperatur 41,5 °C di konduktor dan 38,2 °C di isolasi kabel. Temperatur konstan pada konduktor meningkat menjadi 45,1 °C dan pada isolasi meningkat menjadi 38,7 °C 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 lurus 180 derajat dapat dilihat pada gambar 4.11 di bawah ini:



Gambar 4.11 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Lurus 180 Derajat

4.2.2 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 135 Derajat

Dari pengujian yang dilakukan pada kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat ini, data temperatur yang didapatkan berubah-ubah sampai didapatkan temperature konstan. Ketika kabel dialiri arus 5A data temperatur untuk konduktor terus naik dari temperatur 33,0 °C sampai temperatur 34,1 °C. Untuk temperatur isolasinya juga data yang didapatkan juga nilainya terus naik dari mulai 33,0 °C hingga mencapai 33,3 °C. Pada keadaan inilah temperatur dianggap sudah mencapai kondisinya 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 33,0 °C dan mencapai temperatur konstan pada 36,0 °C. Temperatur pada isolasinya juga mengalami perubahan dari 33,0 °C sampai 34,1 °C. Pada keadaan tersebut baik temperatur konduktor maupun isolasi telah berada pada keadaan yang konstan.

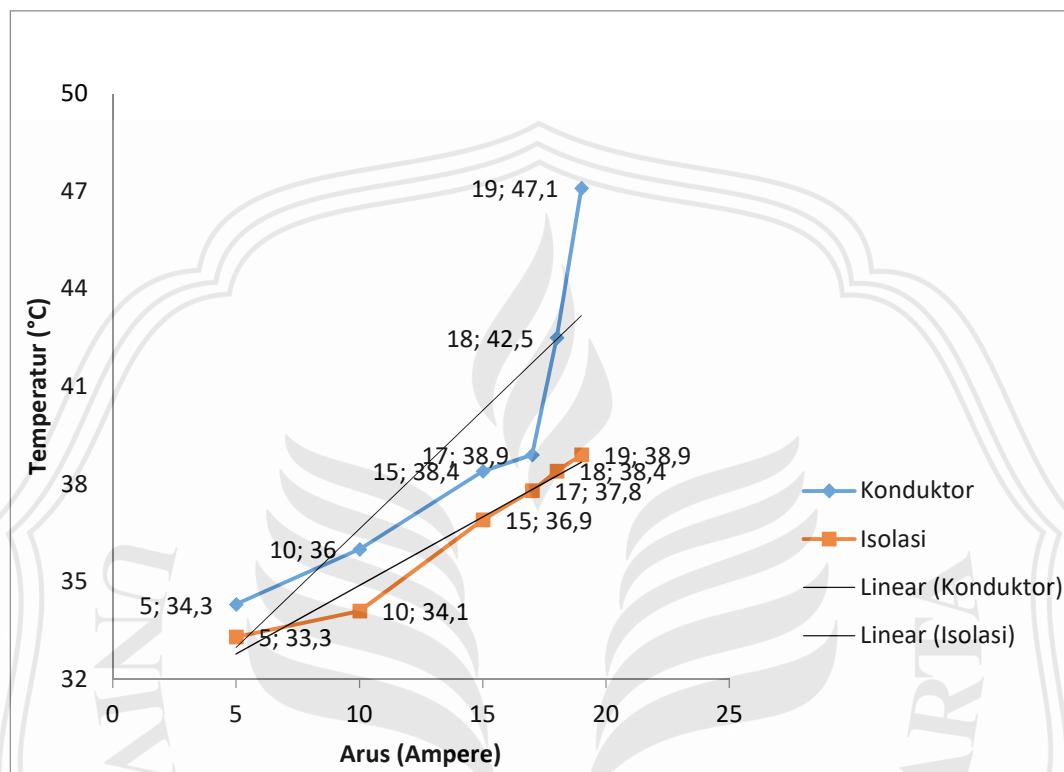
Pengujian berikutnya adalah dengan mengalirkan arus sebesar 15A pada kabel. Data yang didapat menunjukkan peningkatan besarnya temperature dibandingkan dengan saat kabel dialiri arus 5A dan 10A. Penghantar mencapai kondisi konstan pada temperatur 38,4 °C dan isolasi mencapai kondisi konstan pada temperatur 36,9 °C. Baik pada konduktor maupun isolasi kabel temperatur yang didapatkan ada yang nilainya melebihi dari kondisi konstannya namun itu hanya sementara.

Pada pengujian dengan mengalirkan arus sebesar 17A pada kabel yang ditekuk sebesar 135 derajat didapatkan temperatur konstan kabel yaitu 38,9 °C untuk konduktor dan 37,8 °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 42,5 °C untuk konduktor dan 38,4 °C 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 47,1 °C pada konduktor dan 38,9 °C 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 gambar 4.12 adalah grafik yang didapat dari data hasil pengujian:



Gambar 4.12 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk 135 Derajat

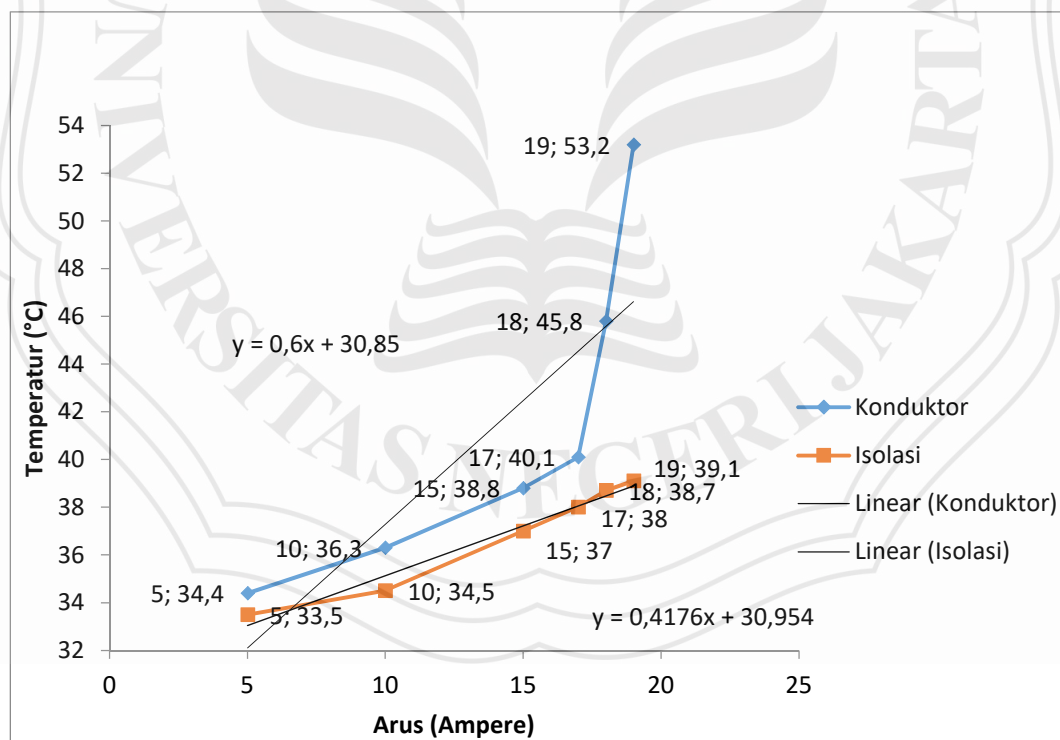
4.2.3 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 90 Derajat

Pada pengujian yang ketiga 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 34,4 °C di konduktor dan 33,5 °C di isolasi kabel. Nilai temperatur konstan ini meningkat ketika arus yang dialirkan pada kabel dinaikkan menjadi 10A. Temperatur yang terjadi adalah 36,3 °C untuk konduktor dan 34,5 °C untuk isolasi kabel. Begitu juga ketika nilai arus kembali dinaikkan menjadi 15A,

temperatur kabel konstan pada nilai 38,8 °C pada konduktor dan 37,0 °C pada isolasi kabel.

Pada saat arus yang dialirkan pada kabel 17A, temperatur konstan pada kabel bernilai 40,1 °C di konduktor dan 38,0 °C di isolasi kabel. Temperatur konstan pada kabel pada saat dialirkan arus 18A meningkat menjadi 45,8 °C di konduktor dan 38,7 °C di isolasi kabel. Pada saat kabel dialiri arus yang nilainya sama dengan nilai KHA kabel temperatur kabel konstan pada nilai 53,2 °C di konduktor dan 39,1 °C di isolasi kabel.

Berikut gambar 4.13 adalah grafik hubungan antara besar arus dan temperatur dari data hasil pengujian kabel yang dibengkokkan dengan sudut sebesar 90 derajat:

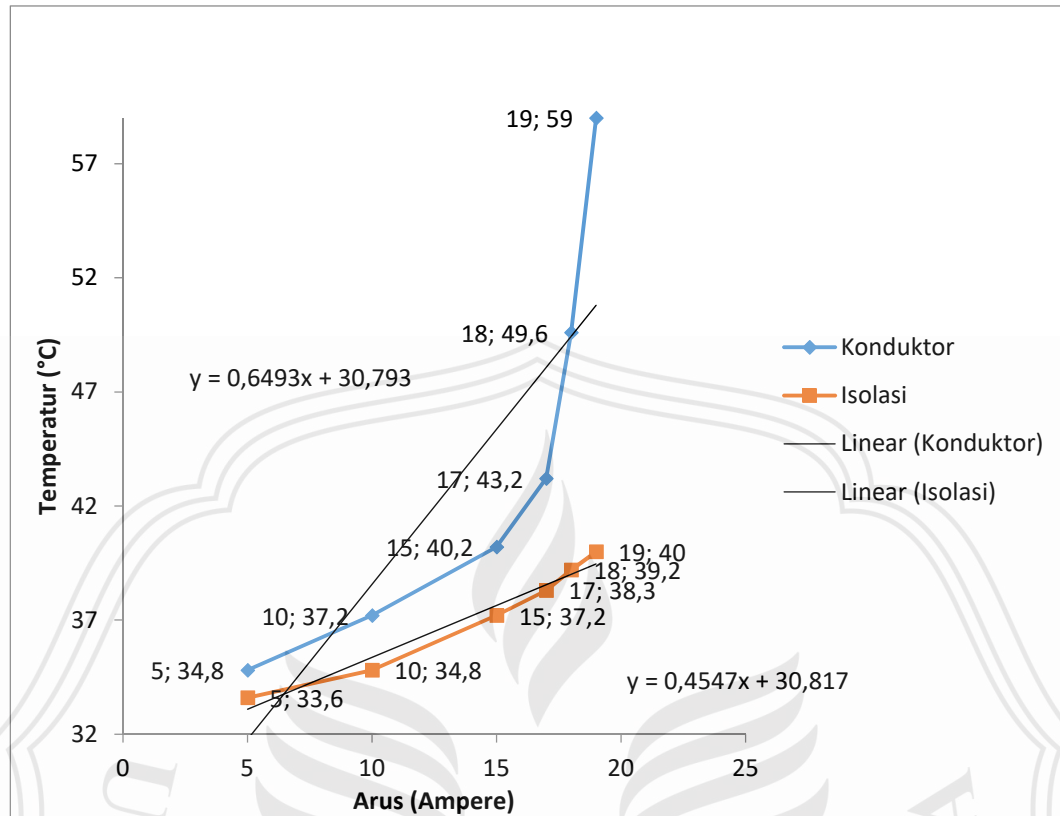


Gambar 4.13 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk 90 Derajat

4.2.4 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk 45 Derajat

Pengujian yang keempat adalah dengan menekuk kabel sebesar 45 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 34,8 °C untuk konduktor dan 33,6 °C untuk isolasi kabel. Ketika dialiri arus sebesar 10A nilai temperatur konstan kabel meningkat menjadi 37,2 °C untuk konduktor dan 34,8 °C untuk isolasi kabel. Nilai temperatur konstan kabel ini kembali meningkat menjadi 40,2 °C untuk konduktor dan 37,2 °C untuk isolasi kabel ketika kabel dialiri arus yang besarnya 15A. Kemudian kabel dialiri arus sebesar 17A dan temperatur konstan kabel adalah 43,2 °C untuk konduktor dan 38,3 °C untuk isolasi kabel. Pada saat kabel dialiri arus sebesar 18A nilai temperatur konstan dari konduktor kabel adalah 49,6 °C dan temperatur konstan isolasinya adalah 39,2 °C. Temperatur konstan kabel saat kabel dialiri arus 19A atau sama dengan nilai KHA kabel temperatur konstannya mencapai 59,0 °C untuk konduktor dan 40,0 °C untuk isolasi.

Gambar 4.14 di bawah ini adalah grafik hubungan antara besar arus dengan temperatur konstan kabel dari data hasil pengujian kabel yang ditekuk sebesar 45 derajat:



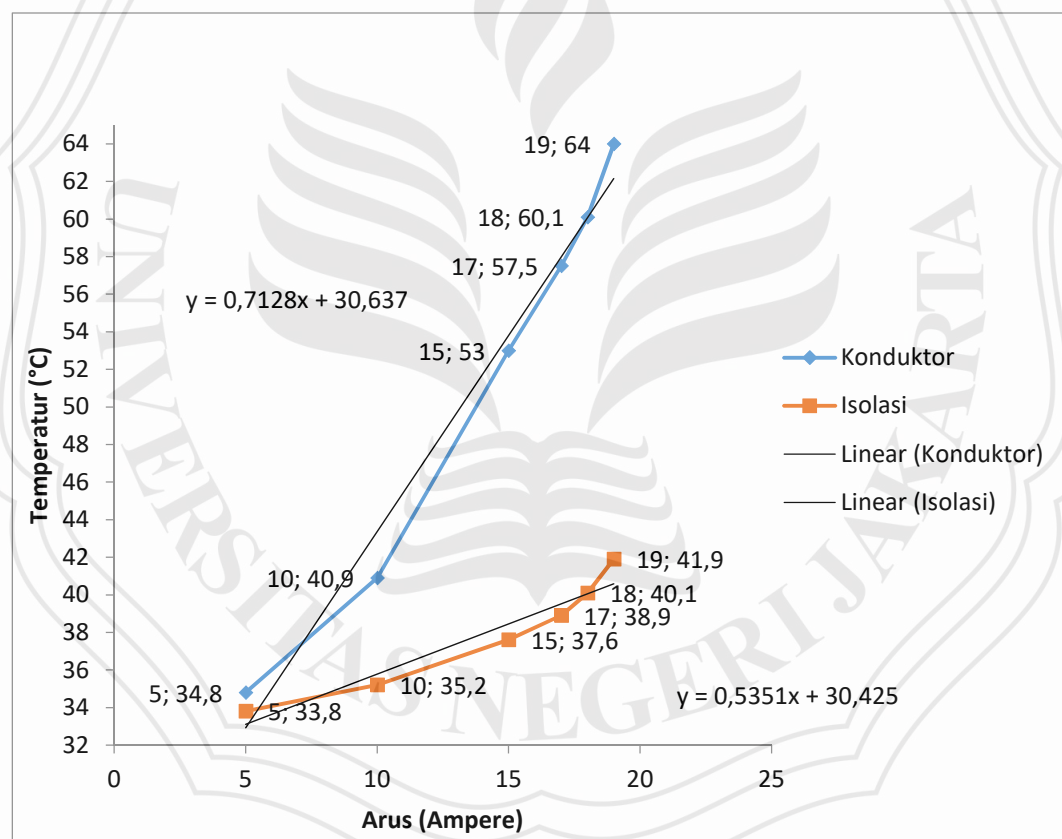
Gambar 4.14 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk 45 Derajat

4.2.5 Grafik Pengujian Kabel yang Ditekuk Balik 0 Derajat

Pengujian terakhir adalah dengan mengalirkan arus pada kabel yang ditekuk sampai keadaan tekuk balik. Pertama adalah dengan mengalirkan arus sebesar 5A pada kabel, temperatur konstan yang didapat adalah 34,8 °C untuk konduktor dan 33,8 °C untuk isolasi kabel. Selanjutnya arus yang dialirkan nilainya dinaikkan menjadi 10A dan temperatur konstannya pun berubah menjadi 40,9 °C pada konduktor dan 35,2 °C pada isolasi kabel. Nilai temperatur konstan ini berubah lagi ketika arus yang dialirkan pada kabel dinaikkan nilainya menjadi 15A, nilai temperatur konstannya menjadi 53,0 °C pada konduktor dan 37,6 °C pada isolasi kabel. Ketika arus yang dialirkan pada kabel bernilai 17A, temperatur konstan

pada konduktor adalah 57,5 °C dan temperatur konstan pada isolasi kabel adalah 38,9 °C. Nilai temperatur konstan kabel naik menjadi 60,1 °C pada konduktor dan 40,1 °C pada isolasi kabel ketika arus yang mengalir pada kabel bernilai 18A. Saat kabel dialiri arus sebesar 19A temperatur kabel meningkat kembali menjadi 64,0 °C pada konduktor dan 41,9 °C pada isolasi kabel.

Gambar 4.15 di bawah ini adalah grafik hubungan antara besarnya arus dengan temperatur konstan kabel yang didapat dari hasil pengujian yang dilakukan:



Gambar 4.15 Grafik Data Hasil Pengujian Kabel Ditekuk Balik 0 Derajat

4.3 Analisis Data

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 NYM 2 x 1.5 mm² akan mempengaruhi nilai temperatur konstan pada kabel. Pada konduktor maupun pada isolasi kabel NYM 2 x 1.5 mm² terlihat bahwa temperatur semakin tinggi ketika arus yang dialirkan pada kabel diperbesar nilainya. Dari data pada pengujian dengan mengalirkan arus pada kabel yang ditebuk sebesar 135 derajat temperatur konstan yang terjadi pada konduktor bergerak naik dari nilai 34,1 °C ketika kabel dialiri arus sebesar 5A sampai nilai 47,1 °C ketika kabel dialiri arus sebesar 19A, sedangkan untuk temperature konstan pada isolasi kabel bergerak naik dari nilai 33,3 °C ketika kabel dialiri arus 5A menjadi 38,9 °C 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 NYM 2 x 1.5 mm² baik pada konduktor maupun pada isolasi kabel merupakan akibat dari adanya rugi-rugi yang terjadi pada kabel. Rugi-rugi yang terjadi pada kabel NYM 2 x 1.5 mm² salah satunya adalah rugi-rugi pada konduktor yang berjenis tembaga. Rugi-rugi ini berbanding lurus dengan kuadrat nilai dari arus yang mengalir pada kabel NYM 2 x 1.5 mm² saat dilakukan pengujian. Dilihat dari hubungan tersebut karena 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 pengujian ini energi yang berlebih 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 NYM 2 x 1.5 mm². 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.

Kawat tembaga yang terletak dibawah lapisan isolasi memiliki suhu yang lebih tinggi sedangkan lapisan isolasi memiliki suhu yang lebih rendah. Karena adanya perbedaan suhu antara kawat penghantar dengan isolasi yang berada di atasnya, kalor mengalir dari kawat penghantar yang bersuhu tinggi menuju lapisan isolasi yang bersuhu rendah. Kabel yang dilewati kalor memiliki luas penampang (A) dan panjang (l).

Berdasarkan hasil pengujian kabel NYM 2 x 1.5 mm², 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. Nilai dari kecepatan laju aliran kalor pada kabel NYM 2 x 1.5 mm² dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah konduktivitas termal benda. Penghantar yang memiliki konduktivitas termal (k) besar merupakan penghantar kalor yang baik (konduktor termal yang baik). Sebaliknya, penghantar yang memiliki konduktivitas termal yang kecil merupakan penghantar kalor yang buruk (konduktor termal

yang buruk). Karena tembaga dalam kabel NYM 2 x 1.5 mm² memiliki konduktivitas termal yang besar maka tembaga akan dengan cepat mengalirkan kalor yang dia miliki, kalor tersebut mengalir ke tempat yang suhunya lebih rendah dari suhu konduktor yaitu isolasi kabel NYM 2 x 1.5 mm². Isolasi kabel memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah atau dengan kata lain resistansi termalnya sangat besar sehingga isolasi sangat lambat dalam mengalirkan kalor.

Dengan lambatnya aliran kalor yang terjadi menyebabkan suhu yang ada di luar permukaan isolasi lebih rendah daripada suhu yang ada pada konduktor kabel NYM 2 x 1.5 mm².

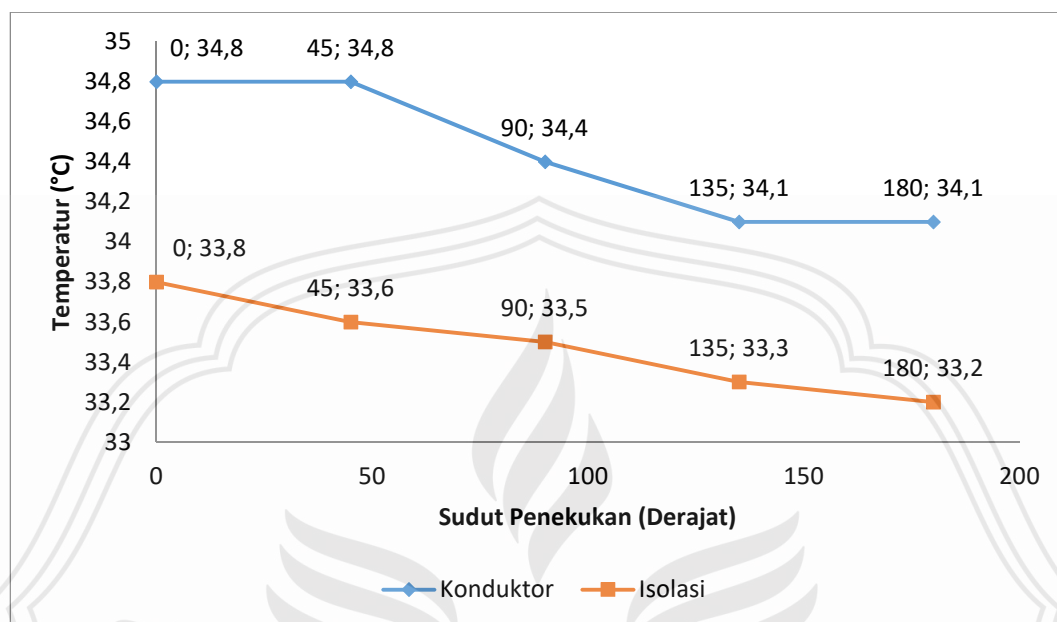
Dari data-data pengujian yang lain pun didapatkan hal yang sama dimana nilai dari temperatur konstan konduktor lebih tinggi dibandingkan dengan nilai temperatur konstan isolasi kabel NYM 2 x 1.5 mm². Hal ini sesuai dengan teori yang ada.

4.3.2 Analisis Pengaruh Besar Sudut Penekukan Kabel Terhadap Temperatur Konstan

Jika dibandingkan antara data yang didapat dari pengujian pertama ketika kabel belum ditekuk atau 180 derajat dengan data hasil pengujian yang lainnya yaitu ketika kabel ditekuk dengan sudut yang lebih kecil dari 180 derajat, terlihat jelas bahwa besar sudut penekukan pun mempengaruhi besarnya nilai dari temperature konstan kabel yang terjadi.

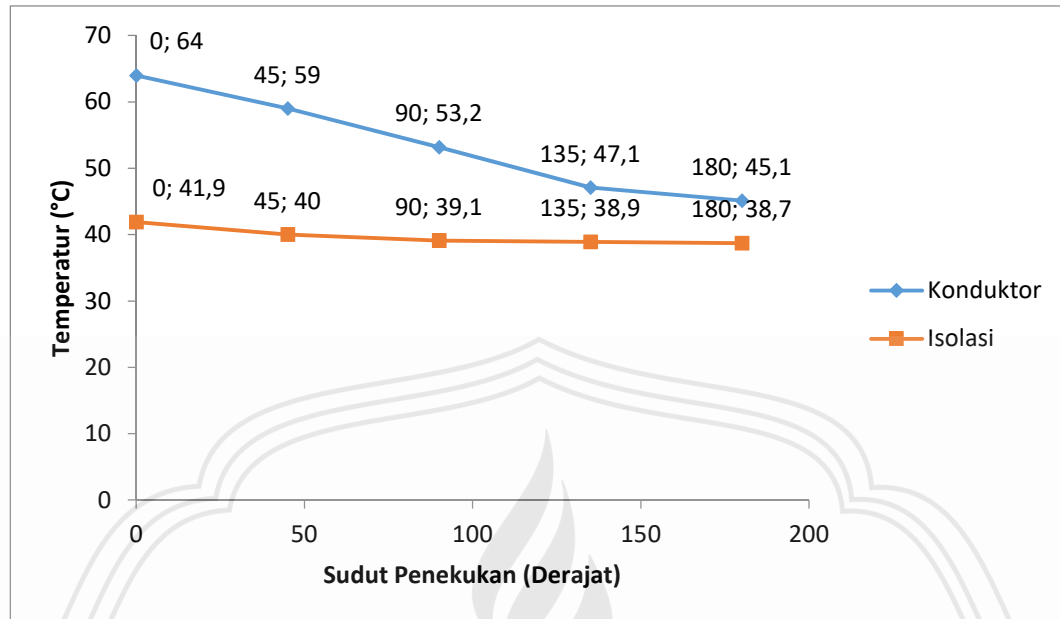
Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sudut penekukan berbanding terbalik dengan nilai temperatur konstan dari kabel. Semakin kecil sudut penekukan (semakin lancip sudutnya) pada kabel akan menyebabkan

temperatur konstan kabel akan semakin tinggi. Hal ini diperlihatkan oleh grafik yang didapatkan dari hasil percobaan seperti gambar 4.16 di bawah ini:



Gambar 4.16 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 0,8 °C untuk konduktor dan 0,5 °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:



Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Sudut Penekukan Terhadap Temperatur Pada Arus 19A

Dari gambar 4.17 di atas terlihat bahwa perbedaan temperatur yang terjadi antara kabel yang ditekuk 135 derajat dengan kabel yang ditekuk balik adalah 16,9 °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 NYM 2 x 1.5 mm² baik pada konduktor maupun isolasi dari kabel tersebut. Setiap substance kelistrikan 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 yang mengalir pada kabel NYM 2 x 1.5 mm².

Elektron dan proton pada atom dapat diibaratkan dengan sistem tata surya kita, dimana proton dimisalkan sebagai matahari yang dikelilingi oleh planet-planet berupa elektron.

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. Arah dari pergerakan elektron bebas ini random. Ketika terjadi perbedaan potensial (muatan) antara ujung yang satu dengan ujung yang lainnya pada suatu material dalam pembahasan ini adalah konduktor tembaga, maka akan terjadi pergerakan elektron dari ujung yang memiliki jumlah elektron yang lebih banyak menuju ujung satunya lagi yang memiliki jumlah elektron lebih sedikit.

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. Di sekitar kabel yang ditekuk, 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. Semakin cepatnya pergerakan elektron ini akan menyebabkan

tabrakan antara elektron dengan atom-atom penghantar yang akan semakin sering terjadi dan membuat penghantar 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 energi yang didapatkan elektron untuk bergerak akan semakin besar sehingga kecepatan elektron akan semakin bertambah. Dengan bertambahnya kecepatan elektron maka akan menyebabkan penghantar 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:

$$y_k = 0,7128 x_k + 30,637 \quad (4.1)$$

Dengan:

y_k = temperatur konduktor (°C)

x_k = besarnya arus yang mengalir pada konduktor (A)

Dari persamaan 4.1 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_k pada kabel yang ditebuk balik memiliki nilai paling besar yaitu 0,7128, sedangkan yang lain adalah 0,6493 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 45 derajat), 0,6 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 90 derajat), 0,5507 (untuk kabel yang ditebuk sebesar 135 derajat), dan 0,5128 (untuk kabel dalam keadaan normal). 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:

$$y_i = 0,5351 x_k + 30,425 \quad (4.2)$$

Dengan y_i adalah temperatur isolasi (°C) dan x_k adalah arus yang mengalir pada konduktor (A). Nilai dari koefisien x_k pada persamaan 4.2 adalah 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:

$$y_k = A.x_k + K \quad (4.3)$$

Selain dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir (x_k), nilai dari temperatur juga dipengaruhi oleh nilai dari A dan K . Semakin besar nilai dari K dan A maka nilai dari temperatur yang terjadi akan semakin meningkat. Besarnya nilai dari koefisien A dan konstanta K 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 di atas modulus elastiknya juga tiba-tiba berubah. 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, SARAN, DAN IMPLIKASI

5.1. Kesimpulan

Dari pengujian mengenai pengaruh besar sudut penekukan pada kabel NYM 2 x 1.5 mm² terhadap temperatur stabil kabel yang dilakukan di *Laboratorium Quality Control* Departemen *Quality Control* PT. KMI *Wire and Cable*, Tbk didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Adanya kenaikan temperatur pada kabel yang terjadi karena pemberian arus dan besar sudut penekukan pada kabel. Semakin kecil sudut penekukan (semakin lancip sudutnya) pada kabel akan menyebabkan temperatur kabel baik itu konduktor maupun isolasi kabel akan semakin meningkat.
2. Dampak yang terjadi adalah penurunan kemampuan tahanan isolasi pada kabel yang ditekuk. Penurunan ini terjadi akibat kenaikan temperatur yang tidak sama antara kabel yang tidak ditekuk dengan kabel yang ditekuk. Pada kabel yang ditekuk 135 derajat untuk mencapai suhu 47,1 °C diperlukan arus sebesar 19A, sedangkan pada kabel yang ditekuk balik hanya diperlukan arus 15A.
3. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa kondisi tekuk balik masih ideal untuk dilakukan dengan syarat arus yang mengalir pun harus ideal dibatas KHA (Kuat Hantar Arus). Hasil pengujian menunjukkan konduktor kabel NYM 2 x 1,5 mm² yang ditekuk balik mencapai suhu stabil 64,0 °C di kuat hantar arus 19 A dan temperatur ini masih sesuai SNI 04-6629.4: 2006 yang menjelaskan bahwa kabel instalasi berjenis NYM 2 x 1,5 mm² dapat bertahan sampai temperatur maksimal 70°C.

5.2. Implikasi

Berdasarkan hasil penelitian, tindak lanjut yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya sertifikasi kelayakan kabel NYM 2 x 1.5 mm² dalam hal penekukan dengan sudut-sudut tertentu minimal dalam sudut sudut istimewa.
2. Perlu meningkatkan pengetahuan tentang batas arus yang diijinkan dalam penggunaan kabel NYM 2 x 1.5 mm².
3. Perlu adanya penyuluhan atau sosialisasi kelistrikan terutama dalam penggunaan kabel NYM 2 x 1.5 mm² bagi masyarakat untuk menghindari kegagalan suatu penghantar tersebut yang disebabkan sudut tekuk dalam penggunaannya.

5.3. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut:

1. Penggunaan kabel NYM 2 x 1.5 mm² yang terlalu ditekuk lebih dari 90° dapat menaikkan temperatur konduktor maupun isolasi. Oleh karenanya penggunaan yang demikian harus dihindari.
2. Penggunaan kabel NYM 2 x 1.5 mm² dengan arus yang mengalir melebihi KHA (Kuat Hantar Arus) dapat menaikkan temperatur konduktor maupun isolasi. Oleh karenanya penggunaan yang demikian harus dihindari.

3. Dalam produksi kabel NYM 1 x 1.5 mm² sebaiknya dilakukan uji tekuk penghantar sebelum dijual kepada konsumen untuk mengetahui tingkat maksimal isolasi dapat menahan panas yang berlebih.
4. Dalam pemakaian kabel NYM 1 x 1.5 mm² harus sering dilakukan pengecekan rutin guna menjaga ketahanan isolasi kabel itu sendiri.



DAFTAR PUSTAKA

Abraham, Yodi, 2015. *Proses Pembuatan Kabel NYM 2 x 1,5 mm² di PT. KMI Wire and Cable, Tbk*, Jakarta: Perpustakaan KMI.

Arifianto, 2008. *Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt*, Skripsi, S1 Departemen Teknik Elektro FTUI, Depok.

Badan Standardisasi Indonesia, 2006. *Standar Nasional Indonesia 04-6629: 2006*, Jakarta: BSN.

Corona, 1992. *Instalation Electrical of High Current Engineering*, Tokyo: IJ.

Inaba, T., 1979. *Minimum Fusing Current of Horizontal Copper Wire and Affecting Factors in Liquid Nitrogen*, Tokyo: Trans.

Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi dan Kelompok Kerja Kabel Listrik, 1992. *Standar Perusahaan Listrik Negara 42-2: 1992*, Jakarta: Perpustakaan PLN University.

PT. KMI Wire and Cable, Tbk, 2011. *Factory Tours*, <http://kmiwire.com/en/factory-tours.html>, diakses 14 Mei 2016.

Santika, Wayan, Wibi Hardani, 2004. *Instalasi Listrik Dasar Edisi Ketiga Trevor Linsley*, Jakarta: Erlangga

Scaddan, Brian, 2002. *Electrical Installation Work : Fourth Edition*, England.

Shinroku, Saito, Tata Surdia, 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik : Cetakan Kedua*, Jakarta: Pradya Paramita.

Soeparlan, Soepono, 1995. *Teknik Rangkaian Listrik Jilid I*, Jakarta: Gunadarma.

Thue, William, 1999. *Electrical Power Cable Engineering*, New York: Marcell Dekker Inc.

Yafang Liu, Kazunari Morita, Toru Iwao, Masao Endo, Tsuginori Inaba, 2002. *The Temperature Characteristics and Current Conducting Ability of Horizontally Curved Conductors*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 17, no. 4.

Yafang Liu, Masao Endo, Tsuginori Inaba, 1999. *The Distributions of Temperature an Magnetic Force on a Curved Conductor*, IEEE Power Engineering Review, Vol. 19.

