

**ANALISIS KARAKTERISTIK TERMAL PADA KABEL
NYM 3x1,5 mm² UNTUK APLIKASI INSTALASI
LISTRIK DALAM RUANGAN (*INDOOR*) DENGAN
PENGINJEKSIAN ARUS**



*Building
Future
Leaders*

WAHYU RIZKY

5315131658

**Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik
dalam mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2017

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3x1,5 mm² Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Dalam Ruangan (*Indoor*) Dengan Penginjeksian Arus
Nama : Wahyu Rizky
NIM : 5315131658

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

NAMA DOSEN

TANDA TANGAN

TANGGAL

Ir. Yunita Sari, MT., M.Si.
NIP. 196806062005012001
(Dosen Pembimbing 1)



22 Agustus 2017

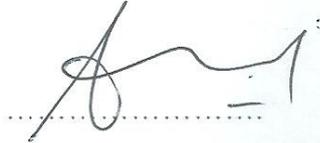
Siska Titik Dwiwati, S.Si., MT.
NIP. 197812122006042002
(Dosen Pembimbing 2)



18/8-2017

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ahmad Kholil, ST.,MT.
NIP. 197908312005011001
(Ketua)



23/8 2017

I Wayan Sugita, ST.,MT.
NIP. 197911142012121001
(Sekretaris)



16/8 2017

Dr. Riza Wirawan, MT.
NIP. 197804112005011003
(Dosen Ahli)



15/8 2017

Mengetahui.

Koordinator Program Studi
Pendidikan Teknik Mesin FT – UNJ



Ahmad Kholil, ST., MT.
NIP. 197908312005011001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Dalam Ruangan (*indoor*) Dengan Penginjeksian Arus”**, disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di Perguruan Tinggi manapun.

Jakarta, Juli 2017



Wahyu Rizky
NIM. 5315131658

ABSTRAK

WAHYU RIZKY, “Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Dalam Ruangan (*indoor*) Dengan Penginjeksian Arus”. Skripsi. Jakarta. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta. 2017.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik termal dan perubahan fisik pada kabel NYM 3x1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 dan Tidak Berstandar IEC 60227 – 4. Pengujian dilakukan dengan dua metode, yaitu menginjeksikan arus dan uji bakar. Pada pengujian injeksi arus, arus yang diinjeksikan sebesar 5 Ampere, 10 Ampere, 19 Ampere, 38 Ampere, 57 Ampere dan 76 Ampere pada kabel utuh. Untuk uji bakar, pengujian dilakukan dengan membakar bagian isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel pada temperatur bakar 260 °C.

Hasil pengujian karakteristik termal menunjukkan kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 memiliki kenaikan temperatur 2 sampai 3 kali lebih rendah dari kenaikan temperatur yang terjadi pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4. Hasil uji bakar adalah terdapat perbedaan perubahan fisik pada bagian pembungkus inti kabel, kabel berstandar IEC 60227 – 4 mengalami pelelehan ketika dibakar dan asap berwarna putih serta api padam ketika sumber apinya dihilangkan. Sedangkan pembungkus inti pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 tidak terlihat adanya pelelehan melainkan terjadi pengerasan pada bagian yang dibakar. Asap yang ditimbulkan banyak dan berwarna hitam, serta api tidak langsung padam ketika sumber api dihilangkan.

Kata Kunci: Karakteristik Termal, IEC 60227 – 4, Perubahan Fisik, Uji Bakar, Meleleh

ABSTRACT

WAHYU RIZKY, “Analysis of Thermal Characteristic NYM 3x1,5 mm² Cable For Indoor Electrical Insatallation Applications With Current Injection”. Essay. Jakarta. Faculty of Engineering. Universitas Negeri Jakarta. 2017.

This study aims to determine the thermal characteristics and physical changes of NYM cable 3x1,5 mm² Standard IEC 60227 - 4 and Non Standard IEC 60227 - 4. The test is done by two methods, that is current injection and burning test. The current injection tests are carried out at values 5, 10, 19, 38, 57 and 76 Ampere on the undamaged cable. The burning test is carried out by burning the insulator part, the core sheath and the outer sheath of the cable at burn temperature of 260 ° C.

The result of thermal characteristic test have shown that NYM cable 3 x 1.5 mm² Standard IEC 60227 - 4 has an increase of temperature 2 to 3 times lower than the increase of temperature that occurs in non-standard cables cable IEC 60227 - 4. The result of the burning test have shown that there are a difference of physical changes on the core sheath, the IEC 60227 - 4 standard cables are melting when burned and the color of smoke is white and the fire is extinguished when the source is removed. While the core sheath of non-standard IEC 60227 - 4 are not look a melting but it hardening when burned. The burn has a lot of smoke and black , and the fire does not immediately extinguished when the source of fire is removed.

Keywords: Thermal Characteristics, IEC 60227 - 4, Physical Changes, Burn Test, Melting.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul **“Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Untuk Aplikasi Instalasi Listrik Dalam Ruangan (*indoor*) Dengan Penginjeksian Arus”**, sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Selama proses penelitian, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Ahmad Kholil, ST.,MT. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Pratomo Setyadi, ST.,MT. selaku Penasehat Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan, saran dan bantuan akademik kepada penulis selama menempuh perkuliahan di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
3. Ibu Ir. Yunita Sari, MT.,M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan meluangkan waktu kepada penulis hingga selesainya penulisan skripsi ini.
4. Ibu Siska Titik Dwiwati, S.Si.,MT. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing dan meluangkan waktu kepada penulis hingga selesainya penulisan skripsi ini.

5. Bapak Thomas selaku kepala Laboratorium Tegangan Rendah (TERA) PT PLN (Persero) Area Tanjung Priuk yang telah membimbing dalam mengoperasikan alat uji *Primary Injection Test Set* LET 400 – RD.
6. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan do'a dan dorongan semangat baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
7. Seluruh teman – teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan motivasi, masukan dan kritikan dalam penulisan skripsi ini

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, masyarakat ataupun teman – teman yang ingin atau sedang melakukan penelitian guna memberikan sedikit informasi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna.

Akhir kata, Penulis mendo'akan semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak mendapatkan limpahan rahmat yang sebesar – besarnya dari Allah SWT. Aamiin.

Jakarta, Juli 2017

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Teori Dasar Api	7
2.1.1 Jenis – Jenis Kebakaran	8
2.1.2 Mekanisme Perpindahan Panas (<i>Heat Transfer</i>).....	10
2.1.3 Api Karena Listrik.....	12
2.1.4 Metode Pemadaman Api	13
2.2 Kabel Listrik	14
2.2.1 Bahan Konduktor Kabel Listrik	15
2.2.1.1 Tembaga (Cu).....	16
2.2.1.2 Aluminium	17
2.2.2 Bahan Isolator Kabel Listrik	17
2.2.2.1 Polimer Termoplastik.....	19
2.2.2.2 Polimer Termoset.....	21
2.2.3 Istilah Pada Kabel.....	23
2.2.3.1 Kemampuan Hantar Arus (KHA)	24
2.2.3.2 Tegangan Pengenal	25
2.2.3.3 Kode Pengenal	25
2.3 Karakteristik Termal Pada Kabel	26
2.3.1 Sumber Pemanasan Pada Kabel	26

2.3.1.1 Rugi – Rugi Konduktor (<i>Conductor Losses</i>)	26
2.3.1.2 Rugi – Rugi Dielektrik (<i>Dielectric Losses</i>).....	28
2.3.2 Aliran Panas Pada Kabel	29
2.4 Pengujian Kabel Listrik	30
2.4.1 Standar Pengujian Kabel Listrik.....	31
2.4.1.1 IEC 60227 – 4	32
2.4.2 Identifikasi Jenis Polimer	33
2.4.3 Alat Penginjeksi Arus (<i>Current Injection</i>)	36
2.5 Penelitian Yang Relevan	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	40
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	42
3.3.1 Sampel Pengujian	43
3.3.2 Rangkaian Pengujian	44
3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	45
3.5 Teknik Analisis Data	46
BAB IV HASIL PENELITIAN	
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	48
4.1.1 Pengujian Karakteristik Termal Dengan Penginjeksian Arus	48
4.1.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Termal Kabel NYM 3x1,5 mm ² Kabel Berstandar IEC 60227-4.....	49
4.1.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Termal Kabel NYM 3x1,5 mm ² Kabel Tidak Berstandar IEC 60227-4	52
4.1.2 Pengujian Identifikasi Jenis Polimer Dengan Uji Bakar	56
4.2 Analisis Data Penelitian	57
4.3 Pembahasan	65
4.4 Aplikasi Hasil Penelitian	66
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	71
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Fire Triangle</i>	8
Gambar 2.2 Simbol Kelas – Kelas Kebakaran.....	8
Gambar 2.3 Perpindahan Panas Secara konduksi	10
Gambar 2.4 Diagram T – x	11
Gambar 2.5 Proses pembentukan Polimer	18
Gambar 2.6 Proses pembentukan PVC	19
Gambar 2.7 Diagram Rangkaian Panas yang Dihasilkan Kabel Berinti Tiga Berselubung Logam.....	29
Gambar 2.8 <i>Plastic and Elastomer Identification Chart</i>	35
Gambar 3.1 <i>Primery Injection Test Set LET 400 RD</i>	41
Gambar 3.2. (a) <i>Thermocouple Type – K</i> , (b) <i>Torch Dengan Tabung Gas</i> Butana	41
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.4 Konstruksi Kabel NYM	43
Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Karakteristik Termal	45
Gambar 3.6 Rangkaian Uji Bakar	45
Gambar 4.1. Perubahan Fisik Kabel Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere.....	51
Gambar 4.2 Kabel Berstandar IEC 60227 – 4 Setelah Dialiri Arus 76 Ampere ..	52
Gambar 4.3 Perubahan Fisik Kabel Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere	55
Gambar 4.4 Kabel Tidak Berstandar Iec 60227 – 4 Setelah Dialiri Arus 76 Ampere.....	55
Gambar 4.5 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Pada Arus 5 Ampere.....	58
Gambar 4.6 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Pada Arus 10 Ampere.....	58
Gambar 4.7 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Pada Arus 19 Ampere.....	58
Gambar 4.8 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Pada Arus 38 Ampere.....	59
Gambar 4.9 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Pada Arus 57 Ampere.....	59
Gambar 4.10 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Pada Arus 76 Ampere.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Resistifitas Logam pada 20°C	15
Tabel 2.2 <i>Room – Temperatur Properties of Selected Polyvinylchloride</i>	20
Tabel 2.4 Data Umum Untuk Kabel IEC 60227-4	33
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian	40
Tabel 4.1 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 5 Ampere.....	49
Tabel 4.2 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 X 1,5 mm ² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 10 Ampere.....	49
Tabel 4.3 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 19 Ampere.....	50
Tabel 4.4 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 38 Ampere.....	50
Tabel 4.5 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 57 Ampere.....	50
Tabel 4.6 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere.....	50
Tabel 4.7 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 5 Ampere	52
Tabel 4.8 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 10 Ampere	53
Tabel 4.9 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 19 Ampere	53
Tabel 4.10 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 38 Ampere	53
Tabel 4.11 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 57 Ampere	53
Tabel 4.12 Karakteristik Termal Pada Kabel NYM 3 x 1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere	54
Tabel 4.13 Hasil Uji Bakar Pada Isolator (S1).....	56
Tabel 4.14 Hasil Uji Bakar Pada Pembungkus Inti (S2).....	56
Tabel 4.15 Hasil Uji Bakar Pada Selubung Luar (S3).....	57
Tabel 4.16 Analisis Data Hasil Pengujian Karakteristik Termal	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Surat Keterangan Penerimaan Melakukan Penelitian	72
Lampiran 2: Katalog Kabel Berstandar IEC 60227 – 4	73
Lampiran 3: IEC 60227 – 4	75
Lampiran 4: <i>Plastics and Elastomer Identification Chart</i>	84
Lampiran 5: SPLN 42 – 2: 1992	85
Lampiran 6: Gambar Rangkaian Pengujian Karakteristik Termal.....	97
Lampiran 7: Gambar Hasil Uji Bakar	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebakaran merupakan peristiwa yang sering terjadi di kota – kota besar baik pada pemukiman penduduk, pusat perbelanjaan, gedung perkantoran, pabrik dan bangunan lainnya. Khusus di DKI Jakarta, pesatnya pertumbuhan membuat pemukiman penduduk dan gedung – gedung pertokoan menjadi sangat padat, dengan demikian resiko terjadinya kebakaran semakin meningkat. Sehingga diperlukan perhatian serius dalam penanganan maupun pencegahan terjadinya peristiwa kebakaran.

Jika melihat data peristiwa terjadinya kebakaran, penyebab kebakaran yang sering terjadi adalah kebakaran yang disebabkan oleh listrik. Seperti yang terjadi di Provinsi DKI – Jakarta menurut Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi DKI – Jakarta dalam websitenya melansir pada tahun 2016 terjadi kebakaran sebanyak 1047 peristiwa, dengan 72% disebabkan oleh listrik yaitu sebanyak 754 peristiwa.

Peristiwa kebakaran yang diakibatkan oleh listrik terjadi karena adanya gangguan yang terjadi pada penghantar listrik dan hal ini akan menyebabkan terjadinya hubungan arus pendek. Menurut Schroll (2002: 13) gangguan pada penghantar listrik yang umumnya terjadi adalah kabel menerima arus melebihi Kemampuan Hantar Arus dari kabel tersebut dalam durasi waktu tertentu sehingga temperatur kabel melebihi dari temperatur tertinggi yang diijinkan oleh kabel tersebut. Tingginya temperatur pada penghantar kabel dapat memercikan

api dan terjadinya kebakaran, karena sebelumnya sudah terdapat dua faktor lain penyebab terjadinya api yaitu bahan bakar berupa isolator kabel dan oksigen diudara bebas.

Kebakaran yang terjadi diawali oleh dua faktor, pertama adalah kesalahan manusia (*human error*), hal ini karena kurangnya pengetahuan masyarakat terhadap pemanfaatan listrik, seperti pemasangan instalasi listrik yang kurang baik dan membagi arus listrik dengan stop kontak. Kedua adalah pemasangan perlengkapan instalasi listrik yang tidak sesuai dengan standar, hal ini tentu akan menyebabkan masalah berupa gangguan pada instalasi listrik.

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik tahun 2000 atau yang lebih dikenal dengan PUIL 2000 (2000: 28), terdapat beberapa syarat dalam pemasangan instalasi listrik yaitu, 1) Instalasi listrik harus dipasang dengan baik dan menghasilkan kerja yang baik, dikerjakan oleh personel yang berkualitas sesuai dengan bidangnya; 2) Perlengkapan listrik yang dipasang harus layak pasang dan/atau memenuhi persyaratan standar; 3) Perlengkapan listrik harus dirawat dengan baik untuk mencegah kemungkinan menurunnya mutu perlengkapan listrik akibat proses tertentu dalam masa penyimpanan, persiapan, pelaksanaan pekerjaan dan masa penggunaan.

Perlengkapan utama yang digunakan dalam instalasi listrik adalah kabel. Dengan demikian kabel yang digunakan dalam instalasi listrik harus memenuhi standar yang ditentukan, baik konduktor yang digunakan, bahan isolasinya serta keseluruhan konstruksi dari kabel. Setiap kabel memiliki karakteristik yang berbeda ketika menerima panas. Kabel yang biasa digunakan pada instalasi rumah tangga adalah kabel berisolasi dan berselubung PVC.

Menurut Almada (2014: 37), Kabel berisolasi dan berselubung PVC seperti NYM memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan instalasi listrik rumah tangga dan memenuhi syarat standar serta memiliki beberapa kelebihan dari material lain antara lain lebih ringan, sifat mekanik yang lebih baik, serta resistivitas volume yang lebih tinggi. Kelebihan lain yang juga penting adalah proses produksinya yang relatif lebih cepat dan biaya produksinya yang lebih murah. Sehingga proses kearah pabrikasi akan lebih mudah jika dibandingkan isolasi jenis lain.

Dibalik kelebihan yang dimiliki oleh kabel NYM berisolasi dan berselubung PVC, terdapat beberapa kekurangan. Menurut Moore (1997: 49), Ketahanan panas yang rendah pada PVC hanya mencapai 70°C, sehingga sangat bahaya jika bekerja pada temperatur yang tinggi, kabel tersebut akan terbakar dan jika disekitar kabel terdapat bahan – bahan yang kering serta mudah terbakar tentu akan menyebabkan kebakaran pada suatu bangunan, namun penambahan bahan – bahan seperti bahan pengisi (*filler*) dan bahan penstabil (*stabilizers*) dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat termal dan sifat listriknya.

Berdasarkan kasus di atas sangat mendorong peneliti untuk melakukan penelitian agar dapat mengetahui karakteristik termal yang dialami oleh kabel ketika kabel tersebut digunakan melebihi kemampuan hantar arusnya. Kabel yang memiliki karakteristik termal yang baik ketika dialiri arus tinggi dapat mencegah timbulnya panas berlebih pada kabel tersebut sehingga dapat mencegah terjadinya kebakaran.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan dengan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Kurangnya pemahaman masyarakat dalam memilih kabel yang baik sehingga banyak yang menggunakan kabel tidak berstandar dan digunakan tidak sesuai dengan spesifikasi kabel tersebut.
2. Pengoperasian kabel yang melebihi Kemampuan Hantar Arus (KHA) yang telah ditentukan pada kabel tersebut dapat menimbulkan kenaikan temperatur berlebih pada kabel.
3. Temperatur yang tinggi pada kabel dapat mengakibatkan isolasi dan selubung kabel terbakar dan merambat ke benda disekitar kabel.
4. Kabel instalasi listrik dengan isolasi dan selubung PVC memiliki ketahanan temperatur yang rendah.
5. Jenis polimer dan bahan penambah pada isolasi PVC mempengaruhi kemampuan kabel tersebut dalam menahan temperatur tinggi.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih terarah, sempurna dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabel yang akan diteliti. Adapun pembatasan dalam penelitian ini adalah:

1. Kabel yang digunakan pada penelitian ini adalah kabel jenis NYM 3x1,5 mm² berstandar IEC 60227 – 4 dan tidak bestandar IEC 60227 – 4 untuk aplikasi instalasi listrik dalam ruangan.

2. Arus yang digunakan dalam penelitian ini bervariasi, yaitu arus normal yang biasa diterima oleh kabel, arus maksimal, 2 kali arus maksimal, 3 kali arus maksimal dan 4 kali arus maksimal yang dapat diterima oleh kabel NYM 3 x 1,5 mm². Tahap variasi penginjeksian arus dilakukan selama 300 detik (5 menit) pada masing – masing sampel kabel.
3. Uji bakar yang dilakukan mengacu pada data *plastic and elastomer identification chart* dan temperatur yang digunakan adalah 260 °C.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik termal dari kabel NYM 3 x 1,5 mm² berstandar IEC 60227-4 dan tidak bestandar IEC 60227-4 ketika dialiri arus maksimal, 2x arus maksimal, 3x arus maksimal dan 4x arus maksimal yang dapat diterima oleh kabel NYM 3 x 1,5 mm² ?
2. Bagaimana perubahan fisik pada bagian isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel NYM 3 x 1,5 mm² berstandar IEC 60227-4 dan yang tidak bestandar IEC 60227-4 setelah dilakukan uji bakar ?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik termal Pada kabel NYM 3x1,5mm² berstandar IEC 60227-4 dan tidak bestandar IEC 60227-4 untuk aplikasi instalasi listrik dalam ruangan.

2. Mengetahui perubahan fisik pada bagian isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel NYM 3x1,5 mm² berstandar IEC 60227 – 4 dan kabel tidak bestandar IEC 60227 – 4.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian karakteristik termal kabel NYM 3x1,5mm² berstandar IEC 60227-4 dan tidak bestandar IEC 60227-4 untuk aplikasi instalasi listrik dalam ruangan ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Mendapatkan pengetahuan tentang karakteristik termal dari kabel NYM 3 x 1,5mm² berstandar IEC 60227-4 dan tidak bestandar IEC 60227-4 untuk aplikasi instalasi listrik dalam ruangan.
2. Dijadikan sebagai acuan dan bahan pendukung untuk dapat dilakukan penelitian yang lebih lanjut, seperti mengetahui unsur – unsur yang terkandung pada setiap bagian kabel, mengetahui temperatur setiap bagian kabel, dan penelitian lanjutan lainnya.
3. Sebagai referensi untuk menentukan pilihan masyarakat dalam memilih dan mengaplikasikan kabel instalasi listrik yang memiliki resiko kebakaran yang lebih rendah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Api

Api menurut Schroll (2002: 10), Api didefinisikan sebagai suatu proses dekomposisi dimana terjadi reaksi oksidasi cepat dari suatu benda (bahan bakar) yang kemudian benda tersebut menghasilkan panas dan cahaya. Api yang tidak dapat dikontrol dengan baik akan merambat menuju bahan yang mudah terbakar dan pada kasus yang terus berlanjut akan menimbulkan terjadinya peristiwa kebakaran.

Menurut ketentuan umum dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 26/Prt/M/2008 (2008: 1) tentang persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran pada gedung dan lingkungan, bahaya kebakaran adalah bahaya yang diakibatkan oleh adanya ancaman potensial dan derajat terkena pancaran api sejak dari awal terjadi kebakaran hingga penjararan api, asap dan gas yang ditimbulkan.

Menurut Menon dan Wakil (2005: 40), Terdapat tiga faktor yang menjadi munculnya api, yaitu panas, oksigen atau udara dan zat mudah terbakar (bahan bakar), teori tersebut biasa disebut sebagai teori segitiga api (*triangle fire*), kebakaran akan terus berlanjut selama ketiga faktor ini hadir, sehingga penghapusan salah satu dari faktor tersebut akan menghilangkan faktor segitiga api dan kebakarapun akan berhenti.



Gambar 2.1 Fire Triangle

Sumber: Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api pada Industri Textile

2.1.1 Jenis – Jenis Kebakaran

Pembagian kebakaran menjadi beberapa jenis bertujuan untuk menilai bahaya dan menentukan metode serta bahan yang efektif untuk proses pemadaman. Menon dan Wakil (2005: 48) membagi kebakaran menjadi lima berdasarkan bahan bakar utamanya, yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.2 Simbol Kelas – Kelas Kebakaran

Sumber: Industrial Fire Protection Handbook, Ed ke-2

1. Kebakaran Kelas “A”

Kebakaran kelas A adalah kebakaran yang melibatkan bahan bakar padat seperti kayu, kain, kertas atau yang bersifat organik (senyawa karbon), dimana umumnya pembakaran terjadi dengan pembentukan bara atau abu. Kebakaran jenis ini biasanya berkembang secara lambat dan bahan pemadam yang efektif untuk kebakaran kelas ini adalah jet atau semprot air.

2. Kebakaran Kelas “B”

Kebakaran kelas B adalah kebakaran yang disebabkan oleh zat cair atau padatan yang dapat mencair seperti bensin, minyak dan propana. Kebakaran jenis tumbuh dan berkembang secara cepat, bahan pemadam yang dapat digunakan adalah semprotan air, busa, cairan *vapourising*, karbon dioksida dan bubuk kimia.

3. Kebakaran Kelas “C”

Kebakaran kelas C merupakan kebakaran yang umumnya disebabkan oleh listrik seperti motor listrik, peralatan rumah dan mesin. Kebakaran kelas ini merupakan kebakaran yang tidak terkait langsung dengan bahan bakar, karena jika listrik terputus maka kebakaran bukan lagi masuk kedalam kelas ini. Bahan pemadam yang efektif untuk memadamkan kebakaran kelas ini adalah busa dan bubuk kimia kering.

4. Kebakaran Kelas “D”

Kebakaran kelas D adalah kebakaran yang diakibatkan oleh logam seperti magnesium dan titanium. Kebakaran kelas ini jarang terjadi, namun sangat sulit untuk dipadamkan. Bahan yang efektif untuk memadamkan kebakaran kelas D adalah grafit bubuk, bedak bubuk, soda abu, batu kapur, pasir kering dan serbuk kimia kering.

5. Kebakaran Kelas “K”

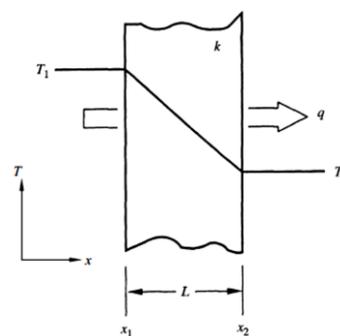
Kebakaran kelas K adalah kebakaran kelas terbaru yang menjadi bahan bakarnya adalah berupa minyak goreng atau minyak ketika memasak. Bahan yang efektif untuk memadamkannya adalah cairan kimia dan karbon dioksida.

2.1.2 Mekanisme Perpindahan Panas (*Heat Transfer*)

Menurut Cengel dan Ghajar (2015:17) Panas didefinisikan sebagai energi yang dapat berpindah dari satu sistem ke sistem lain sebagai akibat dari adanya perbedaan suhu, perpindahan panas yang terjadi selalu dari suhu yang lebih tinggi menuju suhu yang lebih rendah sampai kedua benda tersebut memiliki suhu yang sama, menurutnya panas dapat berpindah dengan tiga metode yang berbeda, yaitu:

1. Konduksi

Konduksi adalah suatu perpindahan energi dari partikel yang memiliki energi besar pada suatu bahan menuju partikel yang memiliki energi lebih rendah sebagai akibat dari interaksi antar partikel. Proses konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair maupun gas. Pada benda cair dan gas, konduksi disebabkan karena tumbukan dan difusi molekul selama pergerakan molekul yang secara acak. sedangkan pada benda padat, konduksi terjadi karena adanya gesekan secara berulang dari molekul dalam kisi dan perpindahan energi pada elektron bebas.



Gambar 2.3 Perpindahan Panas Secara konduksi

Sumber: Heat Transfer Handbook

Besarnya laju konduksi yang terjadi pada suatu media tergantung pada bentuk media, ketebalan, dan bahan media, serta perbedaan suhu di media. Penggunaan bahan isolasi pada suatu benda dapat menghambat laju perpindahan

panas pada benda tersebut, semakin tebal bahan isolasi maka semakin lambat juga laju perpindahan yang terjadi. Dapat diartikan bahwa tingkat konduksi pada suatu lapisan bidang sebanding lurus dengan selisih suhu pada seluruh lapisan dan area perpindahan panas, namun berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan. Sehingga kecepatan aliran panas konduksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

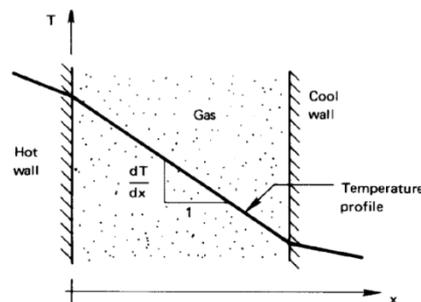
$$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad W \quad (2.1)$$

dengan, Q_{cond} adalah kecepatan aliran panas konduksi (W), k adalah konduktivitas panas (W/m·k), A adalah luas daerah hantaran panas (m^2), T_1, T_2 adalah Temperatur 1 dan 2 ($^{\circ}C$), ΔT adalah Selisih temperatur ($T_2 - T_1$) ($^{\circ}C$) dan Δx atau L adalah Ketebalan bidang (m)

Dalam kasus tertentu dimana $\Delta x \rightarrow 0$, maka rumus dapat disederhanakan yang ditentukan oleh hukum Fourier's, yaitu sebagai berikut:

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad W \quad (2.2)$$

dengan, dT/dx adalah selisih temperatur, yang dapat dilihat dari kemiringan kurva temperatur pada diagram $T - x$ (laju perubahan dari T dengan x). Hubungan tersebut menunjukkan bahwa tingkat aliran panas pada arah tertentu sebanding dengan selisih arah itu.



Gambar 2.4 Diagram T - x

Sumber: A Heat Transfer Handbook

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas dari suatu permukaan padat melalui media fluida dan atau gas yang bergerak/mengalir, yang pada prosesnya melibatkan gabungan dari konduksi dan aliran fluida. Perpindahan panas dengan cara ini sangat bergantung pada jenis dan kecepatan aliran dari fluida. Terdapat dua jenis konveksi yang dapat terjadi, pertama adalah konveksi secara paksa (*forced convection*) yaitu konveksi yang proses aliran fluidanya dialirkan secara eksternal seperti kipas angin dan pompa, yang kedua adalah konveksi secara alamiah yaitu konveksi yang aliran fluida disebabkan gaya apung yang disebabkan adanya perbedaan kepadatan variasi temperatur dalam fluida tersebut.

3. Radiasi

Perpindahan panas dengan cara radiasi berbeda dengan cara konduksi dan konveksi, karena radiasi tidak memerlukan adanya media penghantar energi panas. Radiasi mengalirkan energi pada suatu bahan dalam bentuk elektromagnetik (atau *photons*) sebagai akibat dari perubahan susunan elektron dari atom atau molekul. Hampir semua permukaan benda yang berwarna buram atau gelap dapat memancarkan radiasi, permukaan ideal yang dapat memancarkan radiasi dengan maksimal disebut benda hitam (*blackbody*) dan radiasi yang dipancarkan oleh *blackbody* disebut *blackbody radiation*.

2.1.3 Api Karena Listrik

Listrik saat ini telah digunakan secara meluas pada sebagian besar fasilitas kehidupan masyarakat. Jika dilihat dari data statistik pada tahun 2016 yang dikeluarkan oleh Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi

DKI Jakarta, listrik masih menjadi penyebab utama terjadinya kebakaran di DKI Jakarta yaitu sebanyak 72% dari 1047 kasus kebakaran disebabkan oleh listrik.

Faktor terjadinya kebakaran yang diakibatkan oleh listrik menurut Schroll (2002: 77) adalah pemakaian listrik yang melebihi beban, ketika pemakaian sirkuit listrik terutama kabel melebihi beban yang telah ditentukan, kabel dapat menjadi terlalu panas dan pada akhirnya dapat menyebabkan kebakaran. Sedangkan menurut Tobing, Bonggas L (2012: 25), Setiap arus listrik yang mengalir pada suatu peralatan juga akan mengalami kenaikan temperatur selama beroperasi baik pada kondisi kerja normal maupun pada kondisi mengalirkan arus lebih, panas yang dihasilkan baik itu dari konduktor maupun pemanasan yang bersumber dari panas internal yang terjadi pada bahan isolasi.

2.1.4 Metode Pemadaman Api

Api pada dasarnya muncul karena terdapat tiga faktor, yaitu bahan bakar atau bahan yang mudah terbakar, adanya oksigen dan tercapainya temperatur minimum untuk dapat membakar bahan bakar tersebut. Pada prinsipnya api akan padam dengan cara membatasi atau menghilangkan satu atau lebih dari ketiga faktor munculnya api, dalam pemadaman api dapat diklasifikasikan menjadi tiga metode, yaitu sebagai berikut (Menon dan Vakil, 2005: 43):

1. *Starvation* (Pembatasan Bahan Bakar)

Pemadaman api dengan metode ini dapat dilakukan dengan menghilangkan bahan bakar dari lingkungan api, menghilangkan api dari bahan yang mudah terbakar dan *Sub-deviding* atau dengan pemisahan bahan yang sedang terbakar.

2. *Smothering/Blanketing* (Pembatasan Oksigen)

Pemadaman api dengan metode ini dapat dilakukan dengan empat cara, yaitu dengan menggunakan buih (*foam*), dengan menaburkan gumpalan partikel halus atau bubuk kering, dengan senyawa bubuk berupa *ternary eutectic chloride* dan dengan cairan yang mudah menguap seperti *halogenated hydrocarbon*.

3. *Cooling* (Pembatasan/Penurunan Temperatur)

Pemadaman dengan cara cooling ini adalah cara yang paling umum digunakan yaitu dengan menyemprotkan air ke sumber api.

2.2 Kabel Listrik

Kabel merupakan peralatan utama dalam instalasi listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik. Dalam pemasangan instalasi listrik diperlukan perhatian khusus terhadap kabel listrik yang akan dipasang baik itu pemilihan kabel maupun cara pemasangan kabel tersebut. Hal tersebut dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kecelakaan bagi mereka yang menggunakan instalasi listrik.

Dalam bidang kelistrikan dikenal istilah PUIL2000 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik Tahun 2000) yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional. Menurut PUIL2000 (2000: 27) dalam memilih perlengkapan instalasi listrik, termasuk menentukan jenis, ukuran, tegangan dan kemampuannya, harus diperhatikan hal berikut:

1. Kesesuaian dengan maksud pemasangan dan penggunaannya.
2. kekuatan dan keawetannya, termasuk bagian yang dimaksudkan untuk melindungi perlengkapan lain.

3. Keadaan dan resistans isolasinya.
4. Pengaruh suhu, baik pada keadaan normal maupun tidak normal.
5. Pengaruh Api dan kelembaban.

2.2.1 Bahan Konduktor Kabel Listrik

Setiap kabel memiliki konduktor, sedangkan definisi konduktor menurut Anonim (2013: 6) adalah komponen logam pada kabel yang dilalui oleh daya listrik atau sinyal – sinyal listrik yang ditransmisikan. Konduktor dapat berbentuk padat/tunggal dan berbentuk serabut.

Menurut Thue, William. A (2003: 21) Bahan yang baik untuk digunakan sebagai konduktor kabel instalasi listrik adalah bahan yang memiliki resistifitas yang rendah, bahan yang memiliki resistifitas rendah dikatakan baik karena bahan tersebut memiliki konduktivitas yang tinggi, dan jika melihat dari nilai resistifitas yang ditunjukkan pada tabel 2.1 dan juga biaya dari masing – masing bahan tersebut, tembaga dan aluminium menjadi pilihan yang tepat untuk digunakan dalam industri kabel listrik. Beberapa bahan logam yang memiliki resistifitas rendah pada 20°C dapat ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Resistifitas Logam pada 20°C

Logam	Ohm-mm²/m×10⁻⁸
Perak	1.629
Tembaga, <i>annealed</i>	1.724
Tembaga, <i>hard drawn</i>	1.777
Tembaga, <i>tinned</i>	1.741–1.814
Aluminium, <i>soft, 61,2% cond.</i>	2.803
Aluminium, <i>½ hard to full hard</i>	2.828
Sodium	4.3
Nikel	7.8

Sumber: *Electrical Power Cable Engineering*

2.2.1.1 Tembaga (Cu)

Tembaga banyak digunakan sebagai konduktor kabel karena selain memiliki daya hantar yang sangat baik, juga karena memiliki titik cair yang tinggi, sehingga lebih aman untuk digunakan dalam industri kabel listrik. Menurut Moore (1997: 34) Tembaga yang memiliki kualitas baik adalah tembaga yang memiliki nilai konduktivitas tinggi, konduktivitas dari tembaga dapat dipengaruhi oleh kemurnian dan proses kerja mekanik yang dialami oleh tembaga, kemurnian tembaga yang baik untuk digunakan sebagai penghantar pada kabel adalah 99,9% yang didapat dari penyulingan elektrolisis akhir.

Menurut Surdia dan Saito (1999: 121) Satuan hantaran listrik yang digunakan untuk tembaga adalah %IACS (*Internasional Annealed Copper Standard*), dimana suatu hantaran dinyatakan 100% IACS jika tahanan spesifik/resistifitas pada 20°C adalah 1,7241 $\mu\Omega\text{cm}$ atau 0,153280 $\Omega/\text{g.m}$ dan bahan konduktor logam yang memiliki tahanan/resistifitas yang tinggi maka akan meningkatkan efek dari arus listrik yang melewatinya, hal ini dapat menyebabkan naiknya temperatur pada bahan konduktor tersebut.

Menurut Harten dan Setiawan (1991: 110) Sifat kekerasan yang dimiliki tembaga akan mempengaruhi kemampuan hantarnya, sebagai contoh tembaga lunak (*ductile*) yang memiliki kekuatan tarik sebesar 195 – 245 N/mm^2 memiliki nilai hantaran 100% IACS, sedangkan tembaga keras (*brittle*) yang memiliki kekuatan tarik sebesar 390 – 440 N/mm^2 nilai hantarannya adalah 97% IACS, jadi tembaga lunak memiliki daya hantar lebih baik dibanding dengan tembaga keras.

2.2.1.2 Aluminium (Al)

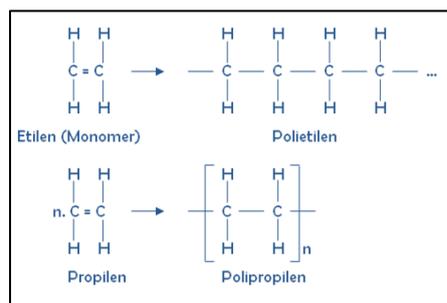
Menurut Moore (1997:35) Aluminium mulai banyak digunakan sebagai konduktor kabel listrik dikarenakan harga yang lebih murah dari konduktor tembaga, selain itu konduktor aluminium memiliki berat yang lebih ringan daripada tembaga, dan nilai hantaran untuk aluminium jauh lebih rendah jika dibanding dengan tembaga, yaitu hanya sebesar 61% dari hantaran yang dimiliki tembaga, sehingga diperlukan luas penampang 1,6 kali luas penampang tembaga untuk mencapai nilai hantaran yang sama dengan Aluminium yang digunakan untuk konduktor kabel listrik adalah aluminium yang memiliki kemurnian 99,5%,

Menurut Thue (2003:22) Berat aluminium hanya 48% dari berat yang dimiliki tembaga, namun aluminium yang ringan ini memiliki kerugian karena volume yang dimiliki lebih besar maka isolasi yang dibutuhkan juga lebih banyak, selain itu titik cair aluminium yang rendah hanya 625 – 657°C membuat konduktor dari aluminium sangat rentan jika digunakan pada temperatur operasional yang tinggi, selain itu konduktor aluminium juga jarang digunakan untuk stasiun pembangkit, karena memiliki kelenturan yang kurang baik.

2.2.2 Bahan Isolator Kabel Listrik

Menurut Suyamto (2009:52) Isolator adalah bahan penyekat listrik yang berfungsi untuk mengisolir bagian – bagian yang dialiri arus listrik, dimana bahan tersebut sulit atau bahkan tidak dapat dialiri arus listrik, isolator harus memiliki sifat kelistrikan, sifat mekanik, sifat termal dan sifat kimia yang baik. Banyak bahan yang bisa digunakan sebagai isolator atau jaket kabel listrik, namun bahan isolator yang paling umum digunakan untuk kabel listrik adalah polimer.

Menurut Ebewele (2000: 3) Polimer berasal dari bahasa Yunani, yaitu *poly* yang artinya banyak dan *meres* yang artinya bagian. Dengan demikian polimer dapat diartikan sebagai molekul besar yang tersusun oleh pengulangan unit kimia yang banyak. Sedangkan menurut Surdia dan Saito (1999: 171) polimer adalah suatu bahan yang memiliki berat molekul besar yang dibangun oleh satuan struktur tersusun berulang diikat oleh gaya tarik – menarik yang kuat, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron, unit penyusun pada polimer dinamakan monomer yang dapat diilustrasikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Proses pembentukan Polimer

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik

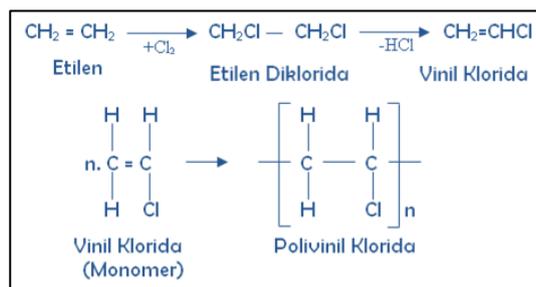
Sifat khas bahan polimer sangat berpengaruh oleh perubahan temperatur, hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal akan mengubah kumpulan molekul atau merubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar). Bahan polimer cenderung sukar dilalui arus listrik, oleh karena itu polimer sering digunakan sebagai isolator listrik.

Menurut Kumar dan Gupta (1998: 3) Berdasarkan karakteristik termalnya, bahan polimer dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua), yaitu polimer termoplastik dan polimer termoset.

2.2.2.1 Polimer Termoplastik

Menurut Callister (2007:506) Termoplastik adalah polimer yang memiliki sifat mudah melunak ketika dipanaskan, ketika didinginkan termoplastik memiliki kemampuan untuk kembali mengeras dan proses tersebut bisa dilakukan berulang (*reversible*). Terdapat banyak jenis polimer termoplastik, seperti *Polyetilene* (PE), *Polypropilene* (PP), *Polyvinyl Chloride* (PVC). Namun bahan isolasi polimer termoplastik yang paling banyak digunakan untuk kabel listrik adalah PVC.

Menurut Surdia dan Saito (1999: 217) Alasan PVC banyak digunakan sebagai isolator adalah karena PVC memiliki ketahanan air, ketahanan asam, tidak bersifat racun, tidak menyala, isolasinya baik dan tahan terhadap banyak larutan:



Gambar 2.6 Proses pembentukan PVC

Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik

Menurut Harten dan Setiawan (1991:112) PVC adalah salah satu polimer termoplastik hasil polimerisasi dari vinilklorida, yaitu $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$, sifat dari PVC yaitu pada suhu kamar PVC ini keras dan rapuh, agar memiliki sifat fleksibel dan dapat digunakan sebagai bahan isolasi kabel, PVC harus dicampur dengan bahan pelunak (*plasticizer*) pada kisaran 20% hingga 40% dan terkadang dapat lebih, campuran ini disebut kompon PVC, sedangkan PVC yang belum dicampur dengan bahan pelunak disebut damar PVC (PVC resin).

Menurut Thue (2003: 122) Selain menggunakan bahan pelunak untuk memperbaiki sifat dari PVC, diperlukan juga bahan pengisi dan bahan stabilisator agar PVC memiliki sifat fleksibilitas yang baik, tahan terhadap suhu panas, tahan terhadap suhu dingin, ketahanan pada minyak yang baik dan juga memiliki ketahanan yang baik pada lingkungan.

Menurut Moore (1997: 329) Ketahanan panas kompon PVC jika digunakan secara terus – menerus adalah 70°C, sedangkan untuk suhu dingin kompon PVC hanya mampu menahan hingga -10°C, pemakaian melebihi suhu tertinggi tentu akan menurunkan sifat mekanik dari kompon PVC seperti meleleh atau bahkan terbakar, sedangkan jika pemakaian pada suhu dingin melebihi dari suhu terendah maka kompon PVC akan mengalami kerapuhan. Sifat dari polimer PVC pada suhu ruang dapat ditampilkan pada tabel 2.2.

Menurut Vishu Shah (2000: 460D) menjelaskan sifat dari PVC ketika dilakukan tes bakar, PVC akan padam dengan sendirinya, tidak meleleh, warna nyala api berwarna kuning dengan ujung hijau, berbau Hidrogen Klorida (HCL), kecepatan bakarnya lambat dan berasap putih.

Tabel 2.2 Room – Temperatur Properties of Selected Polyvinylchloride

No	<i>Properties of Selected Polymers Materials</i>	<i>Polyvinylchloride (PVC)</i>
1.	<i>Density (g/cm³)</i>	1.30–1.58
2.	<i>Modulus of Elasticity [GPa (10⁶ psi)]</i>	2.4–4.1 (0,35–0,60)
3.	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	40.7–51.7 (5.9–7.5)
4.	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	40.7–44.8 (5.9–6.5)
5.	<i>Percent Elongation (%)</i>	40–80
6.	<i>Coefficient of Thermal Expansion (10⁻⁶ (°C)⁻¹)</i>	90 – 180
7.	<i>Thermal Conductivity (W/m-K)</i>	0.15–0.21
8.	<i>Specific Heat (J/kg-K)</i>	1050–1460
9.	<i>Electrical Resistivity (Ω-m)</i>	>10 ¹⁴

Sumber: *Material Science and Engineering an Introduction*

Selain polivinilklorida (PVC), polimer termoplastik yang umum digunakan sebagai isolator kabel listrik adalah polimer jenis Polietilen (PE). Menurut Surdia dan Saito (1999: 209) Polietilen (PE) adalah polimer termoplastik yang didapat dari hasil polimerisasi gas etilen, yang dapat diperoleh dengan memberi hydrogen gas petrolium pada pemecahan minyak (nafta), gas alam atau asetilen

Menurut Anixter (2013: 35) Polietilen memiliki sifat kelistrikan yang sangat baik, konstanta dielektrik yang rendah, stabil terhadap frekuensi yang luas dan memiliki resistansi isolasi yang baik serta memiliki ketahanan terhadap lingkungan yang baik, namun kekurangan polietilen adalah sangat keras dan kaku karena memiliki kepadatan yang sangat tinggi, selain itu polietilen jika terbakar akan tetap meyala meskipun sumber apinya telah dihilangkan.

Menurut Moore (1997: 49) Ketahanan panas polietilen berkisar pada 70°C, namun polietilen memiliki ketahanan pada suhu rendah berkisar pada -60 °C. Polietilen merupakan polimer non polar yang memiliki sifat – sifat yang baik terutama dalam sifat khusus frekuensi tinggi sehingga sangat cocok digunakan sebagai untuk radar, televisi dan alat komunikasi lainnya.

2.2.2.2 Polimer Termoset

Menurut Callister (2007: 506) Polimer termoset adalah polimer yang memiliki sifat akan mengalami pengerasan secara permanen pada saat dilakukan pemanasan dan tidak dapat melunak pada pemanasan selanjutnya (*irreversible*), *covalent crosslink* antar rantai molekul yang berdekatan pada polimer ini yang menjadikannya tidak melunak jika dipanaskan, melainkan akan semakin padat dan kaku yang apabila diberikan panas pada suhu tinggi polimer ini akan hancur.

Menurut Surdia dan Saito (1999: 253) Polimer termoset terbagi menjadi 7 jenis resin, yaitu sebagai berikut:

1. Resin Fenol

Termoset jenis ini dihasilkan dari kondensasi fenol-fenol dengan formaldehida. Secara umum keuntungan dari termoset ini adalah mudah dibentuk, kurang penyusutannya dan keretakannya, unggul dalam sifat isolasi listrik, relatif tahan panas dan dapat padam sendiri dan unggul dalam ketahanan asam. Sedangkan kerugiannya adalah kurang tahan terhadap alkali, berwarna dan ketahanan busur listriknya buruk.

2. Resin Urea – Formaldehid (Resi Urea)

Ini adalah resin termoset yang didapat dari reaksi urea dan formalin, dimana urea dan formaldehid (37% formalin) bereaksi dalam alkali netral dan lunak lalu ditambahkan bahan pewarna, pemlastis dan pengeras. Resin ini biasa digunakan untuk keperluan sehari – hari seperti, soket, alat – alat listrik, kancing, mangkuk.

3. Resin Melamin

Resin melamin memiliki keunggulan dalam ketahanan air, ketahanan panas, ketahanan busur listrik dan dapat diwarnai dengan bebas, sehingga resin ini dapat digunakan secara luas.

4. Resin poliester

Resin yang berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengaturan komposisi seperti banyak resin termoset yang lainnya, maka tak perlu diberi tekanan untuk pencetakan.

5. Resin Epoksi

Resin ini mempunyai kegunaan yang luas dalam industri kimia, listrik, mekanik dan sipil sebagai perekat, cat pelapis, pencetakan coran benda – benda cetakan.

6. Resin Poliuretan

Resin ini kuat, baik dalam ketahanan abrasi, ketahanan minyak dan ketahanan pelarut, maka digunakan untuk plastik busa, bahan elastis, cat, perekat, serat elastis, kulit sintetik.

7. Resin Silikon

Bahan ini digunakan dalam bentuk pernis sebagai larutan dalam pelarut organik, dan ditemoset setelah perlakuan dan pencetakan. Bahan ini unggul dalam sifat isolasi listrik dan sifat penggunaan bertahan pada 200°C. Silikon juga tahan terhadap zat kimia, tetapi agak mengembang dalam pelarut organik.

2.2.3 Istilah Pada Kabel

Dalam setiap barang tentunya diperlukan suatu istilah khusus untuk memudahkan masyarakat dalam memahami karakteristik dari barang tersebut. Begitupun dengan kabel yang merupakan peralatan pokok dari instalasi listrik tentu memerlukan istilah khusus sehingga baik pemasang maupun pengguna instalasi listrik dapat memasang dan menggunakannya sesuai dengan karakteristik serta kemampuan dari kabel tersebut.

2.2.3.1 Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Menurut PUIL 2000 (2000: 10) Pada setiap kabel instalasi listrik tentunya memiliki penghantar yang umumnya terbuat dari logam yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari sumber listrik ke peralatan yang membutuhkan energi listrik. Arus maksimum yang dapat dialirkan dengan kontinu oleh penghantar pada keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu disebut sebagai Kemampuan Hantar Arus (KHA).

Menurut Sutrisno, dkk (2013: 22) Pemanfaatan listrik harus memperhatikan spesifikasi atau kemampuan dari setiap peralatan yang digunakan terutama kabel, karena pemakaian arus berlebih pada kabel dapat menyebabkan kabel menjadi panas dan apabila hal itu dibiarkan akan membuat kabel meleleh dan memicu terjadinya kebakaran, sebagai contoh kabel yang memiliki KHA sebesar x ampere dialiri $2x$ ampere maka kabel tersebut menerima beban berlebih.

Menurut buku 1 PT PLN tentang Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (2010: 9) Kemampuan Hantar Arus suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada kontruksi penghantar tersebut yaitu:

1. Temperatur lingkungan
2. Jenis penghantar
3. Temperatur lingkungan awal
4. Temperatur penghantar akhir
5. Batas kemampuan termis isolasi
6. Faktor tiupan angin

2.2.3.2 Tegangan Pengenal

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000 (2000: 18) Tegangan pengenal suatu sistem atau gawai adalah tegangan yang disyaratkan oleh suatu instalasi atau oleh bagian daripadanya, tegangan pengenal boleh melebihi tegangan nominal (nilai tegangan untuk mengidentifikasi suatu sistem atau gawai) sebesar toleransi yang diberikan, Tegangan pengenal merupakan tegangan yang mendasari dalam pembuatan perlengkapan listrik (*Rated Voltage*), dan Tegangan pengenal pada kabel dibedakan pada tingkatan sebagai berikut:

1. Kabel Tegangan Rendah : 230/400 V; 300/500 V; 400/690 V;
450/750 V dan 0,6/1 kV.
2. Kabel Tegangan Menengah : 3,6/6 kV; 6/10 kV; 8,7/15 kV; 12/20 kV
dan 18/30 kV.

2.2.3.3 Kode Pengenal

Untuk dapat mengenali jenis kabel diperlukan kode – kode pengenal. Pada Standar Perusahaan PT PLN (SPLN) 42-2 (1992:2) Kode pengenal kabel dinyatakan dengan huruf dan angka, yaitu sebagai berikut:

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

2.3 Karakteristik Termal Pada Kabel

Menurut Callister dalam bukunya yang berjudul *Material and Science Engineering an Intoduction*, Ed ke-7 (2007: 723) Karakteristik termal merupakan respon dari suatu material ketika diberikan panas. Dari pengertian tersebut dapat diartikan bahwa karakteristik termal pada kabel adalah respon atau sifat dari kabel ketika kabel tersebut menerima panas baik yang dihasilkan dari kerja normal maupun pada kondisi mengalirkan arus lebih.

2.3.1 Sumber Pemanasan pada Kabel

Menurut Thue (2003:192) Sumber panas pada kabel pada dasarnya adalah energi maupun arus yang mengalir pada kabel tersebut, energi panas ini yang menimbulkan kenaikan suhu pada kabel, secara jelasnya sumber pemanasan pada kabel adalah berupa rugi – rugi (*losses*) yang terjadi pada saat kabel beroperasi, terdapat beberapa rugi – rugi pada kabel, yaitu rugi – rugi konduktor, rugi – rugi isolator (dielektrik) dan rugi – rugi selubung (*sheath*).

2.3.1.1 Rugi – Rugi Konduktor (*Conductor Losses*)

Menurut Moore (1997: 124) sumber panas utama pada kabel adalah rugi – rugi yang terjadi pada konduktor (*conductor losses*) atau kerugian ohmik (*ohmic losses*) yang disebabkan adanya resistansi atau tahanan pada konduktor tersebut. Menurut Thue (2003: 33) resistansi konduktor DC dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \quad (2.3)$$

dengan, ρ adalah resistivitas atau hambatan jenis logam (Ω/m), l adalah panjang konduktor (m) dan A adalah luas penampang konduktor (m^2).

Sedangkan menurut Moore (1997: 125) terdapat perbedaan nilai resistansi AC dengan nilai resistansi DC, nilai resistansi DC dipengaruhi oleh temperatur kerja, sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R' = R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] \quad (2.4)$$

dengan, R_{20} = Resistansi arus searah pada 20°C (Ohm)

α_{20} = Koefisien temperatur resistansi pada 20°C ($\text{Ohm}/^\circ\text{C}$)

θ = Temperatur kerja ($^\circ\text{C}$)

Menurut Thue (2003: 196) Nilai resistansi AC lebih besar jika dibandingkan dengan nilai resistansi DC, hal ini disebabkan adanya *skin effect* dan juga *proximity effect*. *Skin effect* adalah ketidakseragaman kerapatan arus listrik yang terdapat pada konduktor, dimana terjadi penurunan kerapatan menuju pusat permukaan yang mengakibatkan arus bolak – balik meningkat pada pusat konduktor. Sedangkan *proximity effect* adalah ketidakseragaman distribusi kerapatan arus pada penampang konduktor yang diakibatkan adanya penampang lain yang berdekatan. Menurut Moore (1997: 125) persamaan dari hubungan *skin effect* dan *proximity effect* adalah sebagai berikut:

$$R = R' (1 + y_s + y_p) \quad (\text{Ohm}) \quad (2.5)$$

dengan, R = Resistansi AC (Ohm)

R' = Resistansi DC (Ohm)

y_s = Faktor *skin effect*

y_p = Faktor *proximity effect*

2.3.1.2 Rugi – Rugi Dielektrik (*Dielectric Losses*)

Menurut Tobing (2012: 29) Rugi – rugi dielektrik merupakan rugi – rugi yang terjadi pada bahan isolasi, rugi – rugi dielektrik akan menimbulkan panas yang dihasilkan dari adanya gesekan molekul secara berulang – ulang pada bahan isolasi tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa rugi – rugi dielektrik hanya terjadi jika dikenai medan elektrik bolak – balik. Perhitungan kerugian dielektrik pada setiap fase adalah sebagai berikut (Thue, 1997: 126):

$$W_a = \omega C U_0^2 \tan \delta \quad (W/m) \quad (2.6)$$

dengan, $\omega = 2\pi f$ (1/s), f adalah frekuensi (Hz), (s = detik)

$C =$ Kapasitansi (F/m)

$U_0 =$ Tegangan (V)

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

Kapasitansi untuk kabel dengan konduktor berbentuk silinder maupun oval dengan diameter geometris dapat dinyatakan dengan rumus dibawah ini:

$$C = \frac{\epsilon}{18 \log_e(D_i d_c)} \times 10^{-9} \quad (F/m) \quad (2.7)$$

dengan, $\epsilon =$ Permittivitas relative bahan isolasi

$D_i =$ Diameter luar isolasi (mm)

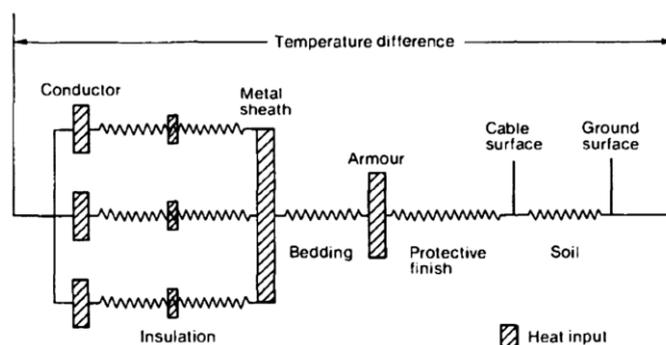
$d_c =$ Diameter konduktor (mm)

Permittivitas relatif untuk kabel jenis isolasi PVC adalah 8 dan untuk kabel jenis isolasi PE baik itu *high density* maupun *low density* adalah 2,3, sedangkan *loss factor* untuk kabel jenis isolasi PVC adalah 0,1 dan untuk PE adalah 0,001.

2.3.2 Aliran Panas pada Kabel

Menurut Thue (2003: 192) *Ampacity* adalah kemampuan kabel untuk mengalirkan arus maksimum tanpa mengalami kerusakan secara langsung. Selama beroperasi, kabel mengalami kerugian elektrik yang mengakibatkan panas baik pada konduktor, isolator maupun komponen lainnya. *Ampacity* sangat bergantung pada cara panas yang ditimbulkan dapat ditransmisikan ke permukaan kabel dan kemudian dilepaskan ke lingkungan.

Menurut Moore (1997: 123) Dalam keadaan stabil suhu konduktor dengan suhu lingkungan merupakan total dari kerugian panas yang dialami oleh kabel, dan hukum aliran panas sangat mirip dengan hukum Ohm. Aliran panas berhubungan dengan arus, perbedaan suhu, tahanan panas (*thermal resistance*) dan hambatan listrik disekitarnya, panas yang mengalir pada suatu kabel harus melalui sejumlah resistansi termal yang berbeda sehingga dapat digambarkan pada rangkaian dibawah ini.



Gambar 2.7 Diagram Rangkaian Panas yang Dihasilkan Kabel Berinti Tiga Berselubung Logam

Sumber: Electrical Cable Handbook, Ed ke-3

Kenaikan suhu pada kabel disebabkan oleh panas yang dihasilkan dalam konduktor (I^2R), isolator (W) dan selubung serta lapisan logam atau *armour* (λI^2R), dengan peningkatan yang dilakukan dengan cara melakukan masing –

masing perkalian oleh resistansi termal dari lapisan yang mengalirkan panas (T), atau lebih jelasnya dapat dijabarkan dalam rumus dibawah ini, namun hanya untuk arus a.c (Moore, 1997: 124).

$$\Delta\theta = I^2R + \frac{1}{2}W_d T_1 + I^2R \frac{1 + \lambda_1}{\lambda_1} + W_d nT_2 + I^2R \frac{1 + \lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} + W_d n(T_3 + T_4) \quad (2.8)$$

dengan,

$\Delta\theta$ = Kenaikan suhu konduktor (K)

I = Arus yang mengalir pada satu konduktor (A)

R = Resistansi arus persatuan panjang dari konduktor (Ω/m)

W_d = Kerugian dielektrik per satuan panjang untuk isolasi konduktor (W/m)

T_1 = Resistansi termal persatuan panjang antara konduktor dan selubung (K m/W)

T_2 = Resistansi termal per satuan panjang dari selimut antara selubung dan *armour* (K m/W)

T_3 = Resistansi termal per satuan panjang dari selubung luar kabel (K m/W)

T_4 = Resistansi termal per satuan panjang antara permukaan kabel dan medium sekitarnya (K m/W)

n = Jumlah konduktor dalam kabel

λ_1 = Rasio kerugian selubung logam untuk total kerugian di semua konduktor

λ_2 = Rasio kerugian dalam *armour* untuk total kerugian pada kabel

2.4 Pengujian Kabel Listrik

Kegagalan sistem isolasi kabel pada peralatan instalasi listrik akan menimbulkan kerugian yang besar bagi penggunaannya. Menurut Tobing (2012: 25)

Setiap bahan isolasi peralatan instalasi listrik harus memiliki karakteristik termal sebagai berikut:

1. Daya tahan panasnya tinggi.
2. Tidak berubah bentuk pada temperatur tinggi.
3. Konduktivitas panas tinggi.
4. Koefisien muai panas rendah.
5. Tidak mudah terbakar.
6. Tahan terhadap busur api.

Pemakaian kabel yang melebihi kemampuannya tentu akan menimbulkan efek kerusakan pada kabel tersebut, sehingga diperlukan pengujian tentang kabel untuk mengetahui karakteristik termal dari suatu kabel jika diberikan arus melebihi kemampuan kabel tersebut.

2.4.1 Standar Pengujian Kabel Listrik

Standar pengujian internasional untuk kabel adalah IEC. Pada *International Standard* IEC 60227-2 (2003: 5) dijelaskan bahwa *International Electrotechnical Commission* (IEC) adalah sebuah organisasi diseluruh dunia untuk suatu standarisasi, IEC terdiri dari seluruh komite elektroteknik nasional (IEC komite Nasional). Tujuan dari IEC adalah untuk mempromosikan kerjasama internasional tentang standarisasi dibidang listrik dan elektronik. Untuk tujuan tersebut dan di samping kegiatan lainnya, IEC menerbitkan standar internasional, spesifikasi teknis, dan laporan teknis atau panduan.

Standar internasional untuk spesifikasi kabel berisolasi dan berselubung dengan tegangan pengenal sampai dengan 450/750 V adalah IEC 60227-4.

2.4.1.1 IEC 60227 – 4

Pada IEC 60227 – 4 menspesifikasikan khusus untuk kabel berselubung PVC tegangan pengenal 300/500 V. Menurut IEC 60227 – 4, konstruksi untuk kabel berisolasi dan berselubung PVC tegangan pengenal 300/500 V adalah sebagai berikut:

1. Konduktor

Jumlah konduktor adalah 2, 3, 4 atau 5, dan dibagi menjadi 2 kelas yaitu kelas 1 untuk konduktor tunggal/padat dan kelas 2 untuk konduktor serabut.

2. Isolator

Isolator harus kompon PVC dari jenis PVC/C yang diaplikasikan pada masing – masing konduktor. Ketebalan isolator harus memenuhi nilai yang telah ditentukan pada tabel 2.3, kolom 3. Sedangkan resistansi isolator harus memenuhi seperti yang tercantum pada tabel 2.3, kolom 8.

3. Selubung

Selubung harus kompon PVC dari jenis PVC/TS 4 yang diaplikasikan menutupi seluruh bagian dalam kabel. Tebal selubung harus memenuhi nilai pada tabel 2.3, kolom 5.

4. Diameter Keseluruhan

Nilai rata – rata diameter keseluruhan kabel harus sesuai dengan yang ditunjukkan pada tabel 2.3, kolom 6 dan 7.

5. Petunjuk Pemakaian

Suhu maksimum konduktor pada pemakaian normal adalah 70 °C.

Tabel 2.3 Data Umum Untuk Kabel IEC 60227-4

1	2	3	4	5	6	7	8
Jumlah dan luas penampang konduktor	Kelas konduktor	Tebal isolator	Tebal lapisan pembungkus inti	Tebal selubung	Diameter luar		Resistansi isolator
					Min	Maks	Min
mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	MΩ.km
2x1,5	1	0,7	0,4	1,2	7,6	10,0	0,011
	2	0,7	0,4	1,2	7,8	10,5	0,010
2x2,5	1	0,8	0,4	1,2	8,6	11,5	0,010
	2	0,8	0,4	1,2	9,0	12,0	0,009
3x1,5	1	0,7	0,4	1,2	8,0	10,5	0,011
	2	0,7	0,4	1,2	8,2	11,0	0,010
3x2,5	1	0,8	0,4	1,2	9,2	12,0	0,010
	2	0,8	0,4	1,2	9,4	12,5	0,009

Sumber: International Standard IEC 60227-4 (Dengan Penyesuaian)

2.4.2 Identifikasi Jenis Polimer

Pada sub bab sebelumnya sudah dibahas mengenai polimer. Berdasarkan karakteristik termalnya, polimer terbagi menjadi dua, yaitu polimer termoplastik dan polimer termoset. Kedua jenis polimer ini memiliki ciri utama yaitu sifatnya ketika menerima panas. Polimer termoplastik akan meleleh jika menerima panas berlebih, sedangkan polimer termoset tidak, melainkan akan menjadi keras dan rapuh. Setiap jenis polimer memiliki kelebihan dan kelemahannya masing – masing tergantung fungsi dan kegunaannya. Sebagai contoh, untuk aplikasi isolasi kabel listrik diperlukan jenis polimer yang memiliki karakteristik termal yang baik agar tidak terjadi panas berlebih pada kabel.

Diperlukan pengujian untuk dapat mengetahui jenis polimer yang digunakan. Menurut Ismariny dan Saraswati (2005: 97) Terdapat beberapa cara sederhana seperti tes solder, tes *sink – swim* dan uji bakar yang dapat digunakan

untuk mengidentifikasi plastik, karena setiap bahan plastik memiliki karakteristik yang berbeda setelah perlakuan tes tersebut.

Tes solder dilakukan untuk membedakan antara polimer termoplastik dan termoset, dimana polimer termoplastik akan melunak jika dipanaskan. Tes *sink – swim* merupakan tes untuk membedakan polimer jenis PP (Polipropilena) dan PE (Polietilena). Tes ini dilakukan dengan cara mencelupkan material polimer dalam bejana berisi *aquadest*. Termoplastik PE dan PP akan mengapung, karena kedua polimer jenis ini memiliki berat jenis kurang dari 1.

Terakhir uji bakar (*burning test*) merupakan tes pengujian kimia sederhana dan cepat untuk mengidentifikasi material polimer dan elemen penyusun lainnya. Uji bakar dilakukan dengan cara membakar potongan polimer pada bagian tengah nyala api *Bunsen burner* yang tidak berwarna. Pengujian dilakukan pada tempat yang memiliki *exhaust fan*. Untuk dapat menyimpulkan material dasar pembentuk barang jadi polimer perhatikan parameter berikut:

1. Pelunakan Material
2. Pembakaran pada atau diluar nyala api
3. Warna nyala api
4. Bau dari hasil pembakaran
5. Pembentukan asap
6. Kecepatan bakar

Untuk mengidentifikasi jenis polimer, bandingkan pengamatan aktual yang telah dilakukan dengan literatur yang telah ada. Seperti literatur milik Vishu Shah yang dikeluarkan oleh LCC *Consultec* berikut ini.

2.4.3 Alat Penginjeksi Arus (*Current Injection*)

Alat penginjeksi arus adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian pada alat maupun rangkaian listrik dengan cara menginjeksikan arus. Alat ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu alat dalam menerima besaran arus yang telah ditentukan. Terdapat dua jenis *Current Injection*, yaitu *Primary Injection Test Set* dan *Secondary Injection Test Set*. Berdasarkan deskripsi yang terdapat pada katalog *Electrical test equipment for substation and protection relay testing* yang dikeluarkan oleh SMC Euro, prinsip dari alat ini adalah sebuah arus uji diinjeksikan ke bagian utama suatu sistem untuk menentukan bagaimana sistem berperilaku pada tingkat arus tertentu. Dengan menginjeksikan arus yang telah ditentukan kedalam pemutus arus, memungkinkan untuk menentukan apakah relay akan berjalan pada arus ini dan jika demikian, berapa lama arus tersebut dapat bertahan.

Kedua jenis tersebut memiliki kegunaan yang saling berkaitan, karena biasanya sebelum melakukan pengujian dengan menggunakan *Primary Injection* sebelumnya harus melakukan pengujian menggunakan *Secondary Injection*. *Primary Injection* digunakan untuk menguji keseluruhan rangkaian, sedangkan untuk menguji bagian – bagiannya seperti *relay* diuji menggunakan *Secondary Injection*. Hal tersebut karena *Secondary Injection* memiliki kemampuan menginjeksikan arus lebih rendah dari kemampuan yang dimiliki *Primary Injection*.

2.5 Penelitian yang Relevan

Dari berbagai literatur yang telah penulis temukan, terdapat beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian yang penulis lakukan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Andre Sutomo yang berjudul “Analisis Degradasi Tahanan Isolasi PVC Pada Kabel Jenis NYA Dengan Penginjeksian Arus”. Penelitian tersebut dilakukan pada tahun 2010. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur degradasi tahanan isolasi PVC terhadap perubahan temperatur pada konduktor jika konduktor tersebut dialiri arus listrik. Dari degradasi tahanan isolasi ini dapat diketahui karakteristik dari suatu bahan isolasi. Kabel diinjeksikan arus sebesar 11A (arus normal), 23A (arus maks), 35A (1,5 arus maks) dan 47A (2 kali arus maks). Dari hasil pengujian, didapatkan data kabel yang dialiri arus 11A dan 23A belum mengalami penurunan tahanan iosolasi yang signifikan. Penurunan tahanan isolasi mulai terlihat pada arus 35A dan 37A, yaitu terjadi penurunan sebesar 96,5 %. Dalam penelitian ini, kabel mengalami penurunan tahanan isolasi meskipun temperatur relatif stabil. Jika dilihat dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar temperatur dan lamanya pengujian mempengaruhi penurunan degradasi tahanan isolasi kabel.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Zikra Rufina, I Wayan Ratnata dan Hasbullah yang berjudul “Analisis Tegangan Tembus Kabel Instalasi Listrik”, penelitian dilakukan pada tahun 2014. Penelitian ini membahas tentang pengujian tegangan tembus pada bahan isolasi kabel listrik.

Variabel yang diamati adalah nilai tegangan maksimum yang mampu ditahan isolasi kabel sampai terjadi tembus listrik (*breakdown*) dengan waktu pengujian 300 detik. Pengujian dilakukan dengan alat uji tegangan tinggi *HV Test Transformer* tipe HV 9105 dengan spesifikasi kapasitas maksimum tegangan sampai 100 kV. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai tegangan uji normal bahan isolasi kabel apakah telah lolos uji atau tidak dari nilai standar yang telah ditetapkan oleh Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN), serta mengetahui sifat-sifat bahan isolasi kabel dan nilai tegangan minimum yang dapat menembus isolasi kabel serta besar arus bocor yang ditimbulkan. Pengujian dilakukan pada 11 sampel kabel tegangan rendah berisolasi PVC dan tegangan menengah berisolasi XLPE yang berlabel standar dan non-standar. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kabel yang berlabel standar memiliki ketahanan isolasi yang baik karena mampu menahan tegangan yang lebih besar dari nilai pengenalnya dengan waktu tunda tembus lebih besar dari waktu kritis. Sedangkan kabel yang tidak standar memiliki ketahanan uji tegangan tembus isolasi kabel yang rendah.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Ismariny dan Sri Saraswati W. yang berjudul “Perangkat Lunak Pengolah Data untuk Identifikasi Sederhana Material Plastik”. Penelitian ini bertujuan untuk membuat perangkat lunak berupa *Microsoft Access 2000* dan bahasa pemrograman *Visual Basic 6*. Dalam penelitian ini, peneliti terlebih dahulu melakukan pengujian yang dapat mengidentifikasi jenis polimer, yaitu dengan melakukan uji solder, *sink swim* dan uji bakar. Data yang didapatkan

kemudian dicocokkan dengan data dari literatur yang telah ditentukan. Kemudian data dimasukkan kedalam *database*. Kemudian pengguna perangkat lunak ini memasukan data kedalam *software*, dan *software* ini dapat mengidentifikasi jenis polimer yang digunakan atau setidaknya pilihan material polimer yang mungkin. Dari penelitian ini, penulis menyimpulkan bahwa uji bakar merupakan pengujian yang memiliki keakuratan lebih baik dari pengujian lain seperti uji solder dan *sink – swim*, karena pada uji bakar dapat menentukan jenis material polimer yang lebih jelas berdasarkan dengan parameter dan literatur yang telah ditentukan.

Ketiga penelitian yang telah dilakukan diatas terdapat kesamaan dengan penelitian yang akan penulis lakukan, yaitu penelitian karakteristik termal kabel khususnya bahan isolasi pada kabel dan perubahan fisik pada isolasi kabel tersebut. Sehingga dalam penelitian ini penulis ingin melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik termal pada kabel NYM 3 x 1,5 mm² berstandar IEC 60227-4 dengan menggunakan metode penginjeksian arus dan melakukan pengujian untuk mengetahui perubahan fisik pada setiap bagian isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel dengan uji bakar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang dilakukan untuk pengujian karakteristik termal pada kabel NYM 3x1,5 mm² untuk aplikasi instalasi listrik dalam ruangan (*indoor*) dengan penginjeksian arus ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Tegangan Rendah (TERA) PT. PLN (Persero) Area Tanjung Priuk, Jalan Yos Sudarso Kav 85, RT.10 RW.11 Sunter Jaya, Tanjung Priuk, Kota Jakarta Utara, DKI Jakarta. Dan untuk pengujian uji bakar pada bagian – bagian kabel dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.

Waktu penelitian berlangsung pada 2 Mei – 2 Juni 2017.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk menunjang penelitian ini, maka diperlukan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat	Bahan
1. Jangka Sorong	1. Kabel NYM 3x1,5 mm ² Berstandar IEC 60227-4
2. Meteran	2. Kabel NYM 3x1,5 mm ² Tidak Berstandar IEC 60227-4
3. Tang Potong	3. Gas butana
4. Obeng	
5. Konektor Kabel	
6. Penyangga Kabel	
7. <i>Torch</i>	
8. <i>Thermocouple Type - K</i>	
9. <i>Primery Injection Test Set LET 400 RD</i>	



Gambar 3.1 *Primery Injection Test Set LET 400 RD*



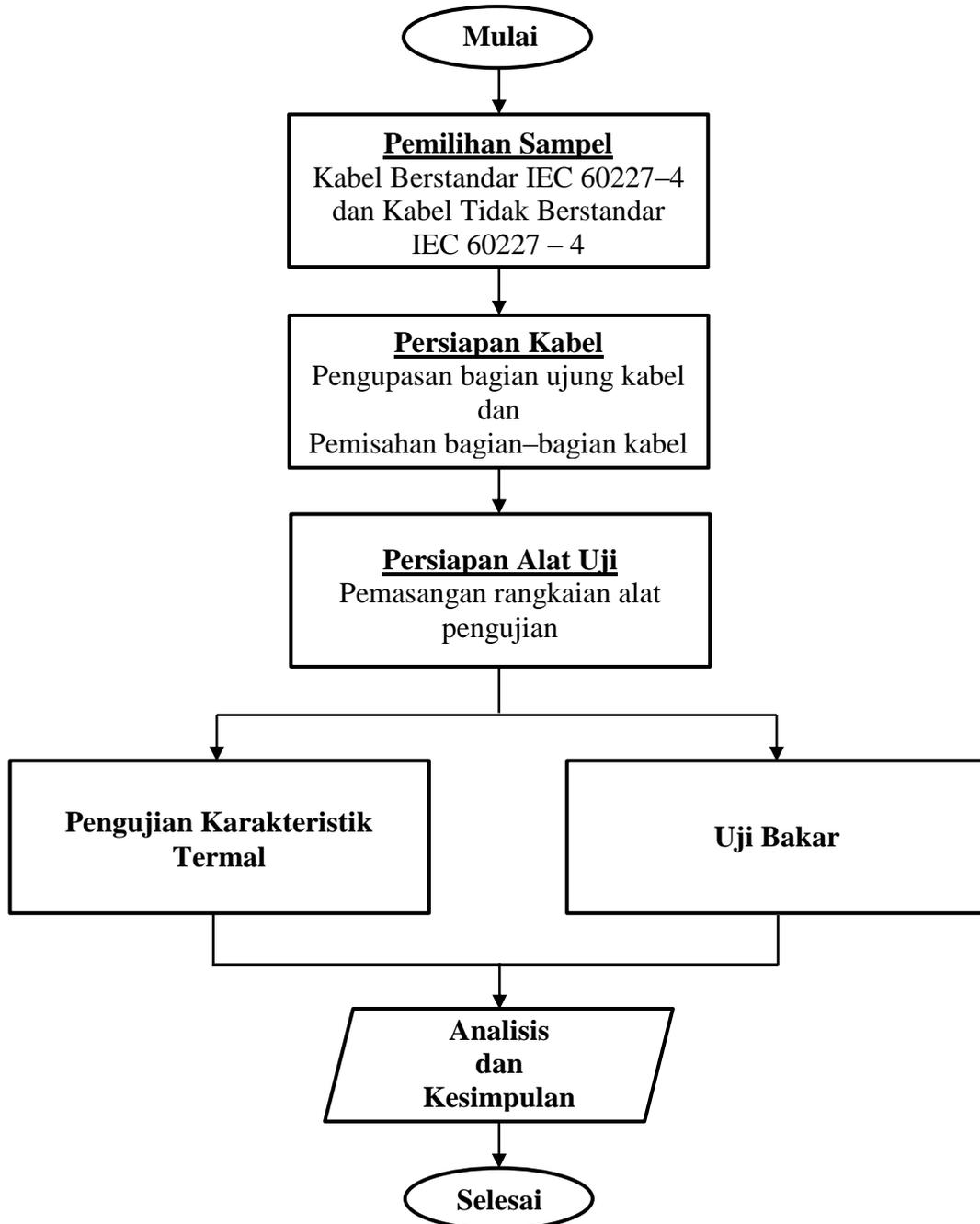
(a)

(b)

Gambar 3.2. (a) *Thermocouple Type – K*, (b) *Torch Dengan Tabung Gas Butana*

3.3 Diagram Alir Penelitian

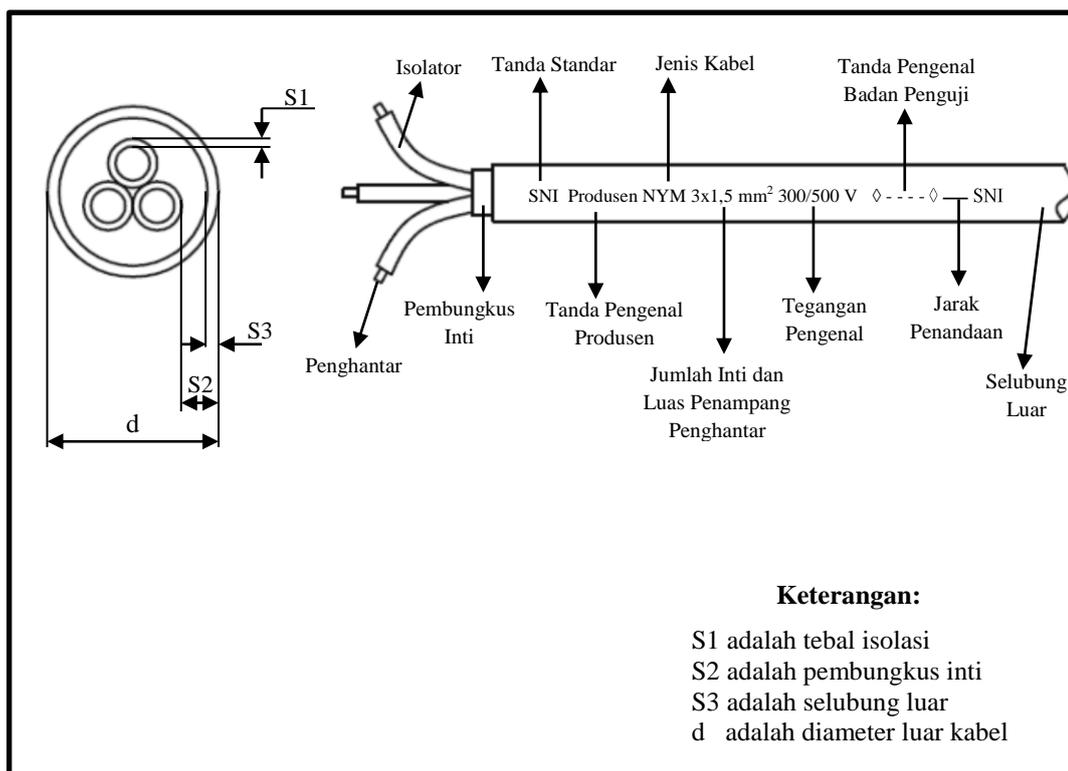
Diagram alir penelitian untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Sampel Pengujian

Sampel yang digunakan untuk pengujian ini adalah kabel NYM. Kabel jenis ini memiliki isolasi dan berselubung PVC sehingga cocok digunakan untuk aplikasi dalam ruangan tetapi tidak didalam tanah. Kabel NYM memiliki konstruksi sebagai berikut:



Gambar 3.4 Konstruksi Kabel NYM

Sumber: SNI 04-2699-1999

Adapun parameter teknis dari sampel pengujian yaitu kabel NYM $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ berstandar IEC 60227-4 yang didapat dari IEC 60227-4, adalah sebagai berikut:

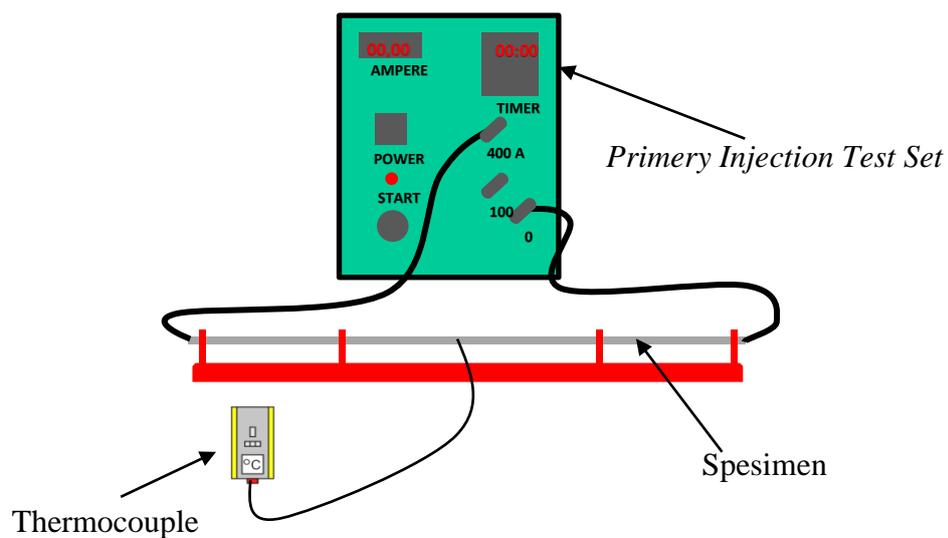
Jumlah dan luas penampang Konduktor	: $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$
Jumlah kawat dalam satu inti	: 1 buah (tunggal)
Diameter kawat	: 1,38 mm
Isolasi nominal (S1)	: 0,7 mm

Lapisan pembungkus inti (S2)		: 0,4 mm
Selubung nominal (S3)		: 1,2 mm
Diameter luar (d)	minimal	: 8,0 mm
	maksimal	: 10,5 mm
Resistansi isolasi pada 70°C		: minimum 0,011 M.Ohm.km

Kabel yang digunakan adalah kabel NYM 3x1,5 mm² dengan label standar IEC 60227-4 yang tercantum pada katalog kabel tersebut dan memiliki merk yang dikenal terbaik dipasaran. Sedangkan untuk kabel pembanding atau yang tidak berstandar adalah kabel NYM 3x1,5 mm² namun tidak tercantum IEC 60227-4 pada katalog kabel tersebut dan dengan harga yang jauh lebih murah jika dibandingkan dengan kabel pertama.

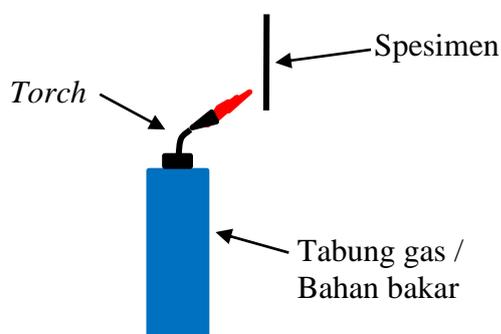
3.3.2 Rangkaian Pengujian

Pada pengujian terdapat 2 jenis kabel yang akan diuji, yaitu kabel berstandar IEC 60227-4 dan kabel tidak berstandar IEC 60227-4. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik termal kabel ketika dialiri arus melebihi kemampuan hantar arusnya menggunakan alat *Primery Injection Test Set* dan pengukuran temperatur menggunakan *thermocouple*. Sedangkan untuk pengaturan arus dan waktu sudah terdapat pada alat penginjeksi arus. Namun untuk mendapatkan data yang lebih akurat, peneliti menggunakan *stopwatch* untuk menghitung waktu penelitian serta pemakaian kamera untuk mengambil gambar dan merekam proses pengujian. Rangkaian pengujian karakteristik termal dapat diilustrasikan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Karakteristik Termal

Pengujian perubahan fisik menggunakan gas butana sebagai bahan bakarnya, api yang muncul dari *torch* membakar bagian ujung spesimen dengan sudut kemiringan $\pm 45^\circ$. Rangkaian uji bakar dapat diilustrasikan pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.6 Rangkaian Uji Bakar

3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, untuk dapat membantu proses pengumpulan data penulis menggunakan metode pengumpulan dengan melakukan eksperimen laboratorium. Metode eksperimen laboratorium yang dilakukan penulis adalah

melakukan pengujian karakteristik termal terhadap dua kabel yang biasa digunakan pada instalasi listrik dalam ruangan (*indoor*) yaitu kabel NYM 3x1,5 mm² berstandar IEC 60227-4 dan kabel NYM 3x1,5 mm² tidak berstandar IEC 60227-4. Selain itu, untuk dapat mendukung hasil pengujian karakteristik termal, penulis juga melakukan uji bakar pada setiap bagian kabel (isolasi, pembungkus inti dan selubung luar).

Sebelum melakukan kedua pengujian tersebut, penulis terlebih dahulu mengadakan studi literatur dari buku dan jurnal baik itu jurnal nasional maupun internasional yang ada kaitannya dengan pengujian kabel NYM berstandar IEC 60227-4, pengujian karakteristik termal kabel listrik, pengujian kabel menggunakan injeksi arus dan pengujian identifikasi jenis polimer.

3.5 Teknik Analisis Data

Pada pengujian karakteristik termal kabel dengan metode penginjeksian arus. Untuk menguji karakteristik termal kabel NYM 3x1,5 mm², sampel kabel dengan panjang 600 mm dirangkai pada rangkaian pengujian kemudian alat *Primery Injection Test Set* menginjeksikan arus sebesar 5 A (arus rendah), 10 A (arus normal), 19 A (arus maksimal), 38 A (2x arus maksimal), 57 A (3x arus maksimal) dan 76 A (4x arus maksimal). Masing – masing penginjeksian dilakukan selama 300 detik setiap sampel sesuai dengan yang ditetapkan IEC 60227-4. Sebelumnya *thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu ruangan. Setelah suhu ruangan diukur, *thermocouple* dan *stopwatch* diposisikan pada rangkaian pengujian untuk melakukan pengukuran data berupa temperatur dan waktu. Dan untuk memudahkan proses pengamatan, penulis memasang alat

perekam gambar berupa *handphone* agar perubahan yang terjadi dapat terekam dan diputar berulang kali.

Data yang diolah adalah kenaikan temperatur pada kabel ketika kabel tersebut menerima arus dan perubahan fisik yang terjadi pada kabel. Kenaikan temperatur kabel didapat dari angka yang muncul pada *thermocouple*. Kenaikan temperatur dan tahanan kabel dicatat setiap 30 detik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik termal kabel NYM 3x1,5 mm² berstandar IEC 60227-4 dan tidak berstandar IEC 60227-4 untuk instalasi listrik dalam ruangan yaitu dengan menganalisa perbedaan kenaikan temperatur dan perubahan tahanan kabel pada kedua kabel tersebut serta perubahan fisik yang terjadi pada kabel tersebut.

Pada pengujian perubahan fisik dengan metode uji bakar, sampel bagian – bagian kabel dibakar pada temperatur 260 °C. Kemudian, amati perubahan fisik yang terjadi selama proses pembakaran dan setelah sumber api dihilangkan. Parameter yang perlu diamati adalah warna nyala api, asap, pelunakan material dan hasil akhir pembakaran. Dari data yang diperoleh dengan parameter yang telah ditentukan, data tersebut disesuaikan dengan data dari literatur yang telah ada yaitu dari *plastic identification and elastomers chart* (Gambar 2.8 pada Bab II). Penyesuaian data tersebut dilakukan untuk menentukan jenis polimer yang digunakan pada bagian – bagian kabel.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah pengujian karakteristik termal kabel NYM 3x1,5 mm² dengan penginjeksian arus dan untuk mendukung hasil penelitian tersebut, dilakukan juga pengujian uji bakar pada bagian isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel NYM 3x1,5 mm² dengan temperatur bakar 260°C.

4.1.1 Pengujian Karakteristik Termal Dengan Peginjeksian Arus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik termal kabel terhadap arus dan waktu yaitu dengan melihat kenaikan temperatur dan perubahan fisik yang dialami oleh kabel berstandar IEC 60227 – 4 dan tidak berstandar IEC 60227 – 4. Sebelum pengujian dimulai, terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap dimensi atau ketebalan setiap bagian kabel, hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4

Diameter kawat : \varnothing 1,35 mm

Tebal isolasi (S1) : 0,85 mm

Selubung dalam (S2) : 0,40 mm

Selubung luar (S3) : 1,30 mm

Diameter luar kabel : \varnothing 9,25 mm

2. Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4

Diameter kawat : \varnothing 0,95 mm

Tebal isolasi (S1) : 0,85 mm

Selubung dalam (S2) : 0,75 mm

Selubung luar (S3) : 0,95 mm

Diameter luar kabel : \varnothing 9,50 mm

4.1.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut:

Temperatur Ruangan : 27,0 °C

Temperatur Kabel : 28,0 °C

Temperatur kabel yang didapat dinyatakan sebagai temperatur awal kabel (pada waktu 0 detik).

Tabel 4.1 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 5 Ampere

Arus (A)	5 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	28,0	28,1	28,1	28,2	28,2	28,3	28,4	28,5	28,5	28,7

Tabel 4.2 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 10 Ampere

Arus (A)	10 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	28,2	28,4	28,5	28,7	28,9	29,0	29,1	29,1	29,2	29,4

Tabel 4.3 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 19 Ampere

Arus (A)	19 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	29	29,5	30,0	30,4	31,0	31,4	31,8	32,1	32,5	32,9

Tabel 4.4 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 38 Ampere

Arus (A)	38 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	29,4	31,7	34,5	36,9	38,8	41,1	42,9	44,1	46,8	48,0

Tabel 4.5 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 57 Ampere

Arus (A)	57 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	38,0	47,7	58,2	64,3	73,2	79,5	87,5	90,5	95,6	99,9

Tabel 4.6 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere

Arus (A)	76 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	44,2	57,7	71,6	91,4	111,6	130,5	147,4	161,2	169	178

Pada arus 5 Ampere (arus rendah), 10 Ampere (arus Normal), 19 Ampere (arus maksimal) dan 38 Ampere (arus 2 kali maksimal) kabel belum terjadi kenaikan temperatur yang signifikan dan tidak ada perubahan fisik yang terjadi pada kabel.

Pada arus 57 Ampere (arus 3 kali maksimal) kabel sudah mulai terjadi perubahan fisik yaitu timbulnya bau khas kabel gosong pada waktu 229 detik dan temperatur 89,1 °C. Sedangkan tercapainya temperatur pemakaian maksimal yang dapat diterima kabel yaitu sebesar 70 °C terjadi pada waktu 145 detik.

Pada saat kabel dialiri arus sebesar 76 ampere (4 kali maksimal) terjadi perubahan fisik pada kabel tersebut, yaitu pada waktu 131 detik dan temperatur 95,6 °C mulai muncul asap pada kabel, dan pada waktu 168 detik temperatur 123,6 °C kabel sudah mulai meleleh. Pada waktu 300 detik temperatur 178 °C kabel meleleh namun tidak menetes.



Gambar 4.1. Perubahan Fisik Kabel Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere



Gambar 4.2 Kabel Berstandar IEC 60227 – 4 Setelah Dialiri Arus 76 Ampere

4.1.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4

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

Temperatur Ruangan : 27,0 °C

Temperatur Kabel : 28,0 °C

Temperatur kabel yang didapat dinyatakan sebagai temperatur awal kabel (pada waktu 0 detik).

Tabel 4.7 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 5 Ampere

Arus (A)	5 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	28,1	28,2	28,4	28,5	28,6	28,9	29,0	29,0	29,3	29,6

Tabel 4.8 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 10 Ampere

Arus (A)	10 Ampere (arus normal)									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	29,0	29,6	30,0	30,3	30,6	30,7	31,2	31,5	31,6	31,8

Tabel 4.9 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 19 Ampere

Arus (A)	19 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	29,7	31,3	32,6	34,8	35,8	37,4	38,6	39,3	40,1	41,6

Tabel 4.10 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 38 Ampere

Arus (A)	38 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	40,1	48,3	55,3	63,2	68,3	74,8	81,0	84,8	90,2	93,5

Tabel 4.11 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 57 Ampere

Arus (A)	57 Ampere									
Waktu (s)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	66,2	102,2	120,8	141,3	157,7	179	-	-	-	-

Tabel 4.12 Karakteristik Termal Kabel NYM 3 x 1,5 mm² Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere

Arus (A)	76 Ampere									
Waktu (s)	30	33	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur (°C)	114,8	123,6	-	-	-	-	-	-	-	-

Pada arus 5 Ampere (arus rendah), 10 Ampere (Arus Normal), 19 Ampere (Arus maksimal) dan kabel belum terjadi kenaikan temperatur yang signifikan, dan tidak adanya perubahan fisik yang terjadi pada kabel. Sedangkan pada saat kabel dialiri arus sebesar 38 Ampere (arus 2 kali maksimal) terjadi perubahan fisik berupa munculnya bau gosong pada kabel.

Pada saat kabel dialiri arus sebesar 57 Ampere, kabel tidak mampu menahan arus selama waktu yang ditentukan yaitu selama 300 detik, kabel hanya mampu menahan arus tersebut selama 178 detik. Ketika kabel melebihi waktu tersebut, arus mengalami penurunan menuju 50 Ampere dan terus menurun. Kabel mengalami perubahan fisik sejak awal penginjeksian arus, yaitu pada 30 detik pertama pengujian sudah muncul asap pada kabel dan pada detik ke 88 temperatur 119 °C muncul 2 titik sumber asap yang cukup besar dan pada detik ke 178 temperatur 178,2 °C sudah terdapat 4 titik sumber asap yang besar. Titik asap muncul karena terjadi keretakan pada selubung kabel, namun selubung kabel tersebut tidak terlihat mengalami pelelehan.

Pada saat kabel diinjeksikan arus sebesar 76 Ampere, digital amperemeter pada alat injeksi tidak mencapai angka tersebut, melainkan hanya mampu mencapai 63 Ampere meskipun arus terus dinaikan. Sehingga kabel hanya diberikan arus sebesar 62 Ampere, namun arus tersebut tidak dapat bertahan lama,

arus terus menerus turun dan pada waktu 20 detik, arus turun menuju 59 Ampere dan pada detik ke 34 arus turun hingga ke 54 Ampere. Pengambilan data dilakukan hanya mencapai waktu 33 detik dengan arus sebesar 59 Ampere. Perubahan fisik yang terjadi adalah munculnya 4 titik sumber asap pada kabel yang terjadi pada detik ke 18 dengan temperatur 92,8 °C dan asap yang muncul sangat banyak seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Namun kabel tidak terlihat mengalami meleleh selama pengujian dilakukan, hanya terjadi retak pada selubung kabel.



Gambar 4.3 Perubahan Fisik Kabel Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Ketika Dialiri Arus 76 Ampere



Gambar 4.4 Kabel Tidak Berstandar IEC 60227 – 4 Setelah Dialiri Arus 76 Ampere

4.1.2 Pengujian Perubahan Fisik Dengan Uji Bakar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan fisik yang dimiliki pada bagian – bagian (isolator, pembungkus inti dan selubung luar) kabel berstandar IEC 60227 – 4 dan kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 dengan menggunakan uji bakar. Pengujian dilakukan dengan membakar bagian ujung kabel pada temperatur 260 °C, kemudian mengamati warna nyala api, asap, pelunakan material dan hasil dari pembakaran. Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.13 Hasil Uji Bakar Pada Isolator (S1)

Parameter	Kabel Berstandar IEC 60227 – 4	Kabel Tidak Berstandar IEC 60227 – 4
Warna Nyala	Kuning dengan tepi hijau	Kuning dengan tepi hijau
Asap	• Berwarna putih	• Berwarna Putih
Pelunakan	Melunak	Melunak
Lain – lain	Padam ketika sumber api dihilangkan	Padam ketika sumber api dihilangkan

Tabel 4.14 Hasil Uji Bakar Pada Pembungkus Inti (S2)

Parameter	Kabel Berstandar IEC 60227 – 4	Kabel Tidak Berstandar IEC 60227 – 4
Warna Nyala	Kuning dengan sedikit hijau	Kuning
Asap	• Berwarna putih • Sedikit	• Berwarna Hitam • Banyak
Pelunakan	Melunak	Tidak terlihat adanya pelunakan (Mengeras dan rapuh)
Lain – lain	Padam ketika sumber api dihilangkan	Tetap menyala ketika sumber api dihilangkan

Tabel 4.15 Hasil Uji Bakar Pada Selubung Luar (S3)

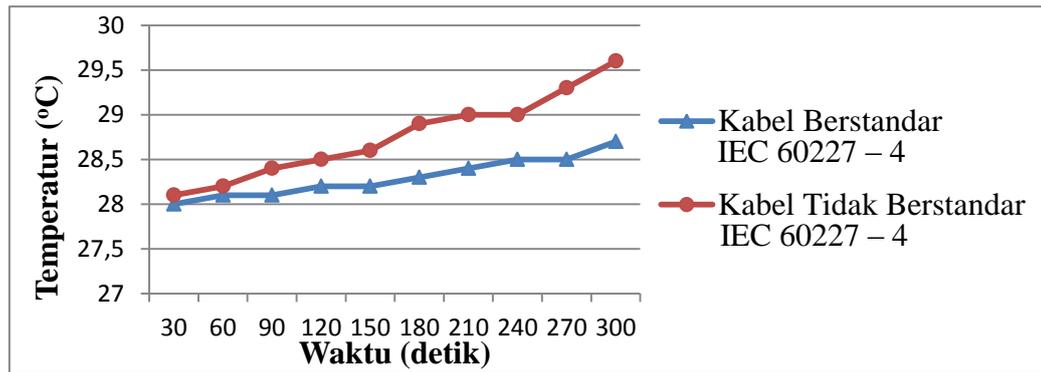
Parameter	Kabel Berstandar IEC 60227 – 4	Kabel Tidak Berstandar IEC 60227 – 4
Warna Nyala	Kuning dengan sedikit hijau	Kuning
Asap	<ul style="list-style-type: none"> • Berwarna putih • Sedikit 	<ul style="list-style-type: none"> • Berwarna Hitam • Banyak
Pelunakan	Melunak	Melunak
Lain – lain	Padam ketika sumber api dihilangkan	Padam ketika sumber api dihilangkan

4.2 Analisis Data Penelitian

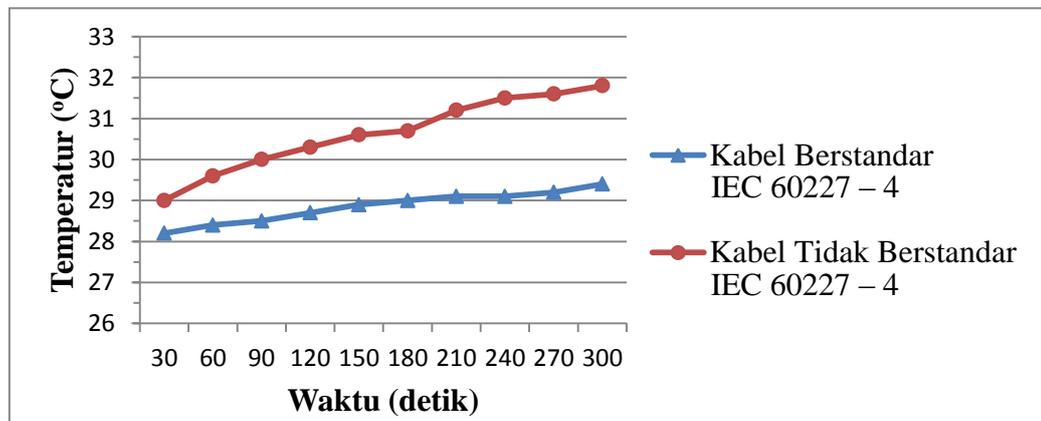
Data hasil pengujian karakteristik termal kabel NYM 3 x 1,5 mm² menunjukkan kenaikan temperatur pada setiap 30 detik dan kenaikan temperatur pada setiap arus menunjukkan persentase yang berbeda. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 4.12 dan gambar 4.1 sampai gambar 4.6.

Tabel 4.16 Analisis Data Hasil Pengujian Karakteristik Termal

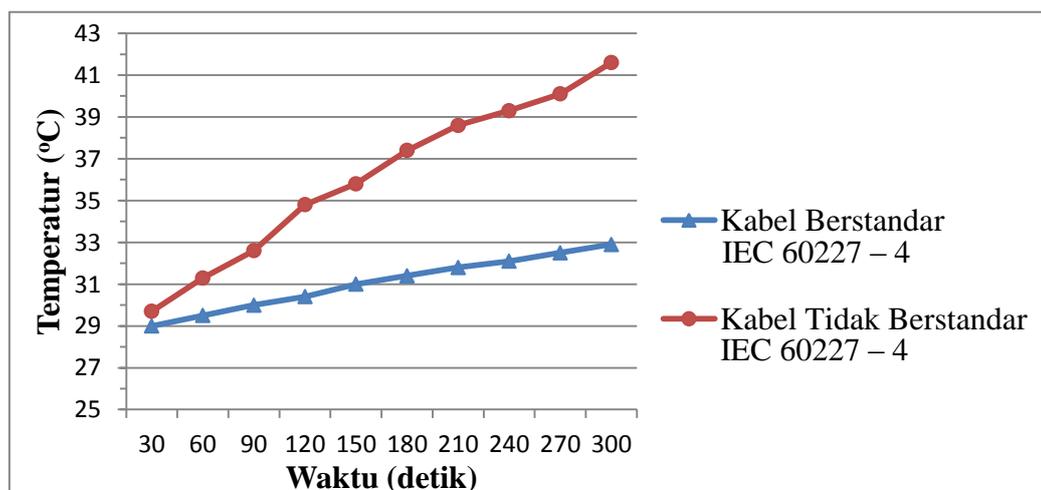
Jenis Kabel	Arus (A)	Temperatur Akhir (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	% Kenaikan
Berstandar IEC 60227 – 4	5	28,7	0,7	2,5
	10	29,4	1,7	5
	19	32,9	4,9	17,5
	38	48,0	20	71,4
	57	99,9	71,9	256,8
	76	178	150	535,7
Tidak Berstandar IEC 60227 – 4	5	29,6	1,6	5,7
	10	31,8	2,7	9,7
	19	41,6	13,6	48,7
	38	93,5	65,5	234,8
	57	179 (180 detik)	151	539,3
	76	123,6 (33 detik)	95,6	342,7



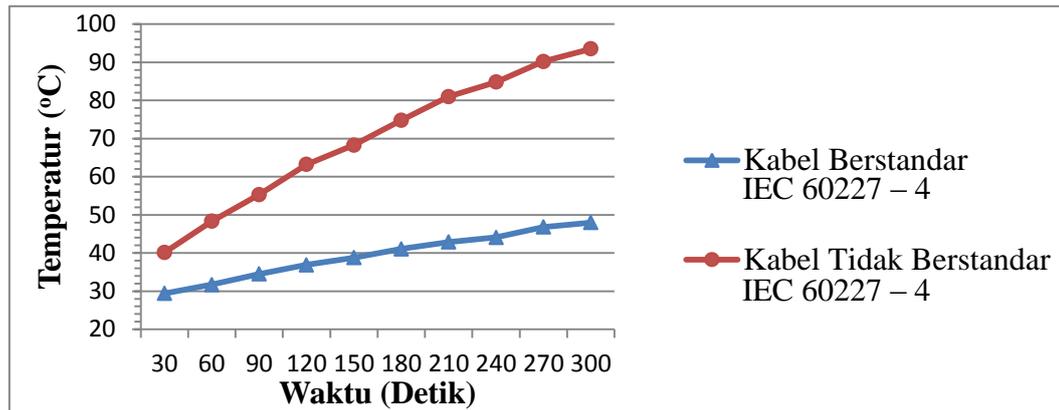
Gambar 4.5 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Pada Arus 5 Ampere



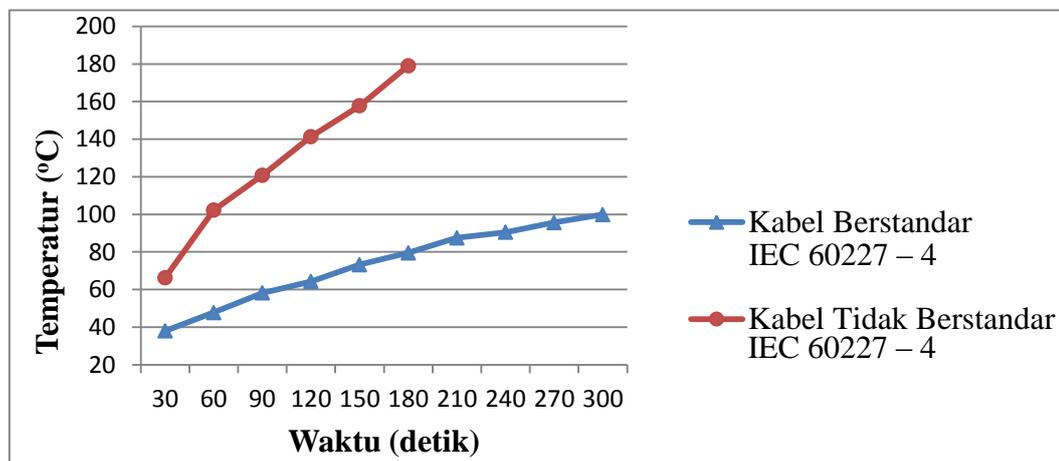
Gambar 4.6 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Pada Arus 10 Ampere



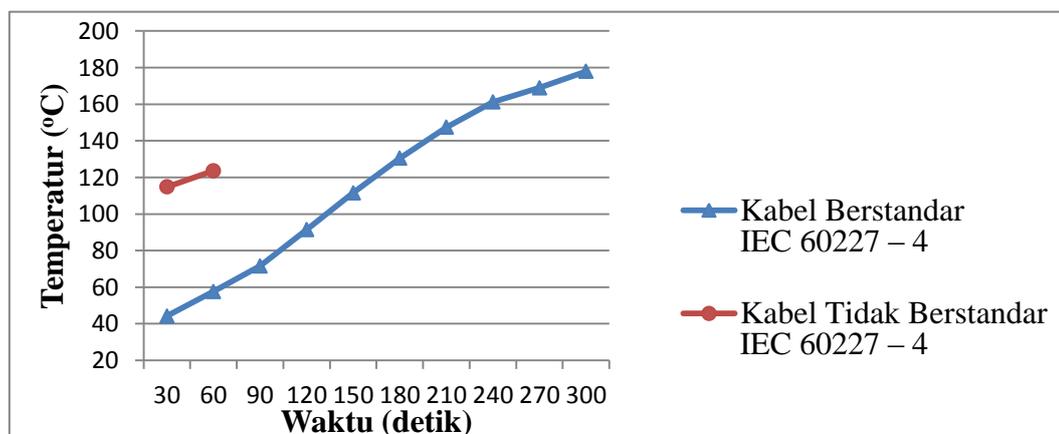
Gambar 4.7 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Pada Arus 19 Ampere



Gambar 4.8 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Pada Arus 38 Ampere



Gambar 4.9 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Pada Arus 57 Ampere



Gambar 4.10 Grafik Kenaikan Temperatur Kabel NYM 3 X 1,5 mm² Pada Arus 76 Ampere

Berdasarkan data yang ditunjukkan dari tabel 4.12, dapat dilihat untuk kabel yang dialiri arus 5A, 10A, dan 19A belum terjadi kenaikan temperatur yang signifikan baik kabel berstandar IEC 60227 – 4 maupun tidak berstandar IEC 60227 – 4. Ruangan pengujian yang berAC dengan temperatur mencapai 27 °C cukup mempengaruhi temperatur kabel selama pengujian pada arus tersebut. Sedangkan arus yang dialirkan tidak memberikan banyak pengaruh.

Meskipun belum terjadi kenaikan temperatur yang signifikan, jika dilihat dari tabel 4.12 kedua kabel pada arus 5A, 10A dan 19A memiliki kenaikan temperatur yang berbeda. Kabel yang berstandar IEC 60227 – 4 memiliki kenaikan temperatur 2 kali lebih rendah dari kenaikan temperatur yang terjadi pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4. Selain itu, berdasarkan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3 kabel berstandar IEC 60227 – 4 memiliki kenaikan temperatur yang relatif stabil.

Kenaikan temperatur yang signifikan mulai terjadi pada arus 38 Ampere. Pada arus tersebut kabel standar IEC 60227 – 4 masih belum menunjukkan adanya perubahan fisik (lihat tabel 4.4), sedangkan untuk kabel yang tidak berstandar IEC 60227 – 4 sudah terjadi perubahan fisik berupa munculnya bau gosong pada kabel (lihat tabel 4.10). Pada arus 38 Ampere kabel berstandar IEC 60227 – 4 memiliki kenaikan temperatur 3 kali lebih rendah dari kenaikan temperatur kabel yang tidak berstandar IEC 60227 – 4. Berdasarkan grafik pada gambar 4.4, kedua kabel mengalami kenaikan temperatur yang relatif stabil, meskipun kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 memiliki kenaikan temperatur yang lebih tinggi.

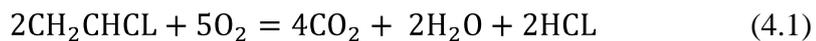
Pada arus 57 Ampere, kedua kabel mengalami kenaikan temperatur yang signifikan. Hal ini terlihat pada tabel 4.12, sedangkan grafik pada gambar 4.5

menunjukkan kenaikan temperatur yang meningkat cukup signifikan terjadi pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4. Namun pada pengujian arus ini, kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 hanya dilakukan sampai waktu 180 detik, hal ini dikarenakan terjadi penurunan arus sebesar 7 Ampere dari arus awal.

Pada arus 57 Ampere ini temperatur kedua kabel mencapai temperatur maksimal yang diijinkan untuk pemakaian kabel NYM 3 x 1,5 mm² yaitu sebesar 70 °C. Untuk kabel berstandar IEC 60227 – 4 terjadi pada waktu 145 detik, sedangkan untuk kabel yang tidak berstandar IEC 60227 – 4 terjadi hanya dalam waktu 37 detik. Dengan demikian kabel yang berstandar IEC 60227 – 4 mampu menahan kenaikan temperatur 4 kali lebih lama dari kemampuan yang dimiliki kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4.

Sedangkan kenaikan temperatur yang terjadi, pada waktu yang sama (180 detik) kabel yang berstandar memiliki kenaikan temperatur 3 kali lebih rendah dari kenaikan temperatur yang terjadi pada kabel tidak standar. Jika dilihat dari perubahan fisik yang terjadi pada kedua kabel, kabel berstandar belum terjadi perubahan fisik yang besar yaitu hanya adanya bau gosong pada kabel, namun belum terlihat asap maupun lelehan kabel. Sedangkan untuk kabel yang tidak berstandar, perubahan fisik sudah terlihat pada arus ini yaitu munculnya 4 titik retak pada selubung kabel yang dan mengeluarkan asap yang cukup banyak.

Asap yang ditimbulkan pada pengujian ini merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna dari material isolasi kabel. Reaksi pembakaran sempurna akan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O), sedangkan pada pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan karbon monoksida dan air. Reaksi pembakaran dari material PVC dapat digambarkan sebagai berikut.



Jika melihat reaksi pembakaran PVC, asap yang timbul merupakan hasil kombinasi dari CO_2 dan HCL . Hal ini diindikasikan dengan adanya bau gosong pada saat kabel mengeluarkan asap. Selain itu, pembakaran PVC juga menghasilkan H_2O (Air).

Pada saat kabel dialiri arus sebesar 76 Ampere, kabel mengalami kenaikan temperatur yang sangat signifikan. Untuk kabel berstandar dilakukan pengujian selama waktu yang ditentukan yaitu 300 detik. Sedangkan untuk kabel yang tidak berstandar, pengujian hanya dilakukan selama 33 detik. Hal ini dikarenakan terjadinya penurunan arus yang sangat signifikan, meskipun diberikan arus sebesar 76 Ampere, namun Amperemeter pada alat tidak menunjukkan angka tersebut. Kabel hanya dapat dialiri arus sebesar 63 Ampere meskipun arus terus dinaikan. Sehingga kabel hanya diberikan arus sebesar 62 Ampere, namun arus tersebut tidak dapat bertahan lama, arus terus menerus turun dan pada waktu 20 detik, arus turun menuju 59 Ampere dan pada detik ke 34 arus turun hingga ke 54 Ampere. Turunnya arus yang signifikan tersebut membuat pengambilan hanya dapat dilakukan selama 33 detik.

Meskipun kabel berstandar menerima arus yang lebih besar dari kabel yang tidak berstandar, kenaikan temperatur kabel berstandar tetap lebih rendah dari kenaikan temperatur kabel tidak berstandar, dengan perbedaan temperatur pada 30 detik pertama adalah sebesar $70,6^\circ\text{C}$ (2,6 kali). Pada arus ini, kedua kabel menunjukkan perubahan fisik yang berbeda. Untuk kabel berstandar, perubahan fisik yang terjadi adalah melelehnya bagian isolator hingga selubung luar kabel.

Sedangkan kabel tidak berstandar, kabel tidak terlihat meleleh, namun adanya keretakan pada selubung kabel dan muncul asap yang sangat banyak.

Terjadinya penurunan arus pada kabel tidak berstandar saat pengujian dilakukan karena kabel tidak berstandar tidak memiliki kemampuan untuk mengalirkan arus yang lebih besar lagi. Kemampuan kabel mengalirkan atau menghantarkan arus dipengaruhi oleh nilai resistansi konduktor. Karena semakin besar resistansi konduktor, maka semakin kecil arus yang dapat dialirkan. Hal ini sesuai dengan rumus persamaan hukum Ohm, yaitu sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{R} \quad (4.2)$$

dengan I adalah arus yang mengalir (A), V adalah tegangan (v) dan R adalah resistansi konduktor (Ω). Sedangkan resistansi konduktor dapat dilihat pada persamaan 2.3. Dari persamaan tersebut, nilai resistansi konduktor berbanding terbalik dengan luas penampang konduktor. Berdasarkan data pengukuran dimensi setiap bagian kabel, diameter konduktor untuk kabel tidak berstandar lebih kecil dari diameter konduktor yang dimiliki oleh kabel berstandar. Sehingga kabel yang tidak berstandar memiliki resistansi konduktor yang lebih besar, hal ini menyebabkan arus yang dapat dilalui kabel tersebut lebih rendah dari kabel berstandar.

Selain mempengaruhi kemampuan menghantarkan arus, resistansi juga memiliki pengaruh terhadap kenaikan temperatur. Karena semakin besar resistansi pada suatu kabel, maka semakin besar temperatur yang ditimbulkan.

Data hasil uji bakar dapat digunakan untuk mengetahui perubahan fisik pada bagian isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel ketika dilakukan pembakaran. Pada bagian isolator, perubahan fisik kedua kabel menunjukkan hasil

yang sama yaitu mengalami pelunakan, api berwarna kuning dengan tepi hijau, asap berwarna putih dan api langsung padam ketika sumber api dihilangkan.

Hasil pengujian tidak jauh berbeda pada hasil uji bakar selubung luar, kedua kabel mengalami pelunakan, api berwarna kuning, dan padam ketika sumber api dihilangkan, namun asap yang ditimbulkan pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 cukup banyak dan berwarna hitam.

Pada pembungkus inti, kedua kabel memiliki perbedaan perubahan fisik. Kabel berstandar IEC 60227 – 4 mengalami pelelehan ketika dibakar dan asap berwarna putih serta api padam ketika sumber apinya dihilangkan. Sedangkan pembungkus inti kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 ketika dibakar, pembungkus inti tidak terlihat adanya pelelehan melainkan terjadi pengerasan pada bagian yang dibakar. Asap yang ditimbulkan banyak dan berwarna hitam, selain itu api tidak langsung padam ketika sumber api dihilangkan.

Perubahan fisik yang dimiliki pembungkus inti pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 mengakibatkan kabel tersebut tidak terlihat mengalami meleleh ketika pengujian Karakteristik termal dengan penginjeksian arus dilakukan. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian Karakteristik termal, dimana kabel berstandar IEC 60227 – 4 mengalami pelelehan namun dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi, sedangkan kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 tidak terlihat mengalami pelelehan namun memiliki temperatur yang sangat tinggi.

4.3 Pembahasan

Hasil dari analisis data pengujian menunjukkan adanya perbedaan Karakteristik termal pada kabel berstandar IEC 60227 – 4 dan kabel tidak

berstandar IEC 60227 – 4. Karakteristik termal berupa kenaikan temperatur untuk kabel berstandar IEC 60227 – 4 lebih baik karena memiliki kenaikan temperatur 2 sampai 3 kali lebih rendah dari kenaikan temperatur kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4.

Perbedaan karakteristik termal pada kabel disebabkan karena adanya perbedaan pada dimensi kabel, baik itu konduktor, isolator, pembungkus inti dan selubung luar kabel dan juga adanya perbedaan perubahan fisik yang dialami kedua kabel ketika dilakukan uji bakar.

Perbedaan Perubahan fisik yang terjadi adalah pada bagian pembungkus inti kabel. Kabel berstandar IEC 60227 – 4 mengalami pelelehan ketika dibakar, asap berwarna putih dan api langsung padam ketika sumber apinya dihilangkan. Sedangkan pembungkus inti kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 ketika dibakar, pembungkus inti tidak mengalami pelelehan melainkan terjadi pengerasan pada bagian yang dibakar. Asap yang ditimbulkan banyak dan berwarna hitam, serta api tidak langsung padam ketika sumber api dihilangkan.

Kabel yang tidak meleleh namun memiliki temperatur yang tinggi memiliki resiko terjadinya kebakaran yang lebih besar dari kabel yang meleleh namun memiliki temperatur yang lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan kabel dengan temperatur tinggi akan lebih mudah membakar material lain disekitar kabel tersebut. Selain itu banyaknya asap akan menimbulkan bahaya terhadap kesehatan, terutama pada pernapasan apabila terhirup oleh manusia.

4.4 Aplikasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini adalah karakteristik termal dan perubahan – perubahan fisik yang terjadi pada kabel berstandar IEC 60227 – 4 dan kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4 memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Sehingga hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk menentukan pilihan masyarakat dalam memilih dan mengaplikasikan kabel instalasi listrik yang memiliki resiko kebakaran yang lebih rendah.

Pada bidang pendidikan, hasil penelitian ini dapat diaplikasikan sebagai ilmu pengetahuan tambahan yaitu mengetahui karakteristik termal kabel terhadap arus dan waktu dengan melihat kenaikan temperatur dan perubahan fisik yang dialami oleh kabel. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dan bahan pendukung untuk dapat dilakukan penelitian yang lebih lanjut, seperti mengetahui unsur – unsur yang terkandung pada setiap bagian kabel, mengetahui temperatur setiap bagian kabel, dan penelitian lanjutan lainnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dari pengujian karakteristik termal kabel NYM 3x1,5 mm² untuk aplikasi instalasi listrik dalam ruangan (*indoor*) dengan penginjeksian arus dan melakukan uji bakar terhadap bagian isolasi, pembungkus inti dan selubung luar kabel, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik termal kabel berstandar IEC 60227 – 4 memiliki kenaikan temperatur 2 sampai 3 kali lebih rendah dari kenaikan temperatur kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4.
2. Hasil uji bakar pada bagian isolator dan selubung luar pada kabel berstandar IEC 60227 – 4 dan tidak berstandar IEC 60227 – 4 memiliki perubahan fisik yang sama, yaitu mengalami pelunakan, api berwarna kuning dengan tepi hijau, asap berwarna putih dan langsung padam ketika sumber api dihilangkan. Pada bagian pembungkus inti, terdapat adanya perbedaan perubahan fisik, kabel berstandar IEC 60227 – 4 mengalami pelelehan ketika dibakar dan asap berwarna putih serta api padam ketika sumber apinya dihilangkan. Sedangkan pembungkus inti pada kabel tidak berstandar IEC 60227 – 4, tidak terlihat adanya pelelehan melainkan terjadi pengerasan pada bagian yang dibakar. Asap yang ditimbulkan banyak dan berwarna hitam, serta api tidak langsung padam ketika sumber api dihilangkan.

5.2 Saran

1. Diperlukan pengujian untuk mengetahui unsur – unsur penyusun bagian – bagian kabel dengan uji *infrared spectroscopy*, EDX dan lainnya.
2. Memperdalam dasar teori yang menguatkan melalui studi literatur untuk menentukan parameter pengujian dan dalam melakukan analisa hasil pengujian karakteristik termal kabel.
3. Ketika melakukan pengujian, lebih teliti dalam menjaga kestabilan arus dan posisi *thermocouple*.
4. Ketika melakukan pengujian, perlu diperhatikan faktor K3 contohnya penggunaan masker dan ruangan harus memiliki fasilitas untuk membuang gas beracun yang dihasilkan dari perubahan fisik pada kabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, D. dan Ramadhan, A. I. (2014). Analisis Karakteristik Kenaikan Temperatur Pada Inti Kabel NYM 3x1,5mm² Terhadap Tahanan Isolasi Bahan. *Simposium Nasional Teknologi Terapan*, 2:E37-E45.
- Anixter. (2013). *Technical Information Handbook Wire and Cable*, Ed ke-5. Glenview: Anixter Inc.
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 04-0225-2000: Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Callister, D. William, Jr. (2007). *Material Science and Engineering an Introduction*, Ed ke-7. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Cengel, Y. A. dan Ghajar, A. J. (2015). *Heat And Mass Transfer: Fundamentals & Applications*, Ed ke-5. New York: McGraw Hill.
- Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi DKI Jakarta. (2017). Data Statistik Kebakaran Berdasarkan Penyebab pada Tahun 2016. www.jakartafire.net/statistik. diakses pada 1 Februari 2017.
- Harten, P. V., dan Setiawan, E. (1991). *Instalasi Listrik Arus kuat*. Bandung: Bina Cipta.
- International Electrotechnical Commission 60227 – 4. (1997). *Polyvinyl Chloride Insulated Cables of Rated Voltages Up To and Including 450/750 V – Part 4: Sheated Cables For Fixed Wiring*, Ed ke – 2.1. Geneva: IEC Central Office.
- International Electrotechnical Commission 60227 – 1. (1997). *Polyvinyl Chloride Insulated Cables of Rated Voltages Up To and Including 450/750 V – Part 1: General Requirements*, Ed ke – 2.2. Geneva: IEC Central Office.
- Ismariny dan Saraswati S. W. Perangkat Lunak Pengolah Data Untuk Identifikasi Sederhana Material Plastik. Jakarta: ISSN 1410 – 8720 : 97 – 103.
- Kelvin., Yuliana, P. E., dan Rahayau, S. (2015). Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api pada Industri Textile. *IDeaTech*, Hlm 36-43.
- Kumar, A. dan Gupta, R. K. (1998). *Fundamental Of Polymers*. San Juan: McGraw-Hill.

- Menon, G. B dan Vakil, J. N. *Handbook on Building Fire Codes*. Kanpur: Dept. Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Moore, G. F. (1997). *Electric Cables Handbook*, Ed ke-3. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. (2008). Nomor : 26/Prt/M/2008 Tentang Persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan. Departemen Pekerjaan Umum, Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- PT PLN (Persero). (2010). Buku 1: Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.
- PT PLN (Persero). (1992). SPLN 42 – 2:1992, Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt.
- Schroll, R. C. (2002). *Industrial Fire Protection Handbook*, Ed ke-2. Boca Raton: CRC Press.
- Shah, V. (2000). *Plastic and elastomer identification chart*. Brea: LCC Consultec.
- SMC. *Electrical test equipment for substation and protection relay testing*. Madrid: Euro SMC.
- Surdia, T., dan Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan teknik*. Jakarta: Pradnya Paramital.
- Sutrisno, Himawan H., Wirawan, Riza., dan Triyono. (2013). Uji Kemampu – Bakaran Pembungkus Kabel NYM Berstandar SNI Dengan Differential Scanning Calorimetric. *SETRUM*, 1(2):22-24.
- Suyamto. (2009). *Fisika Bahan Listrik*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Thue, William A. (2003). *Electrical Power Cable Engineering*, Ed ke-3. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Tobing, B. L. (2012). *Dasar – Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Ed ke-2. Jakarta: Penerbit Erlangga.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Surat Keterangan Penerimaan Melakukan Penelitian

 **PT PLN (Persero)
DISTRIBUSI JAKARTA RAYA**

Jalan Mohammad Ikhwan Ridwan Rais No. 1 - Jakarta Pusat 10110
 Telp. : (021) 3454000 - 3455000 Kotak Pos : 1141
 Facsimile (021) 3456694 Website : www.pln.co.id/disjaya

Call Center : (kode area) 123 Facebook : pln123
 E-mail : pln123@pln.co.id Twitter : @pln_123

Nomor : 0417 /SDM.04.06/DISJAYA/2017
 Surat Sdr.No. : 2090/UN39.12/KM/2017 26 April 2017
 Perihal : Jawaban Permohonan Izin Mengadakan Penelitian untuk Penulisan Skripsi

Kepada
 Yth. Kepala Biro, Kemahasiswaan,
 dan Hubungan Masyarakat
 Universitas Negeri Jakarta
 Di Jakarta

Sehubungan dengan surat dari Universitas Negeri Jakarta Nomor. 2090/UN39.12/KM/2017 tanggal 7 April 2017, perihal Permohonan Izin Mengadakan Penelitian untuk Penulisan Skripsi, maka dengan ini disampaikan bahwa kami dapat menerima mahasiswa/i tersebut, yaitu:

NO.	NAMA	NIM	JURUSAN
1.	Wahyu Rizky	5315131658	Teknik Mesin

Untuk melaksanakan penelitian pada perusahaan kami mulai tanggal 2 Mei s.d 2 Juni 2017 dalam rangka memberi kesempatan kepada mahasiswa/i yang bersangkutan untuk menambah pengetahuan di perusahaan dengan catatan sebagai berikut:

- Mematuhi tata tertib dan peraturan perusahaan yang berlaku
- PT PLN (Persero) tidak menyediakan biaya transportasi & konsumsi
- Keselamatan & kesehatan kerja menjadi tanggung jawab pihak perguruan tinggi/sekolah
- Selama melaksanakan penelitian agar menggunakan atribut/ jaket almamater

Sebagai narasumber dari PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya adalah:

Jabatan : Deputi Manajer Perencanaan Konstruksi
 PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya

Demikian untuk menjadi maklum dan dipergunakan seperlunya.

MANAJER
 SUMBERDAYA MANUSIA DAN ORGANISASI



EL 1001

Lampiran 2: Katalog Kabel Berstandar IEC 60227 – 4

CONVERSION TABLE

Nominal cross section (mm ²)	Equivalent AWG	Wire Gauge		Nominal cross section (mm ²)	Equivalent AWG	Wire Gauge	
		AWG	BWG			mm ²	AWG
0.0001	44	22	22	0.0001	44	22	22
0.0004	42	20	20	0.0004	42	20	20
0.0009	40	18	18	0.0009	40	18	18
0.0016	38	16	16	0.0016	38	16	16
0.0025	36	14	14	0.0025	36	14	14
0.0036	34	12	12	0.0036	34	12	12
0.0049	32	10	10	0.0049	32	10	10
0.0064	30	8	8	0.0064	30	8	8
0.0081	28	6	6	0.0081	28	6	6
0.0100	26	4	4	0.0100	26	4	4
0.0121	24	3	3	0.0121	24	3	3
0.0144	22	2	2	0.0144	22	2	2
0.0169	20	1	1	0.0169	20	1	1
0.0196	18	0	0	0.0196	18	0	0
0.0225	16	-	-	0.0225	16	-	-
0.0256	14	-	-	0.0256	14	-	-
0.0289	12	-	-	0.0289	12	-	-
0.0324	10	-	-	0.0324	10	-	-
0.0361	8	-	-	0.0361	8	-	-
0.0400	6	-	-	0.0400	6	-	-
0.0441	4	-	-	0.0441	4	-	-
0.0484	2	-	-	0.0484	2	-	-
0.0529	0	-	-	0.0529	0	-	-
0.0576	-	-	-	0.0576	-	-	-
0.0625	-	-	-	0.0625	-	-	-
0.0676	-	-	-	0.0676	-	-	-
0.0729	-	-	-	0.0729	-	-	-
0.0784	-	-	-	0.0784	-	-	-
0.0841	-	-	-	0.0841	-	-	-
0.0900	-	-	-	0.0900	-	-	-
0.0961	-	-	-	0.0961	-	-	-
0.1024	-	-	-	0.1024	-	-	-
0.1089	-	-	-	0.1089	-	-	-
0.1166	-	-	-	0.1166	-	-	-
0.1246	-	-	-	0.1246	-	-	-
0.1329	-	-	-	0.1329	-	-	-
0.1414	-	-	-	0.1414	-	-	-
0.1501	-	-	-	0.1501	-	-	-
0.1591	-	-	-	0.1591	-	-	-
0.1684	-	-	-	0.1684	-	-	-
0.1779	-	-	-	0.1779	-	-	-
0.1876	-	-	-	0.1876	-	-	-
0.1976	-	-	-	0.1976	-	-	-
0.2079	-	-	-	0.2079	-	-	-
0.2184	-	-	-	0.2184	-	-	-
0.2291	-	-	-	0.2291	-	-	-
0.2400	-	-	-	0.2400	-	-	-
0.2511	-	-	-	0.2511	-	-	-
0.2624	-	-	-	0.2624	-	-	-
0.2739	-	-	-	0.2739	-	-	-
0.2856	-	-	-	0.2856	-	-	-
0.2976	-	-	-	0.2976	-	-	-
0.3100	-	-	-	0.3100	-	-	-
0.3227	-	-	-	0.3227	-	-	-
0.3357	-	-	-	0.3357	-	-	-
0.3490	-	-	-	0.3490	-	-	-
0.3626	-	-	-	0.3626	-	-	-
0.3765	-	-	-	0.3765	-	-	-
0.3907	-	-	-	0.3907	-	-	-
0.4052	-	-	-	0.4052	-	-	-
0.4200	-	-	-	0.4200	-	-	-
0.4351	-	-	-	0.4351	-	-	-
0.4505	-	-	-	0.4505	-	-	-
0.4662	-	-	-	0.4662	-	-	-
0.4822	-	-	-	0.4822	-	-	-
0.4985	-	-	-	0.4985	-	-	-
0.5151	-	-	-	0.5151	-	-	-
0.5320	-	-	-	0.5320	-	-	-
0.5492	-	-	-	0.5492	-	-	-
0.5667	-	-	-	0.5667	-	-	-
0.5845	-	-	-	0.5845	-	-	-
0.6026	-	-	-	0.6026	-	-	-
0.6210	-	-	-	0.6210	-	-	-
0.6397	-	-	-	0.6397	-	-	-
0.6588	-	-	-	0.6588	-	-	-
0.6782	-	-	-	0.6782	-	-	-
0.6980	-	-	-	0.6980	-	-	-
0.7181	-	-	-	0.7181	-	-	-
0.7385	-	-	-	0.7385	-	-	-
0.7592	-	-	-	0.7592	-	-	-
0.7802	-	-	-	0.7802	-	-	-
0.8015	-	-	-	0.8015	-	-	-
0.8231	-	-	-	0.8231	-	-	-
0.8450	-	-	-	0.8450	-	-	-
0.8672	-	-	-	0.8672	-	-	-
0.8900	-	-	-	0.8900	-	-	-
0.9131	-	-	-	0.9131	-	-	-
0.9366	-	-	-	0.9366	-	-	-
0.9604	-	-	-	0.9604	-	-	-
0.9846	-	-	-	0.9846	-	-	-
1.0092	-	-	-	1.0092	-	-	-
1.0342	-	-	-	1.0342	-	-	-
1.0596	-	-	-	1.0596	-	-	-
1.0854	-	-	-	1.0854	-	-	-
1.1116	-	-	-	1.1116	-	-	-
1.1382	-	-	-	1.1382	-	-	-
1.1652	-	-	-	1.1652	-	-	-
1.1926	-	-	-	1.1926	-	-	-
1.2204	-	-	-	1.2204	-	-	-
1.2486	-	-	-	1.2486	-	-	-
1.2772	-	-	-	1.2772	-	-	-
1.3062	-	-	-	1.3062	-	-	-
1.3356	-	-	-	1.3356	-	-	-
1.3654	-	-	-	1.3654	-	-	-
1.3956	-	-	-	1.3956	-	-	-
1.4262	-	-	-	1.4262	-	-	-
1.4572	-	-	-	1.4572	-	-	-
1.4886	-	-	-	1.4886	-	-	-
1.5204	-	-	-	1.5204	-	-	-
1.5526	-	-	-	1.5526	-	-	-
1.5852	-	-	-	1.5852	-	-	-
1.6182	-	-	-	1.6182	-	-	-
1.6516	-	-	-	1.6516	-	-	-
1.6854	-	-	-	1.6854	-	-	-
1.7196	-	-	-	1.7196	-	-	-
1.7542	-	-	-	1.7542	-	-	-
1.7892	-	-	-	1.7892	-	-	-
1.8246	-	-	-	1.8246	-	-	-
1.8604	-	-	-	1.8604	-	-	-
1.8966	-	-	-	1.8966	-	-	-
1.9332	-	-	-	1.9332	-	-	-
1.9702	-	-	-	1.9702	-	-	-
2.0076	-	-	-	2.0076	-	-	-
2.0454	-	-	-	2.0454	-	-	-
2.0836	-	-	-	2.0836	-	-	-
2.1222	-	-	-	2.1222	-	-	-
2.1612	-	-	-	2.1612	-	-	-
2.2006	-	-	-	2.2006	-	-	-
2.2404	-	-	-	2.2404	-	-	-
2.2806	-	-	-	2.2806	-	-	-
2.3212	-	-	-	2.3212	-	-	-
2.3622	-	-	-	2.3622	-	-	-
2.4036	-	-	-	2.4036	-	-	-
2.4454	-	-	-	2.4454	-	-	-
2.4876	-	-	-	2.4876	-	-	-
2.5302	-	-	-	2.5302	-	-	-
2.5732	-	-	-	2.5732	-	-	-
2.6166	-	-	-	2.6166	-	-	-
2.6604	-	-	-	2.6604	-	-	-
2.7046	-	-	-	2.7046	-	-	-
2.7492	-	-	-	2.7492	-	-	-
2.7942	-	-	-	2.7942	-	-	-
2.8396	-	-	-	2.8396	-	-	-
2.8854	-	-	-	2.8854	-	-	-
2.9316	-	-	-	2.9316	-	-	-
2.9782	-	-	-	2.9782	-	-	-
3.0252	-	-	-	3.0252	-	-	-
3.0726	-	-	-	3.0726	-	-	-
3.1204	-	-	-	3.1204	-	-	-
3.1686	-	-	-	3.1686	-	-	-
3.2172	-	-	-	3.2172	-	-	-
3.2662	-	-	-	3.2662	-	-	-
3.3156	-	-	-	3.3156	-	-	-
3.3654	-	-	-	3.3654	-	-	-
3.4156	-	-	-	3.4156	-	-	-
3.4662	-	-	-	3.4662	-	-	-
3.5172	-	-	-	3.5172	-	-	-
3.5686	-	-	-	3.5686	-	-	-
3.6204	-	-	-	3.6204	-	-	-
3.6726	-	-	-	3.6726	-	-	-
3.7252	-	-	-	3.7252	-	-	-
3.7782	-	-	-	3.7782	-	-	-
3.8316	-	-	-	3.8316	-	-	-
3.8854	-	-	-	3.8854	-	-	-
3.9396	-	-	-	3.9396	-	-	-
3.9942	-	-	-	3.9942	-	-	-
4.0492	-	-	-	4.0492	-	-	-
4.1046	-	-	-	4.1046	-	-	-
4.1604	-	-	-	4.1604	-	-	-
4.2166	-	-	-	4.2166	-	-	-
4.2732	-	-	-	4.2732	-	-	-
4.3302	-	-	-	4.3302	-	-	-
4.3876	-	-	-	4.3876	-	-	-
4.4454	-	-	-	4.4454	-	-	-
4.5036	-	-	-	4.5036	-	-	-
4.5622	-	-	-	4.5622	-	-	-
4.6212	-	-	-	4.6212	-	-	-
4.6806	-	-	-	4.6806	-	-	-
4.7404	-	-	-	4.7404	-	-	-
4.8006	-	-	-	4.8006	-	-	-
4.8612	-	-	-	4.8612	-	-	-
4.9222	-	-	-	4.9222	-	-	-
4.9836	-	-	-	4.9836	-	-	-
5.0454	-	-	-	5.0454	-	-	-
5.1076	-	-	-	5.1076	-	-	-
5.1702	-	-	-	5.1702	-	-	-
5.2332	-	-	-	5.2332	-	-	-
5.2966	-	-	-	5.2966	-	-	-
5.3604	-	-	-	5.3604	-	-	-
5.4246	-	-	-	5.4246	-	-	-
5.4892	-	-	-	5.4892	-	-	-
5.5542	-	-	-	5.5542	-	-	-
5.6196	-	-	-	5.6196	-	-	-
5.6854	-	-	-	5.6854	-	-	-
5.7516	-	-	-	5.7516	-	-	-
5.8182	-	-	-	5.8182	-	-	-
5.8852	-	-	-	5.8852	-	-	-
5.9526	-	-	-	5.9526	-	-	-
6.0204	-	-	-	6.0204	-	-	-
6.0886	-	-	-	6.0886	-	-	-
6.1572	-	-	-	6.1572	-	-	-
6.2262	-	-	-	6.2262	-	-	-
6.2956	-	-	-	6.2956	-	-	-
6.3654	-	-	-	6.3654	-	-	-
6.4356	-	-	-	6.4356	-	-	-
6.5062	-	-	-	6.5062	-	-	-
6.5772	-	-	-	6.5772	-	-	-
6.6486	-	-	-	6.6486	-	-	-
6.7204	-	-	-</				

NYM - 300/500 VOLT
SPLN 42-2 / IEC 60227-4
COPPER CONDUCTOR PVC INSULATED AND PVC-SHEATHED CABLE

Nominal cross-sectional area mm ²	No. of wires and conductor shape	Nominal insulation thickness mm	Overall diameter			Approximate net weight kg/km	Bending diameter mm	Standard delivery length m
			Overall diameter mm	mm	mm			
1.5	1	0.7	2.6	2.6	20	80	100/Coil	
2.5	1	0.8	3.5	3.2	100	110	100/Coil	
4	1	0.8	4.7	3.4	150	120	100/Coil	
6	1	0.8	5.9	4.7	200	130	100/Coil	
10	1	0.8	7.5	5.7	280	140	100/Coil	
16	1	0.8	9.5	6.7	380	150	100/Coil	
25	1	0.8	12.5	8.7	500	160	100/Coil	
35	1	0.8	15.5	10.7	650	170	100/Coil	
50	1	0.8	18.5	12.7	850	180	100/Coil	
70	1	0.8	21.5	14.7	1100	190	100/Coil	
95	1	0.8	24.5	16.7	1400	200	100/Coil	
120	1	0.8	27.5	18.7	1750	210	100/Coil	
150	1	0.8	30.5	20.7	2200	220	100/Coil	
185	1	0.8	33.5	22.7	2800	230	100/Coil	
240	1	0.8	36.5	24.7	3600	240	100/Coil	
300	1	0.8	39.5	26.7	4700	250	100/Coil	
400	1	0.8	42.5	28.7	6200	260	100/Coil	

Nominal cross-sectional area mm ²	Resistance at 20 °C DC conductor mΩ/km	Insulation thickness mm	Current Carrying Capacity in AIE			Short circuit current of conductor at 1.0 sec kA
			In Pipe	In Air	A	
1.5	12.1	11	15	24	0.19	
2.5	7.41	10	20	32	0.32	
4	4.61	7	25	43	0.50	
6	3.08	7	33	54	0.73	
10	1.83	7	45	74	1.20	
16	1.15	5	61	98	1.91	
25	0.727	5	83	130	2.96	
35	0.52	5	105	160	4.4	
50	0.387	5	132	197	6.57	
70	0.288	4	166	247	9.89	
95	0.193	4	198	293	14.98	
120	0.133	3	235	345	22.50	
150	0.091	3	276	409	34.79	
185	0.0794	3	319	479	54.34	
240	0.0601	3	374	559	82.54	
300	0.0470	3	431	649	121.54	
400	0.0361	3	490	754	174.54	

NYA - 450/750 VOLT
SPLN 42-1 / IEC 60227-3
COPPER CONDUCTOR AND PVC INSULATED CABLE

Nominal cross-sectional area mm ²	No. of wires and conductor shape	Nominal insulation thickness mm	Overall diameter			Approximate Net Weight kg/km	Bending Diameter mm	Standard delivery length m
			Overall diameter mm	mm	mm			
1.5	1	0.7	2.6	2.6	20	80	100/Coil	
2.5	1	0.8	3.5	3.2	100	110	100/Coil	
4	1	0.8	4.7	3.4	150	120	100/Coil	
6	1	0.8	5.9	4.7	200	130	100/Coil	
10	1	0.8	7.5	5.7	280	140	100/Coil	
16	1	0.8	9.5	6.7	380	150	100/Coil	
25	1	0.8	12.5	8.7	500	160	100/Coil	
35	1	0.8	15.5	10.7	650	170	100/Coil	
50	1	0.8	18.5	12.7	850	180	100/Coil	
70	1	0.8	21.5	14.7	1100	190	100/Coil	
95	1	0.8	24.5	16.7	1400	200	100/Coil	
120	1	0.8	27.5	18.7	1750	210	100/Coil	
150	1	0.8	30.5	20.7	2200	220	100/Coil	
185	1	0.8	33.5	22.7	2800	230	100/Coil	
240	1	0.8	36.5	24.7	3600	240	100/Coil	
300	1	0.8	39.5	26.7	4700	250	100/Coil	
400	1	0.8	42.5	28.7	6200	260	100/Coil	

Nominal cross-sectional area mm ²	Resistance at 20 °C DC conductor mΩ/km	Insulation thickness mm	Current Carrying Capacity in AIE			Short circuit current of conductor at 1.0 sec kA
			In Pipe	In Air	A	
1.5	12.1	11	15	24	0.19	
2.5	7.41	10	20	32	0.32	
4	4.61	7	25	43	0.50	
6	3.08	7	33	54	0.73	
10	1.83	7	45	74	1.20	
16	1.15	5	61	98	1.91	
25	0.727	5	83	130	2.96	
35	0.52	5	105	160	4.4	
50	0.387	5	132	197	6.57	
70	0.288	4	166	247	9.89	
95	0.193	4	198	293	14.98	
120	0.133	3	235	345	22.50	
150	0.091	3	276	409	34.79	
185	0.0794	3	319	479	54.34	
240	0.0601	3	374	559	82.54	
300	0.0470	3	431	649	121.54	
400	0.0361	3	490	754	174.54	

NYAF - 450/750 VOLT
SPLN 42-3 / IEC 60227-3
FIBRE OPTIC COPPER CONDUCTOR AND PVC INSULATED CABLE

Nominal cross-sectional area mm ²	No. of wires	Maximum dia of wire mm	Nominal insulation thickness mm	Overall diameter			Approximate Net Weight kg/km	Bending Diameter mm	Standard delivery length m
				Overall diameter mm	mm	mm			
1.5	30	0.25	0.7	3.1	3.1	81	70	100/Coil	
2.5	50	0.25	0.8	3.8	3.8	110	100	100/Coil	
4	96	0.30	0.8	4.3	4.3	140	100	100/Coil	
6	150	0.30	0.8	4.6	4.6	170	100	100/Coil	
10	250	0.40	1.0	5.4	5.4	220	100	100/Coil	
16	350	0.40	1.0	6.1	6.1	280	100	100/Coil	
25	450	0.40	1.0	6.8	6.8	350	100	100/Coil	
35	550	0.40	1.2	7.5	7.5	430	100	100/Coil	
50	700	0.50	1.4	8.4	8.4	530	100	100/Coil	
70	900	0.50	1.6	9.4	9.4	650	100	100/Coil	
95	1100	0.50	1.6	10.4	10.4	790	100	100/Coil	
120	1300	0.50	1.6	11.4	11.4	950	100	100/Coil	
150	1550	0.50	1.8	12.4	12.4	1130	100	100/Coil	
185	1850	0.50	2.0	13.4	13.4	1330	100	100/Coil	
240	2300	0.50	2.2	14.4	14.4	1560	100	100/Coil	
300	2800	0.50	2.4	15.4	15.4	1820	100	100/Coil	
400	3500	0.50	2.6	16.4	16.4	2120	100	100/Coil	

Nominal cross-sectional area mm ²	Resistance at 20 °C DC conductor mΩ/km	Insulation thickness mm	Current Carrying Capacity in AIE			Short circuit current of conductor at 1.0 sec kA
			In Pipe	In Air	A	
1.5	13.3	10	15	24	0.19	
2.5	7.98	8	23	42	0.32	
4	4.95	7	31	54	0.50	
6	3.30	7	41	71	0.73	
10	1.91	7	54	98	1.20	
16	1.21	5	73	130	1.91	
25	0.780	5	98	178	2.96	
35	0.554	4	128	235	4.4	
50	0.386	4	163	300	6.57	
70	0.289	3	197	370	9.89	
95	0.206	3	235	440	14.98	
120	0.161	3	276	510	22.50	
150	0.119	3	319	580	34.79	
185	0.096	3	362	650	54.34	
240	0.076	3	405	720	82.54	
300	0.061	3	450	800	121.54	
400	0.046	3	500	890	174.54	

Lampiran 3: IEC 60227 – 4

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60227-4**

Edition 2.1
1997-12

Edition 2:1992 consolidée par l'amendement 1:1997
Edition 2:1992 consolidated with Amendment 1:1997

**Conducteurs et câbles isolés au polychlorure
de vinyle, de tension nominale au plus égale
à 450/750 V –**

**Partie 4:
Câbles sous gaine pour installations fixes**

**Polyvinyl chloride insulated cables
of rated voltages up to and including
450/750 V –**

**Part 4:
Sheathed cables for fixed wiring**

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site: <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE H

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**POLYVINYL CHLORIDE INSULATED CABLES
OF RATED VOLTAGES UP TO AND INCLUDING 450/750 V –****Part 4: Sheathed cables for fixed wiring**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all of such patent rights.

This part of International Standard IEC 60227 has been prepared by sub-committee 20B: Low-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

This consolidated version of IEC 60227-4 is based on the second edition (1992) [documents 20B(CO)112 and 20B(CO)122] and its amendment 1 (1997) [documents 20B/227/FDIS and 20B/242/RVD].

It bears the edition number 2.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

It forms part 4: Sheathed cables for fixed wiring, of IEC 60227: *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V*. The other parts of the complete standard are:

- Part 1: General requirements, issued as IEC 60227-1;
- Part 2: Test methods, issued as IEC 60227-2;
- Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring, issued as IEC 60227-3;
- Part 5: Flexible cables (cords), issued as IEC 60227-5;
- Part 6: Lift cables and cables for flexible connections, issued as IEC 60227-6;
- Part 7: Flexible cables screened and unscreened with two or more conductors, issued as IEC 60227-7.

This part, in conjunction with parts 1 and 2, forms the complete standard for sheathed cables for fixed wiring.

This second edition of IEC 60227-4 replaces the first edition issued in 1979.

POLYVINYL CHLORIDE INSULATED CABLES OF RATED VOLTAGES UP TO AND INCLUDING 450/750 V –

Part 4: Sheathed cables for fixed wiring

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 60227 details the particular specification for light polyvinyl chloride sheathed cables of rated voltage of 300/500 V.

Each cable shall comply with the appropriate requirements given in IEC 60227-1 and the particular requirements of this part.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60227. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60227 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents listed below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60228:1978, *Conductors of insulated cables*

IEC 60332-1:1979, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 1: Test on a single vertical insulated wire or cable*

IEC 60719:1992, *Calculation of the lower and upper limits for the average outer dimensions of cables with circular copper conductors and of rated voltages up to and including 450/750 V*

IEC 60811-1-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section One: Measuring of thickness and overall dimensions – Tests for determining the mechanical properties*
Amendment 1 (1988). Amendment 2 (1989).

IEC 60811-1-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section Two: Thermal ageing methods*
Amendment 1 (1989).

IEC 60811-1-4:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section Four: Tests at low temperature*

60227-4 © IEC:1992+A.1:1997

– 9 –

IEC 60811-3-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section One: Pressure test at high temperature – Tests for resistance to cracking*

IEC 60811-3-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section Two: Loss of mass test – Thermal stability tests.*

2 Light polyvinyl chloride sheathed cable

2.1 Code designation

60227 IEC 10.

2.2 Rated voltage

300/500 V.

2.3 Construction

2.3.1 Conductor

Number of conductors: 2, 3, 4 or 5.

The conductors shall comply with the requirements of IEC 60228:

- class 1 for solid conductors;
- class 2 for stranded conductors.

2.3.2 Insulation

The insulation shall be polyvinyl chloride compound of type PVC/C applied around each conductor.

The insulation thickness shall comply with the specified value given in table 1, column 3.

The insulation resistance shall be not less than the value given in table 1, column 8.

2.3.3 Assembly of cores

The cores shall be twisted together.

2.3.4 Inner covering

The twisted cores shall be covered by an extruded inner covering consisting of an unvulcanized rubber or plastic compound.

It shall be possible to separate the cores easily.

2.3.5 Sheath

The sheath shall be polyvinyl chloride compound of type PVC/ST 4 applied around the inner covering.

It shall fit closely and shall be capable of being removed without damage to the inner covering.

The sheath thickness shall comply with the specified value given in table 1, column 5.

2.3.6 Overall diameter

The mean overall diameter shall be within the limits given in table 1, columns 6 and 7.

2.4 Tests

Compliance with the requirements of 2.3 shall be checked by inspection and by the tests given in table 2.

2.5 Guide to use

Maximum conductor temperature in normal use: 70 °C.

NOTE - Other guidelines are under consideration.

Table 1 - General data for type 60227 IEC 10

1	2	3	4	5	6		7	8
					Mean overall diameter	Minimum insulation resistance at 70 °C		
Number and nominal cross-sectional area of conductors mm ²	Class of conductor IEC 60228	Insulation thickness Specified value mm	Thickness of inner covering Approximate value mm	Thickness of sheath Specified value mm	mm	mm	MΩ.km	
2 x 1,5	1	0,7	0,4	1,2	7,6	10,0	0,011	
	2	0,7	0,4	1,2	7,8	10,5	0,010	
2 x 2,5	1	0,8	0,4	1,2	8,6	11,5	0,010	
	2	0,8	0,4	1,2	9,0	12,0	0,009	
2 x 4	1	0,8	0,4	1,2	9,6	12,5	0,0085	
	2	0,8	0,4	1,2	10,0	13,0	0,0077	
2 x 6	1	0,8	0,4	1,2	10,5	13,5	0,0070	
	2	0,8	0,4	1,2	11,0	14,0	0,0065	
2 x 10	1	1,0	0,6	1,4	13,0	16,5	0,0070	
	2	1,0	0,6	1,4	13,5	17,5	0,0065	
2 x 16	2	1,0	0,6	1,4	15,5	20,0	0,0052	
2 x 25	2	1,2	0,8	1,4	18,5	24,0	0,0050	
2 x 35	2	1,2	1,0	1,6	21,0	27,5	0,0044	
3 x 1,5	1	0,7	0,4	1,2	8,0	10,5	0,011	
	2	0,7	0,4	1,2	8,2	11,0	0,010	
3 x 2,5	1	0,8	0,4	1,2	9,2	12,0	0,010	
	2	0,8	0,4	1,2	9,4	12,5	0,009	
3 x 4	1	0,8	0,4	1,2	10,0	13,0	0,0085	
	2	0,8	0,4	1,2	10,5	13,5	0,0077	
3 x 6	1	0,8	0,4	1,4	11,5	14,5	0,0070	
	2	0,8	0,4	1,4	12,0	15,5	0,0065	
3 x 10	1	1,0	0,6	1,4	14,0	17,5	0,0070	
	2	1,0	0,6	1,4	14,5	19,0	0,0065	
3 x 16	2	1,0	0,8	1,4	16,5	21,5	0,0052	
3 x 25	2	1,2	0,8	1,6	20,5	26,0	0,0050	
3 x 35	2	1,2	1,0	1,6	22,0	29,0	0,0044	
4 x 1,5	1	0,7	0,4	1,2	8,6	11,5	0,011	
	2	0,7	0,4	1,2	9,0	12,0	0,010	
4 x 2,5	1	0,8	0,4	1,2	10,0	13,0	0,010	
	2	0,8	0,4	1,2	10,0	13,5	0,009	
4 x 4	1	0,8	0,4	1,4	11,5	14,5	0,0085	
	2	0,8	0,4	1,4	12,0	15,0	0,0077	
4 x 6	1	0,8	0,6	1,4	12,5	16,0	0,0070	
	2	0,8	0,6	1,4	13,0	17,0	0,0065	
4 x 10	1	1,0	0,6	1,4	15,5	19,0	0,0070	
	2	1,0	0,6	1,4	16,0	20,5	0,0065	
4 x 16	2	1,0	0,8	1,4	18,0	23,5	0,0052	
4 x 25	2	1,2	1,0	1,6	22,5	28,5	0,0050	
4 x 35	2	1,2	1,0	1,6	24,5	32,0	0,0044	
5 x 1,5	1	0,7	0,4	1,2	9,4	12,0	0,011	
	2	0,7	0,4	1,2	9,8	12,5	0,010	
5 x 2,5	1	0,8	0,4	1,2	11,0	14,0	0,010	
	2	0,8	0,4	1,2	11,0	14,5	0,009	
5 x 4	1	0,8	0,6	1,4	12,5	16,0	0,0085	
	2	0,8	0,6	1,4	13,0	17,0	0,0077	
5 x 6	1	0,8	0,6	1,4	13,5	17,5	0,0070	
	2	0,8	0,6	1,4	14,5	18,5	0,0065	
5 x 10	1	1,0	0,6	1,4	17,0	21,0	0,0070	
	2	1,0	0,6	1,4	17,5	22,0	0,0065	
5 x 16	2	1,0	0,8	1,6	20,5	26,0	0,0052	
5 x 25	2	1,2	1,0	1,6	24,5	31,5	0,0050	
5 x 35	2	1,2	1,2	1,6	27,0	35,0	0,0044	

NOTE - The lower and upper limits of the mean overall diameter are not calculated in accordance with IEC 60719:1992.

Table 2 - Tests for type 60227 IEC 10

1 Ref. No.	2 Test	3 Category of test	4 Test method described in:	
			IEC Publication	Subclause
1.	<i>Electrical tests</i>			
1.1	Resistance of conductors	T, S	60227-2	2.1
1.2	Voltage test on cores at 2000 V	T	60227-2	2.3
1.3	Voltage test on completed cable at 2 000 V			
1.4	Insulation resistance at 70 °C	T, S T	60227-2 60227-2	2.2 2.4
2.	<i>Provisions covering constructional and dimensional characteristics</i>		60227-1 and 60227-2	
2.1	Checking of compliance with constructional provisions	T, S	60227-1	Inspection and manual tests
2.2	Measurement of insulation thickness	T, S	60227-2	1.9
2.3	Measurement of sheath thickness	T, S	60227-2	1.10
2.4	Measurement of overall diameter:			
2.4.1	Mean value	T, S	60227-2	1.11
2.4.2	Ovality	T, S	60227-2	1.11
3.	<i>Mechanical properties of insulation</i>			
3.1	Tensile test before ageing	T	60811-1-1	9.1
3.2	Tensile test after ageing	T	60811-1-2	8.1.3
3.3	Loss of mass test	T	60811-3-2	8.1
4	<i>Mechanical properties of sheath</i>			
4.1	Tensile test before ageing	T	60811-1-1	9.2
4.2	Tensile test after ageing	T	60811-1-2	8.1.3
4.3	Loss of mass test	T	60811-3-2	8.2
5.	<i>Test of non-contamination</i>	T	60811-1-2	8.1.4
6.	<i>Pressure test at high temperature</i>			
6.1	Insulation	T	60811-3-1	8.1
6.2	Sheath	T	60811-3-1	8.2
7.	<i>Elasticity and impact strength at low temperature</i>			
7.1	Bending test for insulation at low temperature	T	60811-1-4	8.1
7.2	Bending test for sheath at low temperature	T	60811-1-4	8.2
7.3	Elongation test for sheath at low temperature ¹	T	60811-1-4	8.4
7.4	Impact test on completed cable at low temperature	T	60811-1-4	8.5
8.	<i>Heat shock test</i>			
8.1	Insulation	T	60811-3-1	9.1
8.2	Sheath	T	60811-3-1	9.2
9.	<i>Test of flame retardance</i>	T	60332-1	

¹ Only applicable if the overall diameter of the cable exceeds the limit specified in the test method.

ISBN 2-8318-4067-8



9 782831 840673

ICS 29.060.20

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Lampiran 5: SPLN 42 – 2:1992

STANDAR

PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA

SPLN 42-2:1992

Lampiran Keputusan Direksi PLN
No.: 071.K/0594/DIR/1992, 1 Agustus 1992



**KABEL BERISOLASI DAN
BERSELUBUNG PVC TEGANGAN
PENGENAL 300/500 VOLT (NYM)**

DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI
PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA
JALAN TRUNOJOYO NO. 135 - KEBAYORAN BARU - JAKARTA 12160



SPLN 42-2:1992

**KABEL BERISOLASI DAN BERSELUBUNG PVC
TEGANGAN PENGENAL 300/500 VOLT
(NYM)**

Disusun oleh :

1. Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi dengan Surat Keputusan Direksi Perusahaan Umum Listrik Negara No. : 076/DIR/88 tanggal 21 September 1988;
2. Kelompok Kerja Kabel Listrik dengan Surat Keputusan Kepala Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan No. : 22/LMK/1989 tanggal 3 April 1989;

Diterbitkan oleh :
DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI
PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA
Jln. Trunojoyo No. 135-Kebayoran Baru
JAKARTA 12160
1992

SPLN 42-2:1992

**KABEL BERISOLASI DAN BERSELUBUNG PVC
TEGANGAN PENGENAL 300/500 V
(NYM)**

**Pasal Satu
RUANG LINGKUP DAN TUJUAN**

1 Ruang Lingkup

Spesifikasi ini berlaku untuk kabel berisolasi dan berselubung PVC untuk tegangan kerja sampai dengan 300/500 V, untuk instalasi biasa di dalam gedung, tetapi tidak di bawah tanah.

Dacrah penggunaannya dapat di atas, di dalam dan di bawah plesteran pada ruangan kering dan lembab, dan di udara terbuka.

Penghantarnya terdiri dari penghantar padat bulat atau dipilin bulat berkawat banyak dari tembaga polos yang dipijarkan.

2 Tujuan

Standar ini dibuat dengan tujuan untuk dipakai oleh PLN sebagai pegangan yang terarah dalam perencanaan, pemesanan, pengujian maupun dalam penggunaan kabel untuk instalasi PLN khususnya, dan atau instalasi umum yang menyambung pada instalasi PLN.

**Pasal Dua
DEFINISI**

3 Tegangan Pengenal

3.1 Tegangan pengenal U_0

Tegangan pengenal U_0 ialah tegangan frekuensi kerja antara penghantar fase dan penghantar tanah atau netral.

SPLN 42-2:1992

3.2 *Tegangan Pengenal U*

Tegangan pengenal U ialah tegangan frekuensi kerja antar penghantar fase.

4 Pengujian

4.1 *Uji Jenis (J)*

Uji jenis ialah pengujian yang lengkap untuk menentukan apakah hasil produksi telah memenuhi persyaratan-persyaratan yang ditentukan dalam standar ini.

4.2 *Uji Rutin (R)*

Uji rutin ialah pengujian yang dilakukan secara rutin yang ditentukan dalam standar ini pada setiap hasil produksi oleh produsen.

4.3 *Uji contoh (C)*

Uji contoh ialah pengujian yang dilakukan terhadap contoh-contoh yang diambil dari satu kelompok kabel untuk menentukan apakah kelompok tersebut mempunyai sifat-sifat yang sama dengan jenis kabel tersebut seperti yang ditentukan dalam standar ini.

**Pasal Tiga
PENANDAAN**

5 Kode Pengenal

<i>Huruf kode</i>	<i>Komponen</i>
N	Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
Y	Isolasi PVC
M	Selubung PVC
re	Penghantar padat bulat
rm	Penghantar bulat berkawat banyak
- I	Kabel dengan sistem pengenal warna inti hijau-kuning
- O	Kabel dengan sistem pengenal warna inti tanpa hijau-kuning.

Penandaan kode pengenal dilengkapi dengan luas penampang penghantar dan tegangan pengenal.

SPLN 42-2:1992

Contoh :

a. *NYM - 14 X 25 mm 300/500 V.*

Menyatakan suatu kabel berisolasi dan berselubung PVC berinti empat dengan tegangan pengenal 300/500 V, berpenghantar tembaga dipilin bulat berkawat banyak dengan luas penampang 25 mm², dengan sistem pengenal warna inti hijau-kuning.

b. *NYM - 0 2 X 10 re 300/500 V.*

Menyatakan kabel berisolasi dan berselubung PVC berinti dua dengan tegangan pengenal 300/500 V, berpenghantar tembaga padat dengan luas penampang 10 mm² dengan sistem pengenal warna inti tanpa hijau-kuning.

6 Tanda Pengenal Inti

Isolasi inti harus diberi warna hijau-kuning, atau biru- muda, atau merah, atau hitam, atau kuning. Khusus warna hijau-kuning tersebut pada seluruh panjang inti dan dimaksudkan untuk penghantar tanah. Sepotong inti sepanjang 15 mm dari bagian manapun juga dari inti hijau-kuning tersebut, harus sedemikian rupa sehingga salah satu warna meliputi permukaan tidak kurang dari 30% dan tidak lebih dari 70% dari seluruh permukaan, sedangkan permukaan sisanya berwarna yang lain.

Warna-warna pengenal inti untuk kabel yang termasuk dalam standar ini harus sesuai dengan Tabel I.

Tabel I. Warna Inti kabel

1	2	3	4	5	6
Jumlah Inti	Sistem I			Sistem 0	
	Inti pembumian	Inti netral	Inti fase	Inti netral	Inti fase
2	-	-		biru muda	merah atau kuning atau hitam
3	hijau-kuning	biru muda kuning dan hitam	merah atau kuning atau hitam	biru muda	merah dan kuning atau merah dan hitam atau
4	hijau-kuning	biru muda merah dan hitam atau kuning dan hitam	merah dan kuning atau	biru muda	merah, kuning dan hitam
5	hijau-kuning	biru muda	merah, kuning, hitam	-	-

Keterangan : - Inti hijau-kuning hanya untuk penghantar pembumian dan tidak untuk penghantar yang lain.
- Inti biru muda hanya untuk penghantar netral dan tidak untuk penghantar lainnya.

7 Warna Selubung Luar

Warna selubung luar kabel yang termasuk dalam spesifikasi ini harus putih atau putih keabu-abuan atau putih kekuning-kuningan.

SPLN 42-2:1992

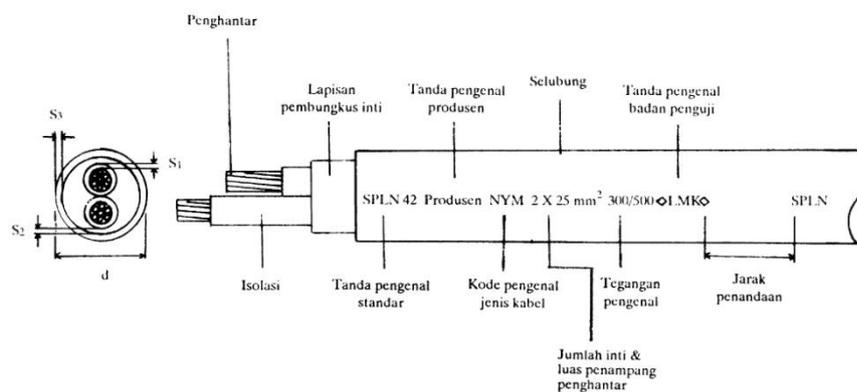
8 Penandaan pada Kabel

Pada permukaan selubung luar sepanjang kabel harus diberi tanda pengenal dengan cetak tinta atau cetak timbul yang jelas dan tidak mudah terhapus, sesuai dengan SPLN 40-1, dengan jarak antara tidak melampaui 50 cm.

Penandaan sekurang-kurangnya adalah :

- Tanda standar SPLN 42;
- Tanda pengenal produsen;
- Kode pengenal;
- Luas penampang penghantar;
- Tegangan pengenal.
- Tanda pengenal Badan Penguji, bila telah mengadakan perjanjian pengawasan mutu dengan Badan Penguji.

Contoh penandaan :



9 Penandaan pada Kemasan

Pada setiap kemasan harus tercantum keterangan yang jelas, mudah dibaca dan tidak mudah terhapus.

Keterangan ini sekurang-kurangnya adalah:

- Tanda standar SPLN 42;
- Tanda pengenal produsen;
- Kode pengenal;
- Jumlah inti dan penampang kabel;
- Tegangan pengenal;
- Panjang standar dalam meter.

SPLN 42-2:1992

Pasal Empat
KETENTUAN TEGANGAN

- 10 Tegangan pengenalan yang ditentukan untuk kabel dinyatakan dengan perbandingan U_0/U dan untuk kabel yang termasuk dalam standar ini adalah 300/500 V.
- Untuk penggunaan pada suatu instalasi arus searah, tegangan nominal sistem tidak boleh lebih tinggi dari 1,5 kali tegangan pengenalan kabel.

Pasal Lima
PERSYARATAN KONSTRUKSI

- 11 **Penghantar**
- Konstruksi penghantar harus memenuhi spesifikasi SPLN 41-1:
- Tabel I kolom 2, untuk luas penampang 1,5 s/d 10 mm².
 - Tabel II kolom 2 dan 8, untuk luas penampang 1,5 s/d 35 mm².
- 12 **Isolasi**
- Nilai rata-rata tebal isolasi yang diukur sesuai dengan SPLN 39 tidak boleh kurang dari nilai nominal yang tercantum dalam Tabel III kolom 4.
- Walaupun demikian, tebal isolasi sebagaimana diukur sesuai dengan SPLN 39, pada setiap titik boleh kurang dari nilai spesifikasi yang tercantum dalam Tabel III kolom 4, maksimum 0,1 mm + 10 % dari nilai spesifikasi tersebut.
- 13 **Pemilinan Inti**
- Inti-inti harus dipilin secara konsentris.
- Langkah pilinan inti kabel tidak boleh lebih besar dari 35 kali diameter luar yang terbentuk oleh inti-inti yang dipilin.
- 14 **Lapisan Pembungkus Inti**
- Sedapat mungkin harus mengisi celah-celah dari inti yang dibelit serta harus menutupi inti-inti secara keseluruhan.
- Tebal lapisan pembungkus inti kira-kira sesuai dengan Tabel III kolom 5. Tebal lapisan pembungkus inti tidak diukur.

SPLN 42-2:1992

15 Selubung Luar

Nilai rata-rata tebal selubung luar yang diukur sesuai dengan SPLN 39 tidak boleh kurang dari nilai nominal yang tercantum dalam Tabel III kolom 6. Walaupun demikian, tebal selubung luar sebagaimana telah diukur sesuai dengan SPLN 39, pada setiap titik boleh kurang dari nilai spesifikasi yang tercantum dalam Tabel III kolom 6 maksimum 0,1 mm + 15% dari nilai spesifikasi tersebut.

Diameter luar kabel yang diukur sesuai dengan SPLN 39 tidak boleh melampaui persyaratan yang tercantum dalam Tabel III kolom 7 dan 8.

Pasal Enam
BAHAN KABEL

16 Penghantar

Penghantar harus dari bahan tembaga polos yang dipijarkan sesuai dengan SPLN 41-1.

17 Isolasi

Isolasi harus terbuat dari bahan termoplastik PVC jenis YJ/C, sesuai dengan SPLN 41-2.

18 Lapisan Pembungkus Inti

Lapisan pembungkus inti harus terbuat dari kompon yang elastis atau plastis, dan haruslah dibuat sedemikian rupa sehingga mudah dibuka tanpa merusak inti-inti kabel.

19 Selubung Luar

Selubung luar harus terbuat dari bahan termoplastik PVC jenis YM/4 sesuai SPLN 41-2.

Pasal Tujuh
KARAKTERISTIK KABEL

20 Resistans Penghantar

Resistans penghantar kabel yang diukur sesuai dengan SPLN 39, nilai resistans penghantar setiap inti tidak boleh melebihi persyaratan maksimum sebagaimana tercantum dalam SPLN 41-1.

21 Resistans Isolasi pada 20 °C

Pengukuran resistans isolasi diukur sesuai dengan SPLN 39, nilai resistans isolasi masing-masing inti terhadap inti/gabungan inti yang lain pada kabel utuh tidak boleh kurang dari nilai spesifikasi yang tercantum pada Tabel III kolom 9. Apabila suhu pengukuran selain 20 °C, maka resistans isolasi harus dikoreksi kesuhu 20 °C dengan mengalikan faktor koreksi sesuai Tabel IV.

22 Resistans Isolasi pada 70 °C

Pengukuran resistans isolasi dilaksanakan sesuai dengan SPLN 39, antara penghantar dan air. Contoh uji sepanjang 5 meter, setelah lapisan pembungkus inti dan selubung luar dikupas, harus direndam dalam air pada suhu 70 °C selama minimum 2 jam.

Ujung-ujung inti harus menonjol diatas permukaan air, minimum 0,25 meter. Nilai resistans tidak boleh kurang dari nilai spesifikasi yang tercantum dalam Tabel III kolom 10.

23 Uji Tegangan pada Inti-inti Kabel

Pengujian dilakukan pada contoh uji sepanjang 5 m. Selubung dan lapisan pembungkus lainnya atau pengisi harus dikupas tanpa merusak inti-inti kabel. Kemudian contoh uji direndam dalam air pada suhu (25 ± 5) °C selama minimum 1 jam; dan setiap inti harus mampu menahan tegangan 2000 Volt. Lama pengujian minimum 5 menit.

24 Uji Tegangan pada Kabel Utuh

Pengujian dilakukan pada contoh uji sepanjang minimum 10 meter. Kemudian contoh uji direndam dalam air pada suhu (25 ± 5) °C selama minimum 1 jam; dan harus mampu menahan tegangan 2000 V selama maksimum 5 menit, yang dikenakan pada:

- setiap inti dengan gabungan inti-inti yang lain dan air;
- semua inti-inti digabungkan bersama dengan air.

25 Karakteristik Hambatan Api

Kabel harus mempunyai karakteristik memadamkan sendiri nyala apinya, jika sumber api dijauhkan, sebagaimana pengujian dilakukan sesuai dengan SPLN 39.

26 Kuat Hantar Arus (KHA)

Kuat hantar arus maksimum didasarkan pada daya hantar arus secara terus menerus pada suhu penghantar tidak melebihi 70 °C.

Besarnya arus yang tercantum dalam Tabel III kolom 11 dan 12 berlaku untuk kabel tunggal pada suhu keliling maksimum 30 °C dan 40 °C.

27 Konstruksi dan ukuran kabel harus memenuhi syarat-syarat yang tersebut dalam Tabel III.

SPLN 42-2:1992

Pasal Delapan
PENGUJIAN

28 Tahap Uji

Pengujian terhadap kabel hasil produksi dengan tahap sebagai berikut :

28.1 Uji Jenis

Pengujian ini bila telah dilakukan tidak perlu diulang, kecuali bila ada perubahan bahan baku atau konstruksi kabel yang kemungkinan dapat merubah karakteristiknya.

Uji jenis ini dilakukan terhadap :

- jenis kabel baru sebelum dilakukan produksi masal;
- jenis kabel yang belum dikenal mutunya.

Mata uji jenis ini sesuai Tabel II.

28.2 Uji Rutin

Pengujian ini harus dilakukan oleh pabrik pembuat terhadap setiap hasil produksi. Mata uji rutin sesuai Tabel II.

28.3 Uji Contoh

Pengujian ini harus dilakukan pada saat serah terima kabel. Pengujian ini sebagai verifikasi terhadap hal-hal yang seharusnya telah dilaksanakan oleh pabrik pembuat. Pengambilan contoh- uji dan kriteria penilaian uji serah terima sesuai SPLN 67-2C.

Mata uji contoh sesuai Tabel II

SPLN 42-2:1992

Keterangan: *) Hanya dilakukan jika diameter luar kabel melebihi batas yang disyaratkan.
 J - Uji jenis
 C - Uji contoh
 R - Uji rutin

Tabel III. Konstruksi dan KHA Kabel berisolasi dan berselubung PVC tegangan pengenalan 300/500 V

1	2	3	4	5	6	7		9	10	11		12		
						Diameter luar				Resistans isolasi setiap inti terhadap inti/gabungan inti yang lain pada suhu 20 °C	Resistans isolasi pada suhu 70 °C		Kuat Hantar Arus maksimum pada suhu	
						Mini- mum	Maksi- mum						30 °C	40 °C
Jumlah inti, Luas penampang penghantar, dan Konstruksi peng- hantar	Jum- lah kawat	Diame- ter kawat	Isola- si no- minal S ₁	lapis- an pem- bung- kus inti S ₂	Selub- bung nomi- nal S ₃	mm	mm	M.Ohm.km	M.Ohm.km	A	A			
	buah	mm	mm	mm	mm	mm	mm							
2 x 1,5 re	1	1,38	0,7	0,4	1,2	8,4	10,0	50	0,011	19	16			
2 x 1,5 rm	7	0,52	0,7	0,4	1,2	8,4	10,5	50	0,010	19	16			
2 x 2,5 re	1	1,78	0,8	0,4	1,2	9,6	11,5	50	0,010	25	22			
2 x 2,5 rm	7	0,67	0,8	0,4	1,2	9,6	12,0	50	0,009	25	22			
2 x 4 re	1	2,26	0,8	0,4	1,2	10,5	12,5	50	0,0085	34	30			
2 x 4 rm	7	0,85	0,8	0,4	1,2	10,5	13,0	50	0,0077	34	30			
2 x 6 re	1	2,76	0,8	0,4	1,2	11,5	13,5	50	0,0070	44	39			
2 x 6 rm	7	1,04	0,8	0,4	1,2	11,5	14,0	50	0,0065	44	39			
2 x 10 re	1	3,57	1,0	0,6	1,4	14,5	16,5	50	0,0070	61	53			
2 x 10 rm	7	1,35	1,0	0,6	1,4	15,0	17,5	50	0,0065	61	53			
2 x 16 rm	7	1,71	1,0	0,6	1,4	16,5	20,0	40	0,0052	82	71			
2 x 25 rm	7	2,13	1,2	0,8	1,4	20,5	24,0	40	0,0050	108	94			
2 x 35 rm	7	2,52	1,2	1,0	1,6	23,0	27,5	40	0,0044	134	117			
3 x 1,5 re	1	1,38	0,7	0,4	1,2	8,8	10,5	50	0,011	19	16			
3 x 1,5 rm	7	0,52	0,7	0,4	1,2	8,8	11,0	50	0,010	19	16			
3 x 2,5 re	1	1,78	0,8	0,4	1,2	10,0	12,0	50	0,010	25	22			
3 x 2,5 rm	7	0,67	0,8	0,4	1,2	10,0	12,5	50	0,009	25	22			
3 x 4 re	1	2,26	0,8	0,4	1,2	11,0	13,0	50	0,0085	34	30			
3 x 4 rm	7	0,85	0,8	0,4	1,2	11,0	13,5	50	0,0077	34	30			
3 x 6 re	1	2,76	0,8	0,4	1,4	12,5	14,5	50	0,0070	44	39			
3 x 6 rm	7	1,04	0,8	0,4	1,4	12,5	15,5	50	0,0065	44	39			
3 x 10 re	1	3,57	1,0	0,6	1,4	15,5	17,5	50	0,0070	61	53			
3 x 10 rm	7	1,35	1,0	0,6	1,4	15,5	19,0	50	0,0065	61	53			
3 x 16 rm	7	1,71	1,0	0,8	1,4	18,0	21,5	40	0,0052	82	71			
3 x 25 rm	7	2,13	1,2	0,8	1,6	22,0	26,0	40	0,0050	108	94			
3 x 35 rm	7	2,52	1,2	1,0	1,6	24,5	29,0	40	0,0044	134	117			

SPLN 42-2:1992

Tabel III. Konstruksi dan KHA Kabel berisolasi dan berselubung PVC tegangan pengenalan 300/500 V (Lanjutan)

1	2		3			4			5		6		7		8		9		10		11		12	
	Penghantar		Tebal			Diameter luar			Resistans isolasi setiap inti terhadap inti/gabungan inti yang lain pada suhu 20 °C		Resistans isolasi pada suhu		Kuat Hantar Arus maksimum pada suhu											
	Jumlah kawat	Diameter kawat	Isolasi nominal	lapisan pem-bungkus inti	Selubung nominal	(d)		Minimum		70 °C		30 °C		40 °C										
	buah	mm	mm	mm	mm	mm	mm	M. Ohm.km	M. Ohm.km	A	A													
4 x 1,5 re	1	1,38	0,7	0,4	1,2	9,6	11,5	50	0,011	19	16													
4 x 1,5 rm	7	0,52	0,7	0,4	1,2	9,6	12,0	50	0,010	19	16													
4 x 2,5 re	1	1,78	0,8	0,4	1,2	11,0	13,0	50	0,010	25	22													
4 x 2,5 rm	7	0,67	0,8	0,4	1,2	11,0	13,5	50	0,009	25	22													
4 x 4 re	1	2,26	0,8	0,4	1,4	12,0	14,5	50	0,0085	34	30													
4 x 4 rm	7	0,85	0,8	0,4	1,4	12,5	15,0	50	0,0077	34	30													
4 x 6 re	1	2,76	0,8	0,6	1,4	14,0	16,0	50	0,0070	44	39													
4 x 6 rm	7	1,04	0,8	0,6	1,4	14,0	17,0	50	0,0065	44	39													
4 x 10 re	1	3,57	1,0	0,6	1,4	16,5	19,0	50	0,0070	61	53													
4 x 10 rm	7	1,35	1,0	0,6	1,4	17,0	20,5	50	0,0065	61	53													
4 x 16 rm	7	1,71	1,0	0,8	1,4	20,0	23,5	40	0,0052	82	71													
4 x 25 rm	7	2,13	1,2	1,0	1,6	24,5	28,5	40	0,0050	108	94													
4 x 35 rm	7	2,52	1,2	1,0	1,6	27,0	32,0	40	0,0044	132	117													
5 x 1,5 re	1	1,38	0,7	0,4	1,2	10,0	12,0	50	0,011	19	16													
5 x 1,5 rm	7	0,52	0,7	0,4	1,2	10,0	12,5	50	0,010	19	16													
5 x 2,5 re	1	1,78	0,8	0,4	1,2	11,5	14,0	50	0,010	25	22													
5 x 2,5 rm	7	0,67	0,8	0,4	1,2	12,0	14,5	50	0,009	25	22													
5 x 4 re	1	2,26	0,8	0,6	1,4	13,5	16,0	50	0,0085	34	30													
5 x 4 rm	7	0,85	0,8	0,6	1,4	14,0	17,0	50	0,0077	34	30													
5 x 6 re	1	2,76	0,8	0,6	1,4	15,0	17,5	50	0,0070	44	39													
5 x 6 rm	7	1,04	0,8	0,6	1,4	15,5	18,5	50	0,0065	44	39													
5 x 10 re	1	3,57	1,0	0,6	1,4	18,0	21,0	50	0,0070	61	53													
5 x 10 rm	7	1,35	1,0	0,6	1,4	18,5	22,0	50	0,0065	61	53													
5 x 16 rm	7	1,71	1,0	0,8	1,6	22,0	26,0	40	0,0052	82	71													
5 x 25 rm	7	2,13	1,2	1,0	1,6	27,0	31,5	40	0,0050	108	94													
5 x 35 rm	7	2,52	1,2	1,2	1,6	30,0	35,0	40	0,0044	134	117													

Lampiran 6: Gambar Rangkaian Pengujian Karakteristik Termal



Lampiran 7: Gambar Hasil Uji Bakar



Gambar Hasil Uji Bakar Bagian Isolator, Pembungkus Inti Dan Selubung Luar Kabel NYM 3x1,5 mm² (Re) Berstandar IEC 60227 – 4



Gambar Hasil Uji Bakar Bagian Isolator, Pembungkus Inti Dan Selubung Luar Kabel NYM 3x1,5 mm² (Re) Tidak Berstandar IEC 60227 – 4

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Wahyu Rizky, lahir di Kota Bekasi pada tanggal 09 September 1995 merupakan putra ke dua dari tiga bersaudara dari pasangan Ibu yang bernama Tien Sudiarti dan Ayah yang bernama Sakam. Tinggal di Jl. Raya Narogong KM. 6,5 No.22 RT.07 RW. 03, Bojong Rawalumbu, Kota Bekasi.

Pendidikan formal yang ditempuh: Sekolah Dasar Negeri (SDN) Bojong Rawalumbu IV Kota Bekasi, lulus pada tahun 2001. Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 08 Kota Bekasi, lulus pada tahun 2010. Sekolah Menengah Akhir (SMA) YPI 45 Kota Bekasi, lulus pada tahun 2013. Diterima di Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada tahun 2013, melalui jalur SNMPTN, pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik.

Selama perkuliahan pernah aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan, diantaranya adalah sebagai staff Departemen Kaderisasi BEM Jurusan Teknik Mesin dan Kepala Departemen Entrepreneurship BEM Jurusan Teknik Mesin. Selain itu pernah ikut serta dalam kepanitiaan beberapa acara yang dilaksanakan oleh organisasi kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.