

BAB II

KAJIAN TEORI DAN KERANGKA BERFIKIR

2.1. KAJIAN TEORITIS

2.1.1. Pengertian Penghantar, kabel dan kawat penghantar

Penghantar adalah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non logam yang bersifat konduktor atau dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar dapat berupa kabel ataupun dapat berupa kawat penghantar.²

Kabel adalah penghantar logam yang dilindungi dengan isolasi. Bila jumlah penghantar logam tadi lebih dari satu maka keseluruhan kabel yang berisolasi tadi dilengkapi lagi dengan selubung pelindung. Contohnya kabel listrik yang dipakai dirumah. Bila kabel tersebut “dikupas” maka akan kelihatan sebuah selubung (biasanya berwarna putih) yang membungkus beberapa inti kabel yang berisolasi (2 atau 3 inti) dimana masing-masing inti memiliki warna isolasi yang berbeda.³

Kawat Penghantar adalah penghantar yang juga logam tetapi tidak diberi isolasi. Contohnya kawat *grounding* pada instalasi penangkal petir atau kawat penghantar pada sistem transmisi listrik tegangan menengah dan tinggi milik PLN.⁴

² ._. Mengenal Peralatan Utama Instalasi Listrik 2011. Diakses pada 2 feb 2014
<http://www.instalasilistrikrumah.com/mengenal-peralatan-instalasi-listrik-rumah-2/>

³ Ibid

⁴ Ibid

2.1.2. Kriteria umum Kabel

1. Konduktor atau penghantar merupakan media untuk menghantarkan listrik. Penghantar (inti) kabel biasanya terbuat dari bahan tembaga, baja, dan aluminium. Dalam kabel-kabel pilin biasanya penghantar yang digunakan yang dipilin bulat dari aluminium murni.
2. Isolasi merupakan bahan dielektrik untuk mengisolir dari yang satu terhadap yang lain dan juga terhadap lingkungan-lingkungan. Sifat-sifat dielektrik yang penting adalah tahanan isolasi yang tinggi, kekuatan dielektris yang tinggi, sifat mekanis yang baik, tidak bereaksi terhadap asam dan lembab. Bahan Isolasi yang digunakan dalam penghantar adalah Isolasi XLPE. Isolasi digunakan untuk instalasi tetap.

2.1.3. Fungsi kabel

Kabel merupakan sesuatu yang wajib ada bila kita ingin memanfaatkan listrik untuk kehidupan sehari-hari, karena kabel itu sendiri berfungsi untuk menyalurkan atau mendistribusikan tenaga listrik dari pembangkit sampai kepada konsumen. Listrik dan kabel adalah sesuatu yang sulit dipisahkannya. Tanpa listrik, kabel tak berfungsi, dan sebaliknya. Oleh karena itu pentingnya kabel bagi kemaslahatan sehingga banyak orang merasa perlu untuk memproduksinya.

2.1.4. Karakteristik kabel

Kabel yang baik adalah kabel yang memiliki karakteristik yang memenuhi persyaratan dan standarisasi yang sudah ditentukan oleh PLN. Setiap kabel memiliki karakteristik masing-masing sesuai dengan apa yang telah ditentukan untuk jenis kabel tersebut. Secara garis besar karakteristik-karakteristik kabel adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik Mekanis

Kabel yang baik berdasarkan sifat mekanisnya adalah kabel yang kuat tarik dan pemulurannya sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan. Bila dia sebuah kabel fleksibel yang baik pula. Tentunya karakteristik mekanis ini adalah kemampuan sebuah kabel terhadap sifat-sifat mekanis, dua diantaranya adalah yang telah disebutkan di atas.

2. Karakteristik Thermis

Kabel memiliki sifat thermis yang berarti bahwa kabel tersebut haruslah tahan akan perubahan suhu panas atau dingin. Sebagai contoh beberapa pengujian yang mendukung untuk mengetahui karakteristik ini adalah tekanan terhadap suhu tinggi, tahan pukul pada suhu rendah, karakteristik hambatan apinya, dan kekedapan airnya.

3. Karakteristik Elektris

Secara garis besar kabel memiliki karakteristik elektrik yang baik adalah kabel yang bila diberi tegangan lebih memiliki

resistans penghantar yang kecil karena semakin kecil resistans penghantarnya maka kabel tersebut memiliki daya hantar yang baik dan sebaliknya. Sedangkan untuk resistans isolasinya haruslah semakin besar, karena semakin besar resistans isolasi maka daya sekat kabel tersebut semakin baik dan sebaliknya, hal ini menyangkut masalah keamanan bagi konsumen.

2.1.5. Jenis-Jenis Kabel

Dalam penempatan kabel yang diukur dari tegangan diantaranya⁵:

1. Kabel Tegangan Tinggi (*High Voltage Cable*)

Kabel ini biasanya digunakan di jaringan Tegangan Tinggi contohnya (SUTET) diatas 20 kV. Biasanya kabel ini terdapat digandul karena menghubungkan pulau Jawa dan Bali. Kabel yang digunakan adalah Kabel AAACS dan lainnya.

2. Kabel Tegangan Menengah (*Medium Voltage Cable*)

Kabel ini biasanya digunakan di Jaringan Tegangan Menengah biasanya terdapat di saluran transmisi tegangan menengah dan saluran bawah tanah dan tegangannya diantara 1 kV sampai 20 kV. Kabel yang digunakan diantaranya kabel NA2XSEYBY, NFA2XSY-T dan lainnya

3. Kabel Tegangan Rendah (*Low Voltage Cable*)

Kabel ini biasanya terdapat di jaringan tegangan rendah terdapat di udara, dipinggir jalan, dan diperumahan serta industri

⁵ __, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*. (Jakarta : BSNI, 2000), hlm 237

pabrik lainnya. Kabel ini biasanya bertegangan kurang dari 1 kv. Kabel yang akan digunakan adalah kabel NFA2X-T, NYY, NYM, NYA dan lainnya.

2.1.6. Bahan Penghantar

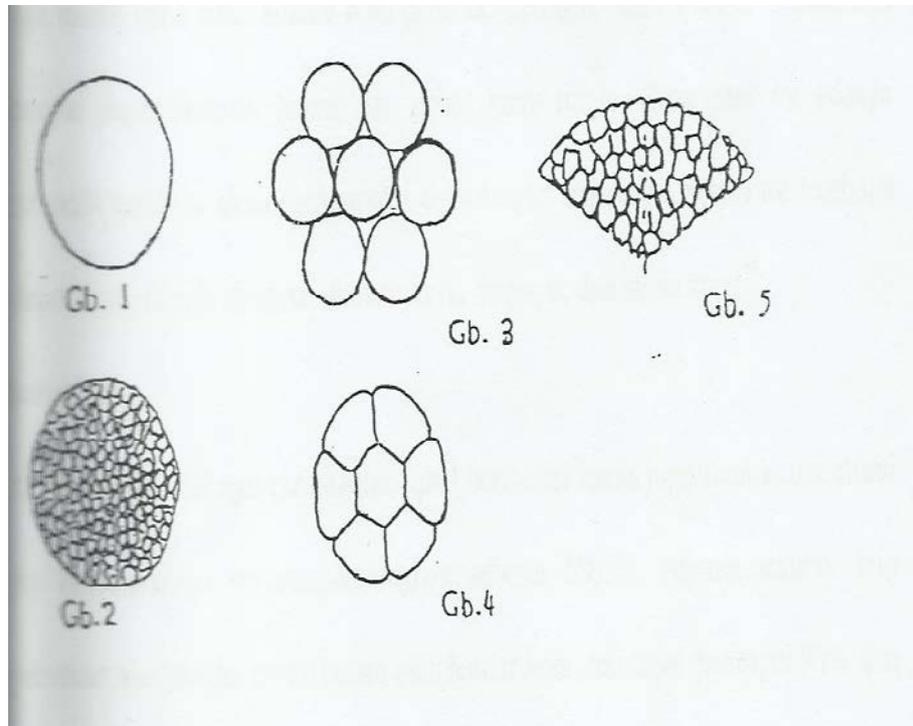
Fungsi penghantar pada teknik listrik adalah untuk menyalurkan energy listrik dari titik satu yang lain. Sedangkan suatu bahan dikatakan memiliki sifat menghantar jika pada bahan tersebut terdapat elektron bermuatan yang bebas bergerak sehingga muncullah arus listrik, misalnya logam. Logam yang baik untuk dijadikan penghantar harus mempunyai konduktivitas sebesar 10^7 ohm-meter. Sedangkan logam murni memiliki daya hantar listrik yang baik daripada logam campuran tetapi kekuatan mekanisnya rendah. Penghantar yang baik juga memiliki sifat-sifat seperti tahan akan panas, memiliki daya hantar yang baik, dan tidak mahal atau ekonomis.

Menurut pasal 7.1.1 ayat 7.1.1.1 tentang persyaratan umum instalasi listrik, “Semua Penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan yang memenuhi syarat, sesuai dengan tujuan penggunaannya, serta telah diperiksa dan diuji menurut standar penghantar yang dikeluarkan atau diakui oleh instansi yang berwenang”⁶

Penghantar yang lazim digunakan antara lain tembaga dan aluminium. Penghantar yang digunakan dalam kabel mempunyai 5 (lima) bentuk (konfigurasi) dasar yang masing-masing memiliki ciri

⁶ __, *Ibid.* hlm. 237

khas dan pasti memiliki kegunaan sendiri-sendiri, adapun gambar bentuk itu adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1. Lima bentuk dasar penghantar

Sumber Gambar: Dokumentasi Pribadi

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Gb. 1 Penghantar pejal | Gb.4 Penghantar dipilin dipadatkan |
| Gb. 2 Penghantar fleksibel | Gb.5 Penghantar dipilin sector |
| Gb. 3 Penghantar dipilin simetris | |

1. Tembaga

Tembaga adalah bahan tambang yang masih bersenyawa dengan zat asam, asam belerang atau kedua itu dan berbentuk bijih. Biasanya kabel yang berbahan tembaga pada kabel jenis NYM, NYA, NYY dan lainnya. Tembaga yang dipergunakan untuk penghantar kabel umumnya tembaga elektrolis, dengan kemurnian sekurang-kurangnya 99,9%.

Tahanan jenis tembaga tidak boleh melebihi $1/58=0,017241$ ohm mm²/m pada suhu 20⁰C, atau sama dengan daya hantar sekurang-kurangnya 58 siemens=100% IACS (IACS=international annealed copper standar)⁷.

Tembaga memiliki ketahanan terhadap korosi dan oksidasi. Masa jenis tembaga murni pada 20⁰C, 8,96 g/cm³ dengan titik beku 1083⁰C⁸. Tembaga mempunyai daya hantaran listrik dan panas yang tinggi. Sementara itu adanya kotoran pada tembaga akan mengurangi daya hantar listriknya. Selain itu tembaga juga dapat dirol, ditarik, ditekan, ditekan tarik, ditempa, dan tahan karat⁹.

2. Aluminium

Aluminium sebagai penghantar kabel berisolasi harus juga aluminium murni dengan kemurniannya sekurang-kurangnya 99,5% biasanya kabel yang digunakan kabel jenis NFA2X-T, NFA2XSY-T dan lainnya. Namun sumber lain menyebutkan aluminium untuk bahan penghantar kemurniannya mencapai 95% dan sisanya terdiri dari unsur besi, silicon, dan tembaga¹⁰. Tahanan jenis untuk aluminium adalah 0,028264 ohm mm²/m pada 20⁰C, atau sama dengan daya hantar sekurang-kurangnya 61% IACS¹¹. Aluminium murni memiliki massa jenis 2,7 g/cm³, α nya $1,4 \times 10^5$, dengan titik leleh 658⁰C dan tidak korosif¹².

⁷ Van harten dan E.Setiawan, *Instalasi Listrik arus Kuat I* (Bandung: Bina CIpta, 1991), hlm.111

⁸ Muhaimin, *Bahan-bahan Listrik untuk Politeknik* (Jakarta:PT. Pradnya Paramita, 1999), hlm.64

⁹ Deni Almanda, "Penghantar Energi Listrik", *Elektro Indonesia* No. 15 (1997), hlm.42

¹⁰ Ibid., hlm.41

¹¹ Van Harteem, *Op.cit*

¹² Deni ALmanda, *Loc.cit.*, hlm. 62

Jika akan digunakan untuk penghantar dalam ukuran besar harus diperkuat dengan baja atau paduan aluminium seperti ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) dan ACAR (*aluminium Conductor Alloy Reinforced*).

Aluminium sangat lemah dan lunak untuk itu dalam proses pembuatannya harus dicampur dengan logam. Aluminium lebih menguntungkan dibandingkan tembaga bila dipakai untuk hantaran yang tidak bersisilasi seperti hantaran transmisi di atas tanah. Hal ini karena daya hantarnya 60% daya hantar listrik tembaga.

2.1.7. Resistans Penghantar dan Resistivitas Kawat Penghantar

Besarnya hantaran listrik tergantung dari daya hantar listrik dan tahanan listriknya. Artinya semakin besar daya hantar dan semakin kecil tahanannya, maka hantaran listriknya semakin baik. Sedangkan konduktivitasnya akan besar jika kemurniaan bahan tinggi dan akan berkurang jika jumlah campuran bertambah.

Besarnya hambatan itu ditentukan oleh jenis bahan berarti bahan menghantar listrik dengan baik dan adapula yang kurang baik. Besarnya hantaran itu dapat dihitung dengan rumus:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.1)^{13}$$

Keterangan:

A = luas penampang (mm^2)

ρ = tahanan jenis ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)

¹³Deni Alamnda, Loc.cit., hlm 39

ℓ = panjang kawat (m)

Untuk Mengetahui faktor koreksi suhu pada kabel dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut ini:

Tabel 2.1. Faktor Koreksi Suhu Pada Saat Pengukuran

Suhu penghantar pada saat pengukuran $^{\circ}\text{C}$	Faktor koreksi suhu (K_t)	Suhu penghantar pada saat pengukuran $^{\circ}\text{C}$	Faktor koreksi suhu (K_t)
(1)	(2)	(3)	(4)
20	1,000	31	0,958
21	0,996	32	0,954
22	0,992	33	0,951
23	0,988	34	0,947
24	0,984	35	0,943
25	0,980	36	0,940
26	0,977	37	0,934
27	0,973	38	0,933
28	0,969	39	0,929
29	0,965	40	0,926
30	0,962		

Sumber: SPLN 41-1:1991, *Persyaratan Penghantar Tembaga dan Aluminium Kabel Listrik Berisolasi*

Naiknya suhu pada penghantar tentunya akan menaikkan nilai tahanannya. Koefisien suhu adalah besarnya kenaikan tahanan tiap derajat kenaikan suhu besarnya 1 (satu) ohm (Ω)¹⁴. Besarnya kenaikan tahanan dapat dihitung dengan rumus:

$$R_{20} = R_t \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\} \dots\dots\dots(2.2)$$

15

dimana: R_{20} = Resistans pada suhu tinggi dalam satuan Ω .

R_t = Resistans pada suhu rendah dalam satuan Ω .

α = Koefisien suhu dalam satuan $\Omega/^{\circ}\text{C}$.

¹⁴F. Suyatmo, *Dasar-dasar Teknik Listrik* (Jakarta: PT. Rineka Cipta, 1996) hlm. 44

¹⁵ F. Suryatmo, *Teknik Pengukuran Listrik dan Elektronika*. (Jakarta: Bumi aksara: 1999) hlm. 19

t_2 = Suhu tinggi dalam satuan⁰C.

t_1 = Suhu rendah dalam satuan⁰C.

Resistans penghantar berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Jika penampang penghantar 2 kali lebih besar, maka tahanannya 2 kali lebih kecil, dan jika panjang penghantar 2 kali lebih panjang, maka tahanannya 2 kali lebih besar¹⁶.

Tahanan jenis suatu bahan (ρ) adalah tahanan spesifik bahan yang panjangnya 1 meter dengan luas penampang 1 mm².

Standar yang telah digunakan sebagai persyaratan untuk besarnya nilai tahanan penghantar dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2. Penghantar Padat untuk kabel listrik instalasi tetap, berinti tunggal dan Ganda

1	2	3	4
Luas Penampang Nominal	Resistans arus maksimum pada suhu 20 ⁰ C		
	Penghantar Tembaga Bulat		Penghantar Aluminium bulat atau sektor, polos atau berlapis logam
	Polos	Berlapis Logam	
mm ²	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km
0,5	36,0	36,7	-
0,75	24,5	24,8	-
1	18,1	18,2	-
1,5	12,1	12,2	18,1**)
2,5	7,41	7,56	12,1**)
4	4,61	4,70	7,41**)
6	3,08	3,11	4,61**)
10	1,83	1,84	3,08**)
16	1,15	1,16	1,91**)
25	0,727*)	-	1,20
35	0,524*)	-	0,868
50	0,387*)	-	0,641
70	0,268*)	-	0,443
95	0,193*)	-	0,320
120	0,153*)	-	0,253
150	0,124*)	-	0,206
185	-	-	0,164
240	-	-	0,125
300	-	-	0,100

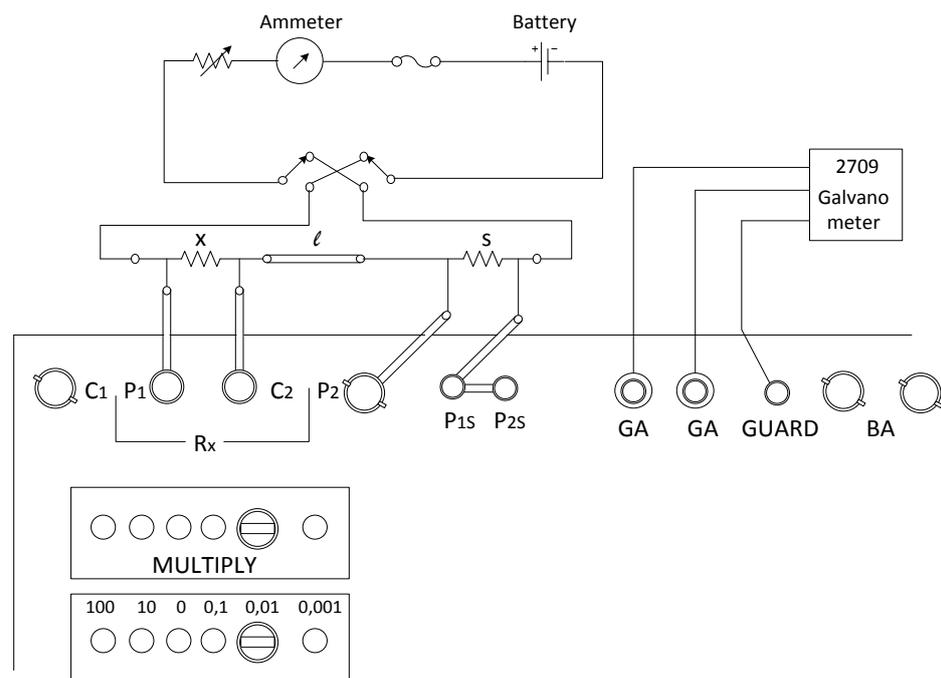
¹⁶Ibid.,hlm.23

Sumber: SPLN 41-1:1991, *Persyaratan Penghantar Tembaga dan Aluminium Kabel Listrik Berisolasi*

Catatan:

*) Penghantar tembaga padat dengan luas nominal 25 mm^2 keatas seperti yang tercantum pada tabel yang ditujukan untuk jenis kabel tertentu saja, dan tidak tercantum untuk penggunaan kabel biasa.

***) Penghantar aluminium padat dengan ukuran sampai dengan 16 mm^2 harus bulat. Penghantar aluminium padat untuk kabel inti tunggal dengan ukuran 25 mm^2 keatas harus bulat atau sektor.



Gambar 2.2. Rangkaian pengujian Resistans penghantar dan pengujian Resistivitas Kawat Penghantar

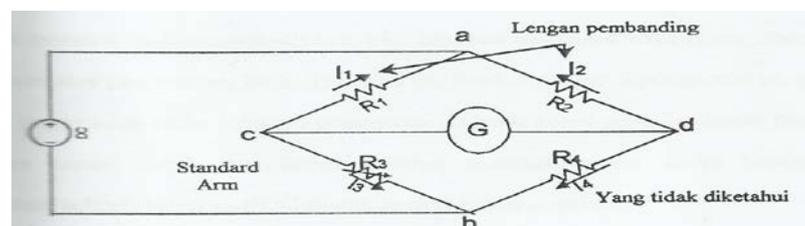
Sumber Gambar: Dokumentasi Pribadi

Prinsip Kerja:

Prinsip kerja pada rangkaian pengujian di atas adalah mengatur slide resistor yang fungsi untuk membatasi arus yang mengalir. DC meter digunakan sebagai penunjuk arus tersebut. Kemudian klem-klem arus dan tegangan dijepitkan pada kabel-kabel yang ingin diukur tahanan penghantarnya. Atur Double bridge agar mendapatkan keadaan setimbang pada galvanometer. Keadaan setimbang ditunjukkan dengan nilai 0 (nol) pada galvanometer.

Pada prinsipnya dari alat penguji tahanan penghantar adalah sama dengan prinsip kerja Jembatan Wheastone. Adapun prinsip kerja Jembatan Wheastone itu sendiri adalah sebagai berikut:¹⁷:

Rangkaian Jembatan Wheastone mempunyai empat lengan berarti sumber ggl (baterai) dan sebuah detektor nol yang biasanya adalah Galvanometer atau alat ukur arus sensitif lainnya. Arus melalui Galvanometer bergantung pada beda potensial antar titik c dan d. Jembatan disebut setimbang bila beda potensial pada galvanometer adalah 0 V, artinya tidak ada arus melalui galvanometer. Kondisi ini terjadi bila tegangan dari titik c ke a sama dengan dari titik d ke a, atau dengan mendasarkan terminal lainnya, jika tegangan dari titik c ke b dengan tegangan dari titik d ke b. Lihat gambar 3 berikut ini:



¹⁷William David Cooper, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengaturan* (Jakarta:Erlangga, 1994), hlm 148-149)

Gambar 2.3. Jembatan Wheastone

Sumber Gambar: William David Cooper, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengaturan*

Jika arus Galvanometer adalah nol, maka kondisi-kondisi berikut dapat dipenuhi:

$$I_1 = I_3 = \frac{E}{R_1 + R_3} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$I_2 = I_4 = \frac{E}{R_2 + R_4} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) dan menyederhanakan persamaan diatas dapat diperoleh:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} = \frac{R_2}{R_2 + R_4} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dari Persamaan (2.6) merupakan bentukan yang dikenal dalam kesetimbangan jembatan Wheastone. Jika tiga dari tahanan-tahanan tersebut telah diketahui maka tahanan keempat dapat diketahui dari persamaan (2.6). Berarti Jika R_4 tidak diketahui, maka tahanan-tahanannya R_x dapat dinyatakan tahanan-tahanan lainnya sebagai berikut:

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots(2.7)^{18}$$

Tahanan R_3 disebut lengan standar dari jembatan, dan Tahanan R_2 dan R_1 disebut lengan-lengan pembanding (ratio arms).

¹⁸ *Ibid*, hlm. 150

Untuk prinsip kerja dari resistivitas kawat penghantar sama dengan prinsip kerja resistans penghantar dengan menggunakan alat Whistone Double Bridge dan alat pengujinya sama dengan Galvanometer agar keadaannya setimbang. Keadaan setimbang ditunjukkan dengan nilai 0 (no1) tetapi perbedaannya dengan resistans penghantar itu menggunakan dengan 2 penjepit pada inti kabel namun jika pada resistivitas yang digunakan pada besi penjepit yang dijepit lalu kawat penghantar tersebut diluruskan terlebih dahulu lalu dijepit dan kawat penghantar tersebut setelah dijepit dalam keadaan lurus dan tidak melengkung. Rangkaiannya dapat dilihat pada gambar 2.2.

2.1.8. Daya Hantar

Kabel merupakan alat menstransmisikan daya listrik dari pembangkit listrik ke konsumen. Peranana kabel ini sangatlah penting sehingga banyak produsen kabel memproduksinya. Perlu diketahui untuk mendapatkan sebuah kabel yang baik tidaklah semudah yang dibayangkan. Agar memiliki kualitas yang baik kabel haruslah sesuai dengan standar yang disepakati bersama.

Kemampuan sebuah kabel dalam menghantarkan aliran listriknya sangat bergantung pada bahan, ukuran dan tahanan dari sebuah penghantar. Masing-masing kabel memiliki ukuran tersendiri dalam hal diameter dan tebal penghantar, tentu saja ukuran ini pun distandarkan atas kesepakatan bersama. Untuk peralatan listrik pihak yang berwenang membuat kesepakatan standar adalah PLN.

Kabel memiliki tahanan penghantar yang kecil maka daya hantar listriknya semakin baik dan sebaliknya, bila tahanan penghantar besar maka daya hantar listriknya pun kurang baik. Tahanan itu sendiri dipengaruhi suhu, semakin tinggi suhu maka tahanan penghantar sebuah kabel semakin besar dan tentu saja daya hantar listrik dari kabel tersebut semakin buruk. Daya hantar atau konduktansi sebuah kabel adalah kebalikan dari tahanan yakni:

$$G = \frac{1}{R} \dots \dots \dots (2.8)^{19}$$

Dimana: G = konduktivitas (mho meter)

R = tahanan (Ω)

2.1.9. Pemilihan Bahan Isolasi

Pada dasarnya memilih bahan untuk isolasi sebuah kabel haruslah dilakukan dengan teliti, karena bahan isolasi ini menyangkut dengan masalah keamanan dengan konsumen. Betapa tidak, bahan isolasi yang buruk dapat menyebabkan adanya kecelakaan-kecelakaan seperti tersengat aliran listrik yang dapat membahayakan bahkan sampai memakan korban serta dapat menimbulkan bahaya seperti kebakaran. Pemilihan bahan isolasi dengan bahan yang baik adalah pilihan yang bijak agar bahaya-bahaya tersebut di atas dapat dihindari.

Untuk dapat melakukan pemilihan bahan isolasi yang sesuai dengan kebutuhan dan aman digunakan, maka diperlukan evaluasi-evaluasi sebagai berikut²⁰:

¹⁹Deni almanda, Loc.cit., hlm.39

1. Sifat Fisis dan penuaan merupakan sifat menunjukkan ketahanan Isolasi dalam kondisi kerja, dimana faktor ini erat hubungannya dengan umur kabel.
2. Tahanan Isolasi, merupakan ukuran terhadap kebocoran isolasi sehingga turut menentukan besarnya kerugian dielektrik atau efisiensi dari suatu saluran transmisi. Makin besar tahanan isolasi, maka makin kecil kebocoran isolasinya. Faktor ini biasanya dinyatakan dengan tahanan jenis isolasi. Bahan isolasi umumnya mempunyai koefisien suhu negatif, yaitu, tahanan jenis isolasi biasanya diberikan pada suhu kerja badan tersebut.
3. Ketahanan terhadap air
4. Fleksibilitas mekanis
5. Kondisi sekitar tempat instalasi.

2.1.10. Resistans Isolasi dan Uji Tegangan

Isolasi listrik harus mempunyai kekuatan listrik yang memadai untuk menjamin faktor keselamatan, tapi jika isolasi itu dikotori oleh timbunan dan penguapan air maka kuat listriknya akan turun. Sementara itu kemampuan usia pakai isolasi makin lama makin menurun, hal ini disebabkan karena adanya penurunan kekuatan mekanis dan listriknya, terjadi perubahan struktur bahan yang menimbulkan keretakan pada permukaan dan adanya timbunan

²⁰Hadi Sanjoto, *Diklat Pengenalan Bahan Isolai dan Kemampuan Penghantar*. (Jakarta;1986), hlm. 11

kotoran, untuk itulah perlu dilakukan pengujian dan pengukuran secara teratur salah satunya dalam hal resistans isolasinya.

Adapun untuk mendapatkan nilai resistans isolasi sebuah kabel pada suhu 20°C dengan panjang sebesar 1000 m kita dapat menghitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R_i = R_t \times K_t \times \frac{L}{1000} \dots\dots\dots(2.9)^{21}$$

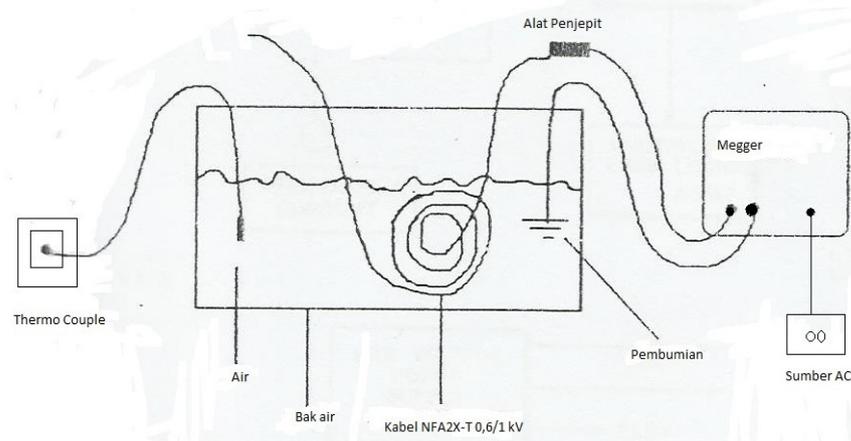
dimana: R_i = Resistans isolasi pada suhu 20°C

K_t = Faktor koreksi pengukuran ke suhu 20°C

L = Panjang contoh kabel

R_t = Resistans isolasi pada $t^{\circ}\text{C}$ (Mohm)

Tahanan isolasi dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya diantaranya adalah suhu berbanding terbalik dengan tahanan isolasi, untuk itu pada pengukuran berkala terhadap tahanan isolasi perlu dilakukan perbandingan pada suhu yang sama. Pada tahanan isolasi yang tinggi pemakaiannya harus disesuaikan dengan sifat mekanis, kimia, dan kemampuan menahan panas.



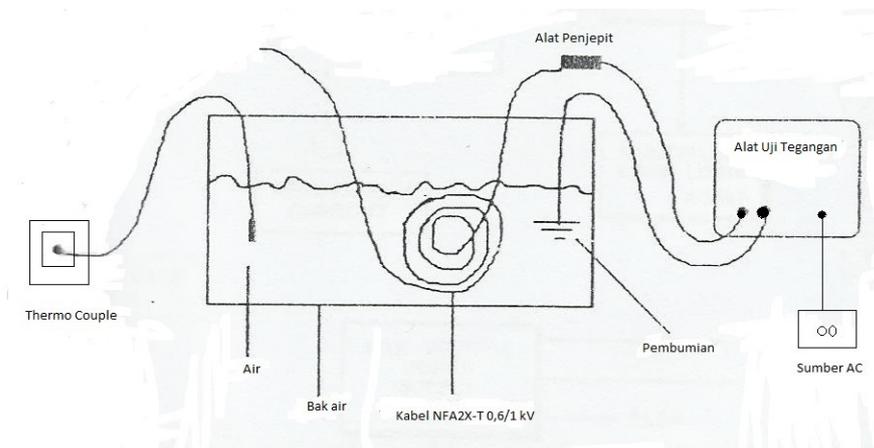
²¹PT. PLN (Persero) JTK-Unit Pengujian, Lembar Pengujian Resistans Isolasi kabel Utuh dan Tegangan

Gambar 2.4 Rangkaian Pengujian tahanan Isolasi

Sumber Gambar: Dokumentasi pribadi

Secara garis besar prinsip kerja dari rangkaian tahanan isolasi adalah sebagai berikut:

Kupas ujung kira-kira 10 meter, lalu pasang klem penjepit alat *Megger* pada salah satu ujung kabel. Kemudian salah satu penjepit ke air sebagai grounding. Air telah tersambung dengan thermo control, yang fungsinya pengontrol suhu. Kemudian ukur tahanan Isolasinya.



Gambar 2.5. Rangkaian Uji tegangan

Sumber Gambar: Dokumentasi pribadi

Sedangkan untuk uji tegangan prinsip kerjanya sama dengan tahanan isolasi adalah sebagai berikut:

Kupas ujung kira-kira 10 meter, lalu pasang klem penjepit pada alat uji Tegangan pada salah satu ujung kabel. Kemudian salah satu penjepit ke air sebagai grounding. Air telah tersambung dengan thermo control, yang fungsinya pengontrol suhu. Kemudian tekan sumber pada Alat Uji Tegangan lalu atur tegangan 3,5 kV lalu tunggu sampai

5 menit, jika kabel itu melebihi batas arus maka kabel itu dikatakan tidak baik.

2.1.11. Daya Tahan Isolasi

Isolasi merupakan bagian terbesar dari biaya yang diperlukan untuk membuat peralatan listrik. Pemakaian Isolasi haruslah seekonomis mungkin, dengan mengurangi kemampuan sebagai isolator. Berangkat dari semua maka dikenal istilah kordinasi isolasi, yakni sebagai korelasi kekuatan isolasi peralatan system tenaga dan sirkit-sirkit listrik dari satu pihak dan karakteristik alat-alat pelindung dipihak lain, sehingga isolasi terlindung dari bahaya-bahaya tegangan lebih secara ekonomis²².

Kordinasi isolasi dinyatakan dalam bentuk langkah-langkah yang diambil untuk menghindarkan kerusakan terhadap alat-alat listrik karena tegangan lebih dan membatasi lompatan (yang tidak dapat dihindarkan karena alasan ekonomis) sehingga tidak menimbulkan kerusakan. Caranya ialah dengan menentukan korelasi yang diperlukan antara daya isolasi alat-alat listrik dan karakteristik alat pelindung terhadap tegangan lebih, yang masing-masing ditentukan oleh tingkat ketahanan impuls dan tingkat perindungan impuls.

Bahan Isolasi akan semakin baik apabila resistivitas semakin tinggi, adanya suhu tinggi disertai kelembaman yang terjadi dalam

²²Aristono Arismundar, *Teknik Tegangan Tinggi* (Jakarta: Pradina Paramita, 2011), hlm. 102

waktu yang lama dalam bahan isolasi akan menyebabkan turunnya resistivitas.

Turunnya resistivitas berarti daya tahan isolasi menjadi buruk. Daya isolasi buruk akan menyebabkan adanya arus bocor, yakni arus yang mengalir pada hantaran karena adanya keretakan pada permukaan isolasi yang besarnya berkurang/berubah selama ada tegangan²³.

2.1.12. Kabel NFA2X-T 0,6/1 kV



Gambar 2.6. NFA2X-T

Sumber Gambar: Dokumentasi Pribadi

Kabel NFA2X-T merupakan jenis hantaran yang digunakan untuk saluran udara tegangan rendah karena pemasangannya dilakukan untuk instalasi PLN khususnya instalasi umum yang direntangkan diantara tiang dan dengan rumah konsumen dengan menggunakan klem tarik dan klem gantung.

Kabel NFA2X-T merupakan kawat penghantar yang berisolasi XLPE, untuk tegangan kerja sampai dengan 0,6/1 kV. Kabel pilin udara

²³Deni Almanda, “Karakteristik Bahan Isolasi”, Elektro Indonesia No.14 (1997), hlm. 34

dengan inti netral sebagai penggantung. Penghantar fasa dan penghantar penerangan jalan terdiri dari kawat-kawat yang dipilin bulat dan aluminiurnya murni sedangkan penghantar netral terdiri dari kawat-kawat yang dipilin bulat dari aluminium paduan²⁴.

Tabel 2.2. Kode Pengenal kabel

Huruf kode	Komponen
N	Kabel jenis Standar
F	Saluran Udara
A	Pengahntar Aluminium
2X	Isolasi XLPE
Y	Isolasi PVC
T	Penggantung
Rm	Penghantar bulat berkawat banyak
Cm	Penghantar bulat berkawat dipadatkan

Sumber Tabel: SPLN 42-10:1991, *Kabel Pilin Udara*

NFA2X-T/NFA2X 0,6/1 kV

Penandaan Kode Pengenal dilengkapi dengan jumlah inti, luas penampang penghantar dan tegangan pengenal

Contoh :

- a. NFA2X-T 3x70 cm +1x50 cm 0,6/1 kV menyatakan suatu kabel ilin udara berisolasi XLPE, berinti empat terdiri dari 3 inti untuk fase, 1 inti untuk netral/penggantung untuk tegangan nominal 0,6/1 kV, berpenghantar aluminium murni dipilin bulat dipadatkan untuk fase dengan luas penampang 70 mm², berpenghantar aluminium campuran melulu, dipilin

²⁴ *Ibid*, Hlm. 1

bulat berkawat banyak untuk netral/penggantung dengan luas penampang 50 mm².

- b. NFA2X-T 3x35 mm + 1x25 mm 0,6/1 kV menyatakan kabel pilin udara berisolasi XLPE, berinti empat terdiri dari 3 inti untuk fase dan 1 inti untuk netral sebagai penggantung, dengan tegangan pengenal 0,6/1 kV. Berpenghantar aluminium murni yang dipilin bulat dengan luas penampang 35 mm² untuk inti fase dan penghantar aluminium paduan yang dipilin bulat dengan luas penampang 25 mm² untuk netral/penggantung.

Selain itu Kabel NFA2X-T harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan untuk konstruksi kabel NFA2X-T dengan netral sebagai penggantung yang akan dilampirkan.

2.1.13. Macam-macam Pengujian-pengujian pada kabel listrik

Pengujian pada kabel listrik terdapat 2 pengujian non elektrik dan pengujian elektrik menurut SPLN diantaranya²⁵:

1. Pengujian non elektrik merupakan pengujian yang dilakukan dengan pengukuran secara mekanis atau thermal. Pengujian meliputi pengujian mekanis dan pengujian thermal. Pengujian mekanis seperti pengujian dimensi, pengujian kuat tarik serta lainnya. Sedangkan pengujian thermal meliputi pengujian hotset, pengujian penuaan serta lainnya.

²⁵ *Ibid, hlm. 12-13*

2. Pengujian elektrikal yang merupakan pengujian yang dilakukan dengan mengukur tegangan, nilai resistans dan nilai kuat arus. Pengujian ini seperti pengujian tegangan, resistans penghantar, resistivitas pada kawat, pengujian dielektrik selama 24 jam dan lainnya.

2.1.14. Komponen Uji Elektrikal pada Kabel NFA2X-T

Bagian-bagian yang akan diuji pada komponen uji elektrikal meliputi 4 bagian yaitu Resistans penghantar pada kawat konduktor, uji resistans isolasi, uji tegangan pada inti kabel dan pengujian resistivitas kawat konduktor.

Instruktur dan cara kerja:

1. Pengujian Resistans Penghantar dimaksudkan untuk memeriksa apakah sifat-sifatnya memenuhi persyaratan standar. Alat-alat yang dipergunakan adalah

- a. Alat pengukur tahanan dengan ketelitiannya tidak melebihi dari \pm (2% dari harga yang diukur + 20 m Ω)
- b. Alat pengukur tahanan dengan ketelitian tidak melebihi dari \pm (2% dari harga yang diukur + 5 m Ω), misalnya Jembatan Wheastone
- c. Alat pengukur tahanan dengan ketidaktelitian tidak melebihi dari \pm (2% dari harga yang diukur + 0,01 m Ω) dengan jepitan terpisah untuk arus dan tegangan contohnya Jembatan Thomson.

d. Sumber tegangan arus searah

Langkah pertama adalah mengambil keeping uji kabel dengan panjang min 100 cm, kupas isolasi sepanjang kira-kira 150 mm dan tandai penempatan kutub tegangan P1 dan P2. Ukur dan tandai jarak untuk kutub P dan kutub C pada kedua ujung penghantar, pasang penjepit kutub tegangan P1 dan P2 serta arus C1 dan C2 secara manual. Operasikan alat uji resistans penghantar dengan suhu 25⁰C . Maka dari pengujian kita akan memperoleh nilai dari R₂₅ (Resistans pada saat suhu 25⁰C). Kabel yang baik harus memperoleh hasil resistans pada suhu 20⁰C (R₂₀) dengan menghitung (rumus 2.14) dan memenuhi standar.

Untuk menengetahui nilai resistans penghantar dapat dihitung dengan rumus:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha(t - 20)} \times \frac{1000}{l} \dots\dots\dots(2.10)^{26}$$

Dimana:

l = panjang dalam meter

Nilai Koefisien suhu (α)= 0,00403 (untuk aluminium)

2. Pengujian tegangan dimaksudkan untuk menentukan kondisi kabel khususnya daya tahan isolasi dalam drum maupun yang sudah terpasang pada instalasi. Alat yang digunakan adalah Sumber tegangan arus bolak balik, sumber tegangan arus searah, penunjuk tegangan, bak air, dan peralatan pengaman. Langkah yang dilakukan dengan mengambil kabel dengan panjang kira-kira 100 mm

²⁶ _____, *Instruksi Kerja Pengujian Kabel*. (Jakarta: Puslitbang PLN:2010).

kemudian kupas isolasi kabel kira-kira 20 mm pada salah satu ujung kabel, kemudian pasang penjepit sumber tegangan dari alat uji tegangan AC pada inti kabel yang telah ditentukan. Lakukan perendaman dalam air dengan suhu 25⁰C selama 1 jam untuk kabel utuh dan berikan tegangan 3,5 kV selama 5 menit. Maka kabel yang baik harus tahan terhadap tegangan yang diberikan atau tidak tembus.

3. Pengujian Resistans isolasi pada inti kabel/Pengujian dielektrik yang direndam air selama 24 jam) dengan mempersiapkan thermometer, bak air, alat uji ukur isolasi megger), stopwatch dan jangka sorong. Siapkan pemotongan sepanjang 5,5 meter. Pisahkan inti-inti kabel dan komponen lainnya seperti isolasi kawat dan hindari kerusakan pada mekanis isolasi kabel. Ukur diameter luar dan diameter dalam isolasi menggunakan jangka sorong. Kupas isolasi kabel sepanjang kira-kira 20 mm pada salah satu ujung kabel. Masukkan uji ke dalam suhu air yang telah ditetapkan minimum selama 2 jam, dengan kedua ujung dari permukaan kira-kira 250 mm. lakukan pengujian resistans isolasi dan catat hasil pengukuran. Tentukan salah satu inti kabel yang akan diuji resistansnya, kemudian regangkan dari inti lain yang akan diuji, pasang penjepit polaritas negatif megger pada penghantar inti kabel yang telah ditentukan dan polaritas positif dihubungkan ke air. Operasikan alat uji resistans isolasi (megger). Lakukan tahapan sampai terhadap inti lainnya.

Untuk menghitung nilai resistans isolasi dengan rumus:

$$R_i = \frac{L}{10^3} R_t \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana:

R_i = Resistans isolasi pada suhu 20⁰C persatuan panjang (Mohm.km)

L = Panjang contoh

R_t = Resistans isolasi pada 20⁰C (M.ohm)

4. Pengujian reisivitas pada kawat penghantar dengan menyiapkan alat uji/ukur seperti alat uji Resistans penghantar (wheastone double bridge), thermometer, alat pelurus kawat dan micrometer. Setelah dipersiapkan lakukan pengujian pilinan penghantar dengan dilakukannya pemisahan pada kawat konduktor terhadap isolasi kabel, buka/psahkan seluruh kawat dari pilinan penghantar kemudian luruskan, setelah diluruskan lalu tandai dan ukur diameter kawat-kawat tersebut, Seetelah diukur lalu catat hasil pengujian diameter, lalu pasang kawat yang telah diluruskan pada kutub-kutub penjepit alat uji resistans wheastone double bridge. Operasikan alat uji resistans penghantar. Setelah diuji catat hasil pengujian.

Untuk menengetahui nilai Luas penampang kawat dapat dihitung dengan rumus:

$$A = \frac{\pi.D^4}{4} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana: D = diameter kawat

$$\pi = 22/7 \text{ atau } 3,14$$

Untuk mengetahui nilai resistivitas pada kawat penghantar (ρ_{20}) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini)

$$\rho_{20} = R_{20} \frac{A}{L} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$R_{20} = R_t \{1 - \alpha(t - 20)\} \dots \dots \dots (2.14)^{27}$$

dimana: R_t = Resistans penghantar pada suhu $t^{\circ}\text{C}$, dalam ohm

R_{20} = Resistans penghantar pada suhu 20°C , dalam ohm

l = Panjang Kawat, dalam meter

α = Koefisien suhu bahan kawat

C_u = 0,0393

Al = 0,00403

$A3C$ = 0,00360

A = Luas Penampang kawat, dalam mm^2

D = Diameter kawat, dalam mm.

²⁷ *Ibid*, hlm. 9

2.1.15. Standarisasi pengujian Elektrikal Kabel NFA2X-T pada SPLN 42-10

Tabel 2.3 Persyaratan standar yang diuji pada Kabel NFA2X-T menurut
SPLN 42-10

Jenis Uji		Persyaratan Standar kabel	
		PT X1	PT X2
		3x70+50 mm ²	3x35+25 mm ²
Uji Resistans penghantar			
• Fase	Maks.	0,443	0,868
• Netral penggantung	Maks.	0,690	1,38
Uji tegangan pada inti kabel 3,5 kV, selama 5 menit	-	Tahan	Tahan
Uji resistivitas pada kawat penghantar pada 20 ⁰ C			
• Fase	Maks.	28,264	28,264
• Netral/penggantung	Maks.	32,8	32,8
Uji resistans isolasi pada inti kabel (Uji dielektrik yang direndam air selama 24 jam)	-	Tahan	Tahan

2.2. Kerangka Berpikir

Kebakaran merupakan suatu ancaman bagi keselamatan manusia, dengan lingkungan penduduk yang padat, perkampungan yang sempit dan akhirnya membuat rawan kebakaran yang terjadi pada konsleting kabel listrik yang dibuat oleh pabrik kabel palsu dan tidak memenuhi standar. Kabel adalah penghantar logam yang dilindungi dengan isolasi yang terdiri dari beberapa jenis, dimana tiap jenis memiliki kriteria yang berbeda-beda. Setiap ukuran kabel, tegangan serta kuat arus pada kabel yang telah diatur dalam standar SPLN. Kriteria kabel terdiri dari penghantar/konduktor, isolasi dan selubung yang mempunyai fungsi tertentu. Kabel listrik dikelompokkan menjadi 3 bagian berdasarkan tegangan yaitu kabel tegangan tinggi, kabel tegangan menengah dan kabel tegangan rendah. Kabel yang akan digunakan adalah kabel tegangan rendah yakni kabel NFA2X-T. Untuk membandingkan kualitas suatu kabel maka harus dilakukan pengujian terhadap komponen kabel tersebut. Menurut SPLN 42-10 untuk dilakukan beberapa pengujian-pengujian diantaranya pengujian resistans penghantar, pengujian tegangan, pengujian resistivitas kawat konduktor dan pengujian resistans isolasi pada inti kabel.

Kabel yang akan memenuhi standar SPLN 42-10 harus mengikuti langkah-langkah pengujian kabel dari 4 komponen tersebut. Hasil pengujian dengan membandingkan hasil pengujian tersebut dengan aturan SPLN, sehingga dengan perbandingan hasil pengujian yang telah dilakukan diketahui hasil kualitas kabel. Selanjutnya hasil pengujian dianalisis data sesuai dengan pengujian.

