

## **BAB II LANDASAN TEORI**

Penghantar listrik terdiri dari dua macam yaitu kabel dan kawat. Kawat merupakan penghantar tanpa isolasi (telanjang) yang terbuat dari tembaga (Cu) dan / atau aluminium (Al), sedangkan kabel adalah penghantar yang dibungkus bahan isolasi, baik yang berinti tunggal maupun banyak. Jenisnya ada yang kaku ada juga yang berserabut. Sedangkan berdasarkan pemasangan terbagi atas kabel udara dan kabel tanah.(Emidiana and Widodo, 2018)

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada kabel adalah kegagalan isolasi, sehingga bahan isolasi tidak dapat melakukan fungsinya dengan baik, salah satu penyebabnya adalah panas yang terjadi pada kabel yang merusak isolasi kabel tersebut. Pemasangan kabel yang ditebuk menjadi salah satu penyebab panas kabel tersebut.

Kabel yang digunakan untuk instalasi rumah adalah kabel kawat tembaga. Kabel kawat tembaga yang umumnya dipakai adalah tipe kabel NYA, NYM, NYAF dan NYY.

### **2.1. Jenis Kabel Instalasi**

#### **2.1.1. Kabel NYA(MPhil, 2019)**

Kabel NYA berinti tunggal, dengan lapisan isolasi dari bahan PVC, digunakan untuk instalasi luar atau instalasi kabel udara. Kode warna isolasi antara lain warna merah, kuning, biru, dan hitam berdasarkan peraturan PUIL. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis yang menyebabkan kabel tersebut mudah rusak, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus, untuk menjaga

keamanan ketika kita memakai kabel ini, kabel harus dipasang di dalam pipa/*conduit* jenis PVC atau saluran tertutup agar tidak digigit tikus dan bila isolasinya terkelupas tidak akan tersentuh langsung.



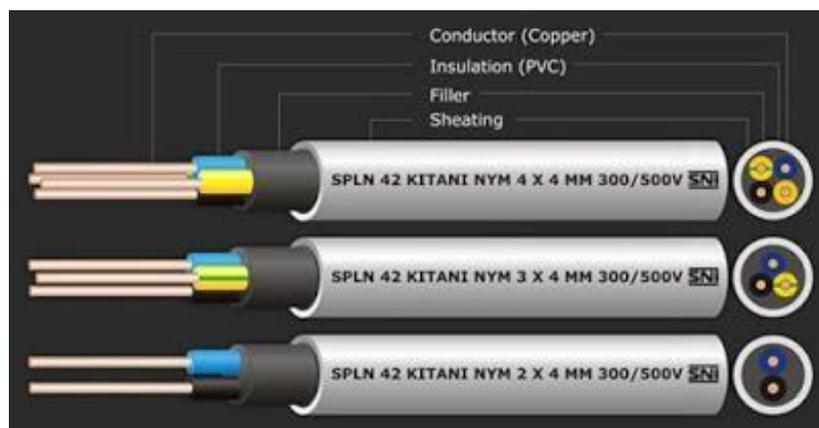
**Gambar.2.1** Kabel NYA(MPhil, 2019)

**Tabel 2.1.** Spesifikasi Kabel NYA

Bahan Isolasi	Lapisan Inti Kabel	Maximum Arus	Kelebihan	Kekurangan
PVC	Tembaga dengan inti tunggal	450/750 V	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Harganya murah</li> <li>2. Mudah dipasang, walau instalasi banyak lekukan sekalipun</li> <li>3. Cocok digunakan untuk instalasi perumahan</li> <li>4. Memiliki voltase yang relative cukup</li> <li>5. Memiliki bahan insulin berwarna yang memudahkan ketika proses pemasangan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tingkat keamanan kurang memadai karena kabel hanya memiliki satu lapisan pelindung</li> <li>2. Kabelterbilang mudah rusak serta tidak tahan air tidak disarankan dipasang untuk instalasi area luar yang beresiko basah</li> <li>3. lapisan isolator tipis sehingga mudah rusak dan terkena gigitan tikus</li> <li>4. Tingkat keamanan rendah</li> </ol>

### 2.1.2. Kabel NYM(MPhil, 2019)

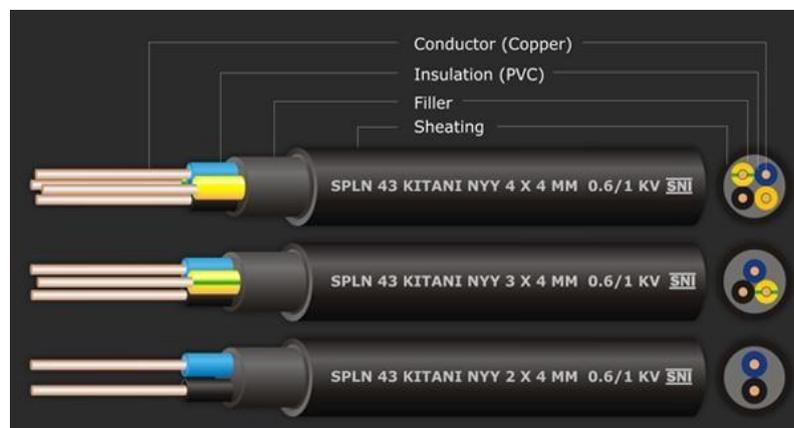
Kabel jenis ini sebetulnya kabel NYA yang diperbanyak misalnya 2, 3 sampai 4 konduktor yang dibungkus kembali dengan double isolasi. Fungsinya sama dengan kabel NYA yaitu untuk instalasi listrik rumah atau gedung dan sistem tenaga. Kabel ini memiliki isolasi PVC yang berwarna putih atau abu-abu. Kabel NYM memiliki isolasi 2 lapis sehingga relatif lebih aman dari pada kabel NYA dan harganya juga lebih mahal. Kabel NYA dapat digunakan baik di lingkungan yang kering dan basah tetapi tidak boleh ditanam. Karena kabel NYM memiliki isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA. Selain itu, kabel ini juga mampu bertahan dalam kondisi kering dan basah dan cukup sulit cacat.



**Gambar 2.2** Kabel NYM(MPhil, 2019)

**Tabel 2.2.** Spesifikasi Kabel NYM

Bahan Isolasi	Lapisan Inti Kabel	Maximum Arus	Kelebihan	Kekurangan
PVC	Kawat berpilin yang terbuat dari bahan tembaga atau bahkan aluminium	300/500 V	<ol style="list-style-type: none"> <li>Memiliki isolasi sebanyak 2 lapis, sehingga tingkat keamanan lebih baik dari kabel NYA</li> <li>Dapat digunakan pada area kering maupun basah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Harganya lumayan mahal</li> <li>Penggunaan kabel tidak dapat ditanam langsung ke tanah</li> </ol>

**2.1.3. Kabel NYY**(MPhil, 2019)**Gambar 2.3** Kabel NYY(MPhil, 2019)

Kabel NYY dengan lapisan isolasi dari bahan PVC (biasanya berwarna hitam), jumlah intinya 2, 3 atau 4. Kabel NYY digunakan pada instalasi yang ditanam (kabel tanah), dan mempunyai lapisan isolasi yang lebih kuat. Jika dibandingkan dengan kabel NYM. Perbedaannya hanya pada kualitas isolasi yang jauh lebih kuat dan tahan pada kondisi apapun. Kabel protodur tanpa sarung logam. Instalasi bias ditempatkan di dalam dan diluar ruangan, dalam kondisi lembab ataupun kering, ada yang berini 2, 3 atau 4. Kabel ini digunakan untuk instalasi bawah tanah meskipun tetap harus diberikan perlindungan khusus misalnya pipa PVC, duct atau pipa besi dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel

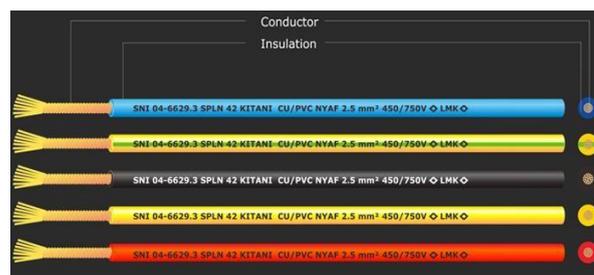
NYM (harganya lebih mahal dari kabel NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.

**Tabel 2.3.** Spesifikasi Kabel NYY

Bahan Isolasi	Lapisan Inti Kabel	Maximum Arus	Kelebihan	Kekurangan
PVC berlapis bergantung jumlah inti namun jika dibandingkan dengan Kabel jenis NYM,NYY memiliki bahan isolasi yang lebih tebal dan kuat	Terdiri dari lebih dari satu inti tunggal yang dilapisi PVC	0,6/1 KV	Memiliki Kontruksi bahan insulator yang lebih tebal dan kuat sehingga tahan terhadap cuaca dan lingkungan bahkan tahan terhadap gigitan hewan seperti tikus	Jika dibandingkan kabel jenis NYM, harga kabel jenis NYY lebih mahal

#### 2.1.4. Kabel NYAF(MPhil, 2019)

Kabel ini direncanakan dan direkomendasikan untuk instalasi dalam kabel kotak distribusi pipa atau di dalam duct. Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan jenis penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang merupakan fleksibilitas yang tinggi. Kabel jenis ini sangat cocok untuk tempat yang mempunyai belokan-belokan tajam. Digunakan pada lingkungan yang kering dan tidak dalam kondisi yang lembab/basah atau terkena pengaruh cuaca secara langsung.



**Gambar 2.4** Kabel NYAF(MPhil, 2019)

**Tabel 2.4.** Spesifikasi Kabel NYAF

Bahan Isolasi	Lapisan Inti Kabel	Maximum Arus	Kelebihan	Kekurangan
PVC satu lapis	Satu inti tembaga berserabut (lebih fleksibel daripada tembaga tunggal)	450/750 V	Sangat mudah untuk instalasi karena struktur kabelnya sederhana. Selain itu, jenis kabel NYAF memiliki fleksibilitas lebih karena lebih mudah ditekuk	Lapisan isolasinya hanya satu lapis sehingga rentan terhadap gigitan hewan dan cacat karena cuaca. Sehingga untuk menghindari kerusakan direkomendasikan menggunakan pipa pvc untuk melindungi kabel ini

## 2.2. Kode-kode Kabel

**Tabel 2.5** Nomenklatur Kode-Kode Kabel di Indonesia(Djoko, 2010)

HURUF	KETERANGAN
N	Kabel Standar dengan penghantar/inti tembaga
NA	Kabel aluminium sebagai penghantar
Y	Isolasi PVC
G	Isolasi karet
A	Kawat berisolasi
Y	Selubung PVC (Polvinyl Chloride) untuk kabel luar
M	Selubung PVC untuk kabel luar
R	Kawat baja bulat (perisai)
GB	Kawat pipa baja (perisai)
B	Pipa baja
I	Untuk isolasi tetap diluar jangkauan tangan
re	Penghantar padat bulat
rm	Penghantar bulat berkawat banyak
Se	Penghantar bentuk pejal (padat)
Sm	Penghantar dipilin bentuk sektor
f	Penghantar halus dipindai bulat
ff	Penghantar sangat fleksibel
Z	Penghantar z
D	Penghantar 3 jalur yang d tengah sebagai pelindung Kabel untuk alat bergerak
H	
Rd	Inti dipilin bentuk bulat
Fe	Inti dipipih

-1	Kabel dengan sistem pengenal warna urat dengan hijau-kuning
-0	Kabel dengan sistem pengenal warna tanpa urat hijau-kuning

Contoh :

1. Kabel NYA 4 re 1000 V

Menyatakan suatu kawat berisolasi untuk tegangan nominal 1000V, berisolasi PVC dan mempunyai penghantar tembaga padat bulat dengan luas penampang 4 mm<sup>2</sup>.

2. Kabel NYM – 0 4 x 2,5 rm 500 V

Menyatakan suatu kabel berinti banyak untuk tegangan nominal 500 V, berisolasi dan berselubung PVC dan mempunyai penghantar tembaga bulat berkawat banyak dengan luas penampang nominal 2,5 mm<sup>2</sup>, dengan system pengenal warna urat tanpa hijau-kuning.

**2.3. Konstruksi Kabel NYM(Supriyadi, 2015)**

**2.3.1. Konduktor**

Merupakan bagian dari kabel yang bertegangan dan berfungsi untuk menyalurkan energi listrik Umumnya tidak berupa satu hantaran pejal, tetapi kumpulan kawat yang dipilin agar lebih fleksibel. Bahan yang digunakan adalah tembaga atau aluminium. Bentuk penampangnya bisa bulat tanpa rongga, bulat berongga, maupun bentuk sectoral.

**2.3.2. Bahan Isolasi**

Isolasi suatu kabel merupakan bahan yang berfungsi untuk menahan tekanan listrik sehingga energi listrik tidak bocor kemana-mana. Terdapat berbagai jenis bahan isolasi yang umumnya dikelompokkan menjadi bahan isolasi cair, isolasi gas dan isolasi padat.

### **2.3.2.1. Lapisan Pembungkus Inti**

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

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

### **2.3.3. Selubung**

Lapisan ini berfungsi sebagai pelindung inti kabel dari pengaruh luar, pelindung terhadap korosi, pelindung terhadap gaya mekanis dan gaya listrik, maupun sebagai pelindung terhadap masuknya air atau uap air. Bahan yang digunakan adalah logam, seperti timbal atau aluminium, maupun bahan sintetis seperti karet silikon dan PVC.

## **2.4. Standar Untuk Kabel NYM(Supriyadi, 2015)**

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

Standar merupakan spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan, disusun berdasarkan consensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat-

syarat kesehatan dan keselamatan, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta pengalaman.

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

Standar Nasional Indonesia bertujuan :

- a. Memberikan perlindungan kepada konsumen, tenaga kerja, masyarakat baik dalam keselamatan maupun kesehatan.
- b. Mewujudkan jaminan mutu dengan memperhatikan sektor-sektor yang terkait.
- c. Meningkatkan daya guna, hasil guna dan produktivitas dalam mencapai mutu produk dan jasa yang memenuhi standar.
- d. Mewujudkan tercapainya persaingan yang sehat dalam perdagangan.
- e. Menunjang kelestarian lingkungan hidup.

Pemerintah mengarahkan agar standar nasional yang disusun berdasarkan kesepakatan antara pihak-pihak yang berkepentingan termasuk instansi, Pemerintah, organisasi pengusaha dan organisasi perusahaan, serta pihak terkait lainnya

Selain Standar Nasional Indonesia, standar lain yang digunakan di Indonesia adalah SPLN yaitu standar yang digunakan oleh PLN. Standar ini tidak berbeda jauh dengan SNI karena keduanya mengacu pada standar internasional.

Kedua standar ini memiliki fungsi yang sama yaitu untuk memberikan perlindungan kepada konsumen, tenaga kerja, dan masyarakat baik dalam keselamatan maupun kesehatan, mewujudkan jaminan mutu dengan

memperhatikan sektor-sektor yang terkait, meningkatkan daya guna, hasil guna dan produktivitas dalam mencapai mutu produk dan/atau jasa yang memenuhi standar, mewujudkan tercapainya persaingan yang sehat dalam perdagangan, dan menunjang kelestarian lingkungan hidup.

**Tabel 2.6** SPLN 42.-2: 1992 Tentang kabel NYM dengan 3 inti(SPLN 42-2, 1992)

Jumlah inti luas penampang penghantar dan kontruksi penghantar	Penghantar		Tabel			Diameter luar (d)		Resistansi isolasi setiap inti terhadap inti/gabungan inti yang lain pada suhu 20°	Resistansi isolasi pada suhu 70°	Kuat hantar arus			
	Jumlah kawat	Diameter kawat	Isolasi nominal	Lapisan pembungkus inti	Selubung nominal	minimum	Maksimum			minimum	maksimum	30°C	40°C
												Mm	Mm
	Buah	Mm	Mm	Mm	Mm	Mm	Mm			M.ohm/km	M.ohm/km	A	A
5x1.5re	1	1.38	0.7	0.4	1.2	10	12	50	0.011	19	16		
5x1.5rm	7	0.52	0.7	0.4	1.2	10	12.5	50	0.01	19	16		
5x2.5re	1	1.78	0.8	0.4	1.2	11.5	14	50	0.01	25	22		
5x2.5rm	7	0.67	0.8	0.4	1.2	12	14.5	50	0.009	25	22		
5x4re	1	2.26	0.8	0.6	1.4	13.5	16	50	0.0085	34	30		
5x4rm	7	0.85	0.8	0.6	1.4	14	17	50	0.0077	34	30		
5x6re	1	2.76	0.8	0.6	1.4	15	17.5	50	0.07	44	39		
5x6rm	7	1.04	0.8	0.6	1.4	15.5	18.5	50	0.0065	44	39		
5x10re	1	3.57	1	0.6	1.4	18	21	50	0.007	61	53		
5x10rm	7	1.35	1	0.6	1.4	18.5	22	50	0.0065	61	53		
5x16rm	7	1.71	1	0.8	1.6	22	26	50	0.0052	82	71		
5x25rm	7	2.13	1.2	1	1.6	27	31.5	50	0.005	108	94		
5x35rm	7	2.52	1.2	1.2	1.6	30	35	50	0.0044	134	117		

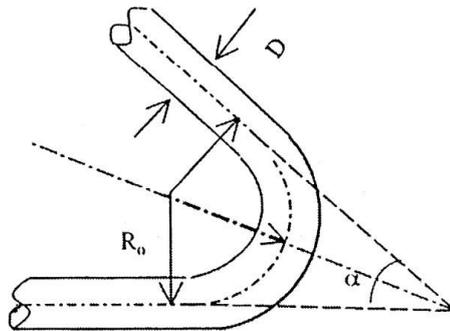
## **2.5. Penggunaan Kabel NYM(Supriyadi, 2015)**

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

Untuk pemasangannya digunakan klem dengan jarak antara yang cukup sehingga terpasang rapi dan lurus. Jika dipasang diruang lembab harus digunakan kotak sambung yang kedap air dan kedap lembab. Luas penampang hantaran yang harus digunakan ditentukan kemampuan hantaran arus yang diperlukan dan suhu keliling yang harus diperhitungkan. Selain itu rugi tegangannya harus diperhatikan. Rugi tegangan antara perlengkapan hubung bagi utama dan setiap titik beban pada keadaan stasioner dengan beban penuh tidak boleh melebihi 5% dari tegangan di perlengkapan hubung bagi utama. Untuk instalasi rumah tinggal sekurang-kurangnya harus memiliki luas penampang 1.5 mm<sup>2</sup> . Untuk saluran 2 kawat, kawat netral harus memiliki luas penampang sama dengan luas penampang kawat fasanya. Untuk saluran 3 fasa dengan hantaran netral, kemampuan hantaran arusnya harus sesuai dengan arus maksimum yang mungkin timbul dalam keadaan beban tak seimbang yang normal. Luas penampang sekurang-kurangnya harus sama dengan luas penampang kawat fasa. Dalam saluran 3 fasa semua hantaran fasanya harus mempunyai penampang yang sama.

### 2.5.1. Karakteristik Medan Magnet dan Temperatur pada Penghantar yang Ditekuk (Emidiana and Widodo, 2018)

Temperatur yang dihasilkan di sepanjang penghantar yang ditekuk ketika dialiri arus tidaklah merata. Hal ini disebabkan karena kepadatan arus yang tidak sama di sepanjang penghantar. Pada nilai arus yang sama, temperatur permukaan dari sebuah penghantar yang ditekuk dengan sudut tekuk yang lebih kecil lebih tinggi daripada penghantar yang ditekuk dengan sudut tekuk yang lebih besar. Perubahan temperatur berbanding lurus dengan nilai rasio arus  $I/I_{cr}$ , sudut tekukan, dan radius penekukan dimana  $I$  adalah besar arus yang dialirkan, dan  $I_{cr}$  adalah arus maksimal yang bisa diberikan kepada penghantar.



Gambar 2.5 Penghantar yang ditekuk(Emidiana and Widodo, 2018)

Pada Gambar,  $R_0$  adalah radius penekukan  $\alpha$  adalah sudut tekuk, dan  $D$  adalah diameter penghantar. Penyebab kenaikan suhu pada penghantar yang ditekuk adalah medan magnet yang ditimbulkan oleh arus, hambatan termal yang disebabkan oleh penekukan, efek kulit dan kerapatan arus yang tidak merata disepanjang penghantar. Suhu tertinggi dan medan magnet terbesar muncul di konduktor ditekuk

### 2.5.2. Distribusi Gaya Magnet pada Konduktor yang Ditekuk(Rahmawati, 2009)

Kepadatan flux magnet yang dihasilkan pada titik  $P(x,y)$ , dimana  $x,y(m)$  adalah koordinat Cartesius Pada titik  $P$ , maka Persamaan nya:

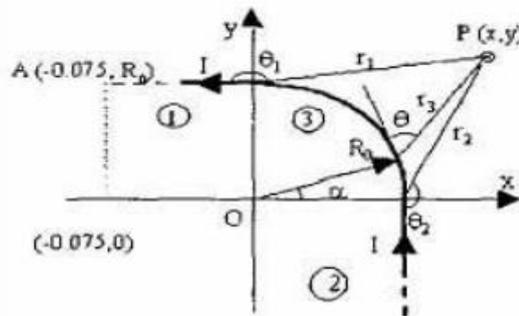
$$B = B_1 + B_2 + B_3 (T) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$B_{1,2} = \frac{\mu_1}{\Delta\pi r_{1,2} \sin \theta_{1,2}} 1 + \cos \theta_{12} (T) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$B_3 \int_0^\pi \frac{\mu/R_0 \sin \phi}{4\pi^2} 1 + \cos \phi_{1,2} (T) \dots\dots\dots (2.3)$$

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

Dimana  $B_1, B_2,$  dan  $B_3$  adalah kepadatan medan pada titik 1,2, dan 3.



Gambar Model 2.6 yang digunakan untuk perhitungan (Rahmawati, 2009)

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

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

### 2.5.3. Pengaruh Sudut Penekukan dan Radius Penekukan

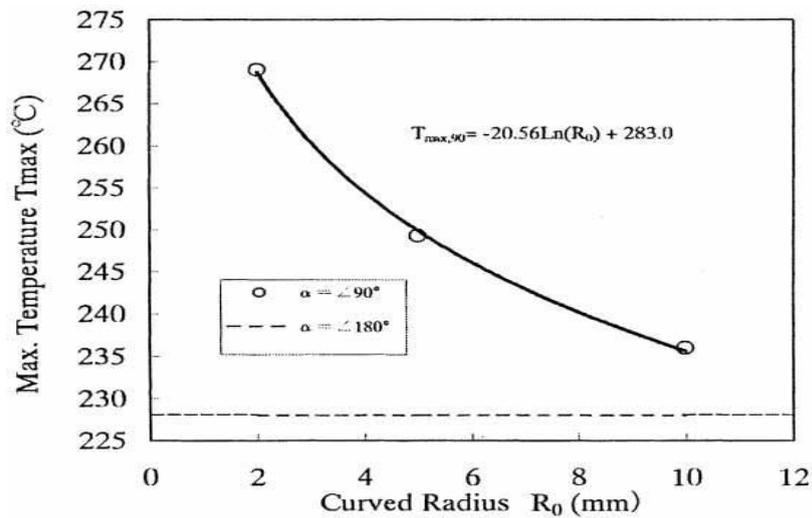
#### 2.5.3.1. Temperatur Konduktor (Rahmawati, 2009)

Pada percobaan yang telah dilakukan dengan kabel berdiameter 1mm didapatkan pengaruh radius tekukan  $R_0$  terhadap temperatur maksimum konduktor, Arus kritis dari konduktor yang lurus adalah  $I_{cr}=69$  A. Temperatur

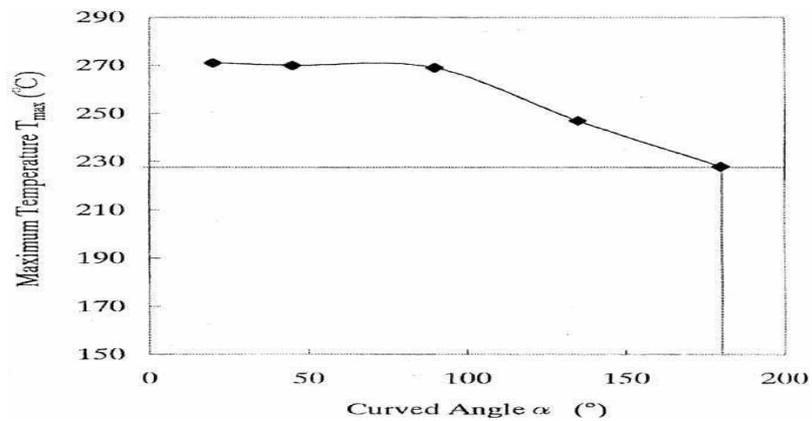
maksimum adalah temperatur yang tercapai ketika konduktor dialiri arus dalam waktu yang cukup lama. Ketika penghantar dialiri arus  $I=50$  A, sudut penekukan  $\alpha=90^\circ$  dan radius penekukan  $R_0=2$  mm,  $T_{max}$  yang diperoleh lebih tinggi jika dibandingkan dengan konduktor yang lurus. Bertambahnya nilai radius penekukan akan menyebabkan temperatur maksimum  $T_{max}$  berkurang.  $T_{max}$  dari konduktor yang ditekuk  $90^\circ$  dapat diturunkan dalam bentuk persamaan:

$$T_{max90} (\text{oC}) = -20.56 \ln R_0 \dots\dots\dots (2.5)$$

Persamaan 2.5 jika digambarkan dalam bentuk grafik adalah seperti pada gambar :



(a) Kurva Radius



(b) Sudut Kurva

Gambar 2.7 Grafik Pengaruh Sudut Penekukan Pada Temperatur Maksimum(Rahmawati, 2009)

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

**2.6. Rugi-Rugi Panas Pada Kabel**(American Journal of Sociology. (2019)

Pada kabel, faktor termal atau panas merupakan suatu hal yang harus diperhatikan. Kapasitas arus suatu kabel sangat dipengaruhi oleh karakteristik termal dari bahan-bahan penyusunnya khususnya bahan konduktor kabel tersebut. Rugi-rugi panas akibat arus yang besar akan dilepaskan pada bahan penyusun kabel tersebut. Pemanasan yang sangat tinggi, melebihi ketahanan bahan kabel tidak hanya mengakibatkan kegagalan isolasi saja, namun dapat mengakibatkan putusnya bahan konduktor pada kabel. Sumber-sumber panas pada kabel diakibatkan oleh timbulnya rugi yang dibangkitkan di dalam komponen kabel. Panas yang ditimbulkan akan merambat ke sekeliling kabel dan mempengaruhi besarnya kemampuan daya hantar arus kabel. Pemanasan yang berlebihan berdampak pada isolasi atau memperpendek usia kabel. Rugi-rugi yang timbul di dalam kabel.

**2.6.1. Rugi-Rugi Penghantar ( $P_c$ )** (Nugroho, 2011)

Rugi-rugi panas pada penghantar atau biasa disebut rugi-rugi joule (Joule Losses) timbul karena adanya arus yang mengalir pada penghantar. Besar dari rugi-rugi ini adalah :

$$P_c = I^2 R_{ac} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$P_c$ = Rugi-Rugi Panas Pada Penghantar (W/m)

I= Arus Efektif Yang Mengalir Pada Penghantar (A)

$R_{ac}$  = Tahanan Penghantar Ac Pada Temperatur Kerja Per Satuan Panjang  
( $\Omega/m$ )

**2.6.2. Rugi-Rugi Isolasi / Panas Dielektrik ( $P_d$ )** (Nugroho, 2011)

Rugi-rugi panas pada bahan dielektrik merupakan rugi-rugi panas yang disebabkan oleh adanya bahan dielektrik seperti isolasi polimer pada kabel. Jika  $T_c$  merupakan temperatur penghantar, dengan faktor daya diambil sama untuk dinding dielektrik dan tegangan sepanjang elemen adalah  $V_r$ , maka besarnya tegangan sepanjang elemen adalah  $V_r$ , maka besarnya tegangan sepanjang elemen tersebut dapat ditulis :

$$V_r = V \frac{\ln(\frac{r}{r_1})}{\ln(\frac{r_1}{rc})} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$V_r$  = Tegangan Sepanjang Element (V)

V = Tegangan Listrik (Volt)

r = Tahanan (Ohm)

**2.6.3. Rugi-Rugi Selubung ( $P_s$ )**

Rugi panas pada selubung (sheath losses) merupakan kerugian yang diakibatkan oleh adanya arus akibat induksi pada selubung logam. Besar rugi – rugi pada selubung dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P_s = I^2 R_s \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$P_s$  = Rugi Pada Selubung (W/m)

I = Arus Efektif Yang Mengalir Pada Penghantar (A)

$R_s$  = Hambatan Total Seri (Ohm)

#### 2.6.4. Rugi-Rugi Perisai/Logam Pelindung

Rugi-rugi perisai (*armouring losses*) timbul karena adanya arus sirkulasi pada bagian perisai yang diakibatkan oleh induksi dari aliran arus pada penghantar. Untuk kabel 20 kV inti tunggal biasanya bagian-bagian ini terbuat dari pita logam, sehingga rugi-rugi perisai dinyatakan dengan persamaan :

$$P_a = I^2 R_a \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

I = Arus efektif yang mengalir pada penghantar (A)

$P_a$  = Rugi-rugi perisai(W/m)

#### 2.7. Kegagalan Isolasi

Kegagalan isolasi pada kabel adalah suatu keadaan dimana isolasi tidak dapat mengantisipasi atau membendung suatu keadaan di luar batas kemampuan isolasi tersebut. Mekanisme kegagalan isolasi ini disebabkan oleh beberapa hal, seperti : jenis bahan elektroda, konfigurasi medan listrik, suhu, tekanan, besar tegangan, dan umur bahan dari bahan isolasi yang digunakan.

#### 2.8. Kegagalan Thermal

Kegagalan thermal adalah kegagalan-kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkitan panas di suatu titik dalam bahan melebihi laju kecepatan pembuangan panas keluar. Akibatnya terjadi kegagalan tidak stabil sehingga pada suatu saat bahan mengalami kegagalan. Mekanisme kegagalan thermal mengikuti hukum konversi energi, yaitu panas yang dibangkitkan sama dengan panas yang di salurkan keluar melalui elektroda medium sekelilingnya ditambah dengan panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan dari T1 ke T2, atau dalam bentuk persamaan :(Erhaneli and Musnadi, 2012)

$$U_0 = U_1 + U_2 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

$U_0$  = panas yang dibangkitkan (oC)

$U_i$  = panas yang disalurkan keluar (oC)

$U_2$  = panas yang digunakan untuk menaikkan suhu badan (oC)

Menurut **Whitehead**, tegangan gagal thermal minimum  $V_m$  adalah :

$$V_m = \int_{T_m}^{T_0} \left(\frac{8K}{\sigma}\right) dT \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

$T_0$  = suhu pada permukaan bahan (dalam hal ini sama dengan satu keliling)  
(oC)

$T_m$  = suhu kritis dalam bahan gagal (oC)

$\sigma$  = konduktivitas listrik (ohm/m)

## 2.9. Ketahanan Isolasi Kabel

Kegagalan thermal ini akan mengakibatkan umur dari bahan akan berkurang atau semakin besar penurunan umur isolasi dan tergantung dari tegangan yang diterapkan. Hubungan antara tegangan lucutan dengan umur bahwa dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$L = A \left(\frac{V}{y}\right) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

L = Penurunan umur isolasi (tahun)

A = Konstanta.

V = Tegangan Listrik (Ampere)