

KARYA ILMIAH

**ANALISA GANGGUAN AKIBAT LEPASAN PARSIAL  
DALAM SAMBUNGAN KABEL BAWAH TANAH  
TEGANGAN MENENGAH 20 KV TIPE BEBAT**



OLEH :

*YANCE SYARIEF*

NIP : 131 622 009

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2006**

KARYA ILMIAH

**ANALISA GANGGUAN AKIBAT LEPASAN PARSIAL  
DALAM SAMBUNGAN KABEL BAWAH TANAH  
TEGANGAN MENENGAH 20 KV TIPE BEBAT**



OLEH :

**YANCE SYARIEF**

**NIP : 131 622 009**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2006**

## ABSTRAK

Dalam pembangunan jaringan distribusi kabel tegangan menengah, pemakaian kotak sambung hal yang tidak bisa dihindarkan.

Seiring dengan mulai digunakannya kabel berisolasi XLPE oleh PLN sekitar tahun 1980; diperkenalkan pula penggunaan kotak sambung tipe bebat (*wrapping type*). Data pengusahaan di PLN Distribusi Jaya Tangerang, memperlihatkan bahwa jumlah gangguan SKTM menunjukkan angka yang relatif tinggi dibandingkan dengan data dari beberapa negara. Pada tahun 1990-1991 jumlah gangguan adalah 33,3 kali/100 km/thn, jauh diatas rekomendasi EDF yang hanya 11 kali/100 km/thn.

Salah satu penyebab gangguan yang dapat terjadi didalam sambungan kabel adalah timbulnya lepasan parsial. Tulisan ini menganalisa hal-hal yang dapat menimbulkan gangguan lepasan parsial pada sambungan kabel tipe bebat (*wrapping type*) dalam kaitan dengan teknik pemasangannya.

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran **ALLAH SWT**, yang telah melimpahkan Rahmad dan karuniaNya, serta solawat dan salam penulis ucapkan kepada junjungan kita Nabi besar **MUHAMMAD SAW**, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini dengan judul :

**“Analisa Gangguan Akibat Lepas Parsial Dalam Sambungan Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah 20 KV Tipe Bebat“.**

Atas selesainya karya ilmiah ini, yang disusun dengan usaha yang maksimal dengan harapan karya ilmiah ini berguna bagi penulis sendiri maupun kalangan pembaca.

Dalam pelaksanaan pembahasan ilmiah hingga terwujudnya tulisan ini, penulis banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu sehingga selesainya penulisan karya ilmiah ini.

Akhir kata penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi penulis dan siapa saja yang membutuhkannya. Amin.

Medan, 2006  
Penulis

**Yance Syarief**

NIP: 131 622 009

## DAFTAR ISI

|  |            |
|--|------------|
| <b>Lembaran Judul .....</b>  | <b>i</b>   |
| <b>Abstrak .....</b>   | <b>ii</b>  |
| <b>Kata Pengantar.....</b>   | <b>iii</b> |
| <b>Daftar Isi .....</b>  | <b>iv</b>  |
| <br>   |            |
| <b>BAB I. PENDAHULUAN</b>  |            |
| 1.1. Umum .....  | 1          |
| 1.2. Latar Belakang Masalah .....  | 2          |
| 1.3. Perumusan Masalah.....  | 3          |
| 1.4. Tujuan Penulisan .....  | 3          |
| 1.5. Batasan Masalah.....  | 3          |
| 1.6. Sistematika Penulisan .....   | 4          |
| <br>   |            |
| <b>BAB II. TEORI DASAR</b>   |            |
| 2.1. Sistem Distribusi Daya .....  | 5          |
| 2.2. Bentuk Sistem Distribusi Daya .....                                   | 6          |
| 2.2.1. Bentuk Sistem Radial .....  | 7          |
| 2.2.2. Bentuk Sistem Loop .....  | 8          |
| 2.2.3. Bentuk Sistem Grid .....  | 9          |
| 2.2.4. Bentuk Sistem Network/ Jala.....                                    | 10         |
| 2.3. Kabel Bawah Tanah.....  | 12         |
| 2.3.1. Konstruksi Kabel Bawah Tanah.....                                   | 12         |
| 2.3.1.1. Bagian Utama .....  | 13         |
| 2.3.1.2. Bagian Perlengkapan .....   | 17         |
| 2.3.2. Jenis-Jenis Kabel Bawah Tanah.....                                  | 19         |
| 2.3.2.1. Kabel Ikat ( <i>Baltd Cable</i> ) .....                           | 19         |
| 2.3.2.2. Kabel H ( <i>Hoch Stadter</i> ) .....                             | 20         |
| 2.3.2.3. Kabel Isolasi Sintesis ( <i>Isolasi Padat</i> ).....              | 21         |
| 2.3.2.4. Kabel Isolasi Minyak ( <i>Oil Filled Cable</i> ) .....            | 22         |
| 2.3.2.5. Kabel SL dan Kabel SA.....  | 25         |
| 2.3.2.6. Kabel HSL.....  | 26         |
| 2.3.3. Masalah-Masalah dalam Pemilihan Konstruksi dan Jenis<br>Kabel ..... | 27         |
| 2.3.3.1. Pemilihan Penghantar .....  | 27         |
| 2.3.3.2. Pemilihan Isolasi .....   | 28         |
| 2.3.3.3. Tipe Kabel Yang Terdapat di Pasaran.....                          | 29         |
| 2.3.3.4. Karakteristik Listrik Kabel.....                                  | 34         |
| 2.3.4. Tipe-Tipe Sambungan Kabel .....                                     | 39         |
| 2.3.4.1. Tipe Cetak Tuang ( <i>Cast And Resin Type</i> ).....              | 40         |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.4.2. Tipe Ciut Panas ( <i>Heat Shrinkable Type</i> ) .....                              | 40        |
| 2.3.4.3. Tipe Pre Moulded Slip On .....   | 40        |
| 2.3.4.4. Tipe Bebat atau Pita ( <i>Wrapping Type, Tape Type</i> ) .....                     | 40        |
| 2.4. Pelepasan Muatan Sebagian Internal ( <i>Internal Partial Discharge</i> ) .....         | 44        |
| 2.4.1. Proses Terjadinya Lepas Parsial .....  | 45        |
| 2.4.2. Pengukuran Lepas Parsial.....  | 46        |
| 2.4.3. Teknik Pengukuran Lepas Parsial.....   | 48        |
| 2.4.4. Pengujian Lepas Parsial .....  | 49        |
| <br>  |           |
| <b>BAB III. METODOLOGI PEMBAHASAN DAN PENYELESAIAN</b>                                      |           |
| 3.1. Bahan .....  | 51        |
| 3.2. Alat .....   | 52        |
| 3.3. Jalan Pembahasan .....   | 52        |
| <br>  |           |
| <b>BAB IV. GANGGUAN AKIBAT LEPASAN PARSIAL DIDALAM SAMBUNGAN KABEL TIPE BEBAT</b>           |           |
| 4.1. Bentuk Lepas Parsial Pada Rongga .....   | 53        |
| 4.2. Analisa Kebocoran Pada Sambungan Kabel.....  | 57        |
| 4.3. Hal-Hal Yang Dapat Mengakibatkan Terjadinya Lepas Parsial Didalam Sambungan Kabel..... | 59        |
| <br>  |           |
| <b>BAB VI KESIMPULAN.....</b>   | <b>61</b> |
| <br>  |           |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>  | <b>62</b> |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Umum**

Dengan meningkatnya perkembangan ilmu pengetahuan teknologi dewasa ini, sehingga mempengaruhi pula akan kebutuhan tenaga listrik yang tersedia, hal ini merupakan salah satu sarana yang penting untuk pertumbuhan ekonomi peningkatan kesejahteraan rakyat. Tenaga listrik ikut juga menentukan lajunya pembangunan, baik pada sektor industri, pertanian, pendidikan dan lain sebagainya, sehingga penyediaan tenaga listrik sangatlah diperlukan.

Pada daerah-daerah tertentu, memerlukan pelayanan tenaga listrik yang terdistribusi dengan keandalan yang tinggi sehingga perlu dipertimbangkan penyaluran tenaga listrik kepada konsumen melalui bawah tanah.

Dalam penyaluran distribusi tenaga listrik, saat ini untuk daerah perkotaan banyak digunakan dengan saluran bawah tanah, karena untuk keindahan kota yang lebih baik dibandingkan dengan saluran distribusi tenaga listrik melalui hantaran udara. Sehingga perencanaan tata letak suatu kota akan terorganisir dengan baik dan gedung-gedung bertingkat tidak akan terganggu dengan adanya jaringan distribusi tenaga listrik yang melintang diudara.

Disamping itu, jaringan distribusi tenaga listrik bawah tanah ini, bila ada gangguan dari alam seperti petir dan angin, lebih baik pengamanannya dibandingkan dengan jaringan distribusi hantaran udara yang sering kali mengalami gangguan akibat adanya angin, hujan dan petir.

## **I.2. Latar Belakang Masalah**

Kebutuhan daya listrik yang semakin meningkat dan dapat diandalkan baik secara ekonomis maupun teknis menyebabkan para ahli mencari jalan untuk memperbaiki serta meningkatkan kualitas dari suatu sistem kelistrikan.

Seperti kita ketahui bersama bahwa pemerintah Indonesia pada saat ini sedang berusaha keras untuk memakmurkan kehidupan rakyat dengan upaya pembangunan disegala bidang dimana manfaatnya dapat dinikmati secara langsung oleh seluruh lapisan masyarakat, salah satu diantaranya adalah pembangunan dalam bidang kelistrikan.

Pada sistem tenaga listrik terdapat tiga bagian utama, yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan sistem distribusi. Saluran transmisi merupakan saluran penghubung antara pusat pembangkit listrik ke sistem distribusi. Saluran transmisi/ distribusi terdiri dari dua kategori, yaitu saluran udara (*over head line*) dan saluran bawah tanah (*under ground*).

Dalam pendistribusian tenaga listrik, khususnya di kota besar, penggunaan kabel saluran bawah tanah sangatlah tepat digunakan, mengingat untuk memperkecil resiko terhadap gangguan alam seperti hujan, petir, angin dan lain-lain. Disamping itu juga memperindah perencanaan tata-kota yang terkoordinasi dengan baik. Namun demikian sesuatu yang tidak dapat dihindari adalah kemungkinan terjadinya gangguan yang terdapat didalam sambungan kabel adalah **timbulnya lepasan parsial.**



### **I.3. Perumusan Masalah**

Penggunaan kabel bawah tanah dan sistem penanaman kabel bawah tanah merupakan hal yang perlu diketahui untuk memperluas pengetahuan masyarakat banyak tentang distribusi tenaga listrik dengan menggunakan kabel bawah tanah. Namun disamping itu pula yang harus diketahui adalah teknik penyambungan kabelnya, karena apabila penyambungan kurang sempurna dapat mengakibatkan terjadinya gangguan lepasan parsial di dalam kotak sambungan kabel. Untuk mengatasi agar supaya tidak terjadinya gangguan tersebut, maka diperlukannya suatu pengawasan dan ketelitian serta pengetahuan yang memadai tentang penyambungan kabel bawah tanah 20 kV tipe bebat.

### **I.4. Tujuan Penulisan**

Dalam pembangunan jaringan distribusi kabel bawah tanah tegangan menengah, pemakaian kotak sambung hal yang tidak bisa dihindarkan, ini dikarenakan pemasangan kabel bawah tanah yang mempunyai jarak yang relatif panjang.

Adapun tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisa hal-hal yang dapat menimbulkan gangguan lepasan parsial pada sambungan kabel tipe bebat (*wrapping type*) dalam kaitan dengan teknik pemasangannya.

### **I.5. Batasan Masalah**

Dalam penyambungan kabel tegangan menengah tipe bebat diperlukannya suatu analisa yang mendalam karena akan menyangkut beberapa aspek yang berkaitan. Sehingga dalam penulisan ini, hanya membahas masalah menganalisa

gangguan akibat lepasan parsial didalam sambungan kabel tipe bebat dalam kaitan dengan teknik pemasangannya.

### **I.6. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penyusunan yang akan penulis bahas dalam penulisan karya ilmiah ini adalah sebagai berikut:

- BAB I : Membahas tentang pendahuluan, latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalahserta sistematika penulisan.
- BAB II : Pada bab ini berisikan teori dasar membahas mengenai sistem distribusi daya, kabel bawah tanah dan lepasan parsial.
- BAB III : Berisikan metodologi penelitian
- BAB IV : Pada bab ini akan menganalisa gangguan-gangguan yang mengakibatkan terjadinya lepasan parsial pada kabel tegangan menengah.
- BAB V : Dalam bab ini penulis akan mencoba menarik kesimpulan dari pembahasan.

## **BAB II**

### **TEORI DASAR**

#### **2.1. Sistem Distribusi**

Sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya dengan konsumen tenaga listrik.

Sumber daya besar dapat terletak pada daerah beban atau dapat juga terletak jauh dari pusat beban.

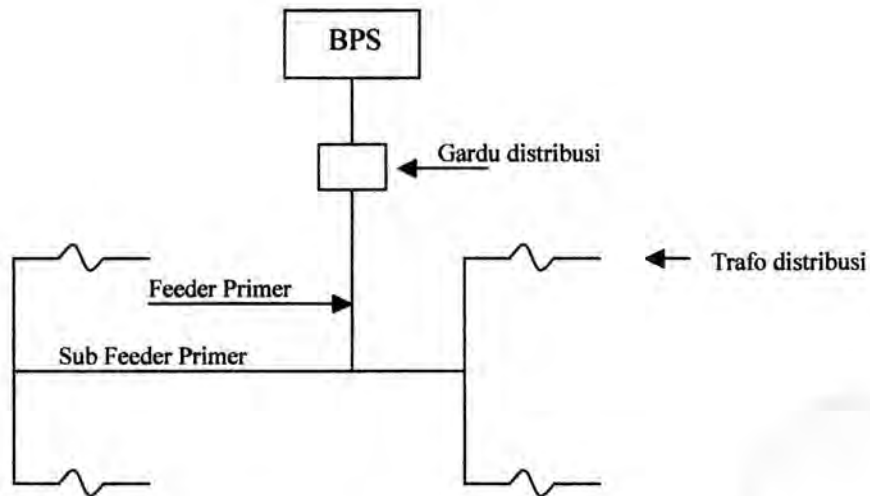
Sistem distribusi terdiri dari beberapa bagian antara lain:

1. Sumber daya besar
2. Rangkaian subtransmisi
3. Gardu induk distribusi
4. Rangkaian primer
5. Transformator distribusi
6. Rangkaian sekunder melalui trafo distribusi.

Rangkaian primer terdiri dari:

1. Primer feeder
2. Sub primer feeder
3. Percabangan yaitu yang mendistribusikan energi ke trafo distribusi.

Keterangan di atas dapat dilihat pada gambar rangkaian primer, seperti gambar 2.1. di bawah ini:



Gambar 2.1. Rangkaian primer

Syarat-syarat suatu distribusi adalah sebagai berikut:

1. Tegangan jatuh sekecil mungkin
2. Gangguan pelayanan tidak sering terjadi
3. waktu gangguan tidak terlalu lama, dan daerah gangguan dibatasi
4. Biaya harus ekonomis
5. Mudah menyesuaikan terhadap perubahan beban.

## 2.2. Bentuk Sistem Distribusi

Pemilihan dan penentu jenis sistem distribusi yang digunakan tergantung pada daerah beban, baik itu menurut kerapatannya maupun lokasinya.

Dalam sistem distribusi ada tiga bentuk rangkaian dasar yang digunakan dalam sistem primer yaitu:

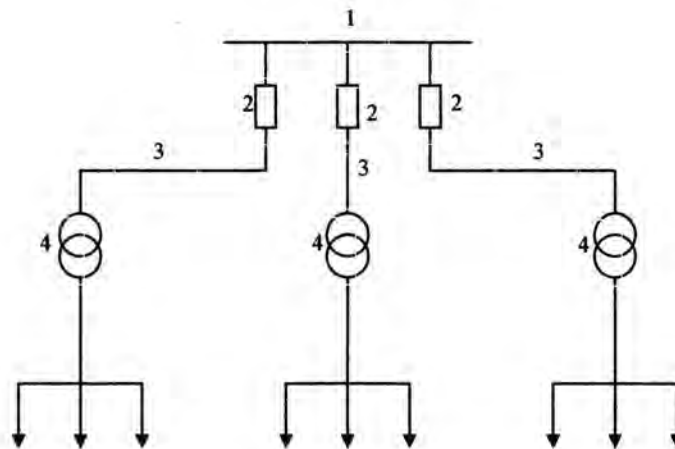
1. Sistem radial
2. Sistem loop

3. Sistem Grid.
4. Sistem Network

### 2.2.1. Bentuk Sistem Radial/Spindel

Bentuk sistem radial adalah bentuk yang sangat sederhana dan banyak dipakai, karena biaya pembangunannya murah dan sistem pengontrolannya sederhana.

Kekurangan dari sistem radial adalah kontinuitas pelayanan konsumen kurang baik, maka untuk peluasan daerah sistem ini kurang baik, pada gambar 2.2. dapat dilihat bentuk sistem diatribusi radial.



Gambar 2.2. Sistem distribusi radial

Keterangan gambar:

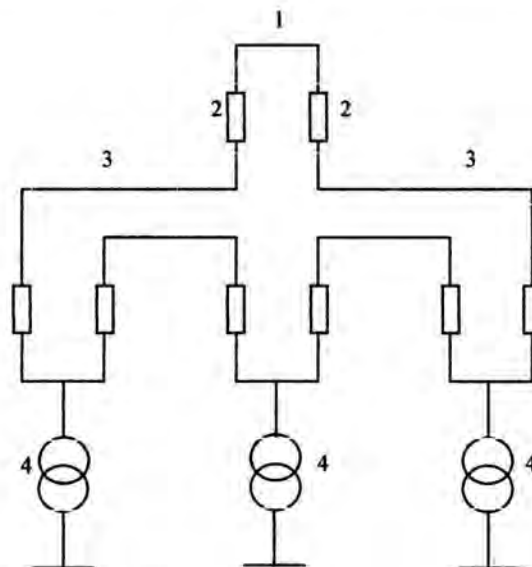
1. Gardu induk
2. Circuit breaker (CB)
3. Feeder primer
4. Trafo distribusi

### 2.2.2. Bentuk Sistem Loop

Suatu jaringan disebut loop bila jaringan dimulai dari sumber setelah berkeliling melalui suatu daerah kemudian kesumber semula.

Pada umumnya sistem loop digunakan untuk melayani beban-beban yang besar dan sedang, misalnya daerah vital, seperti rumah sakit, daerah industri dan lain-lain.

Bentuk rangkaian sistem distribusi loop dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Sistem distribusi loop

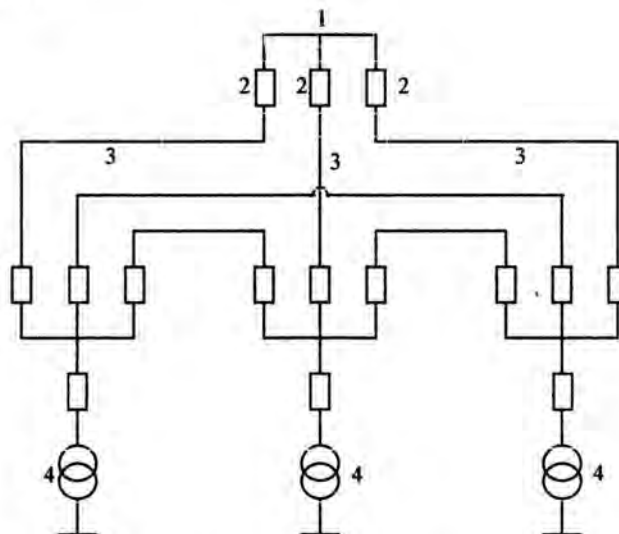
Keterangan gambar:

1. Gardu induk
2. Circuit breaker
3. Feeder primer
4. trafo distribusi

Pada gambar terlihat bahwa jaringan primer dibagi dalam seksi-seksi dan dilengkapi dengan pemutus pada titik percabangan. Bila terjadi gangguan pada salah satu seksi tersebut, maka setiap seksi-seksi dari saluran dapat diisolir oleh pemutus yang dipasangkan pada kedua ujung seksi tersebut. Dengan demikian pelayanan pada trafo distribusiterus berlangsung.

### 2.2.3. Bentuk Sistem Grid

Jaringan grid adalah merupakan kombinasi antara bentuk radial dengan bentuk loop. Sistem ini banyak digunakan pada daerah yang mempunyai beban yang tinggi, jadi sangat sesuai untuk memberi daya pada daerah atau kota yang besar, dimana intensitas bebannya tinggi dan membutuhkan kontinuitas yang tinggi pula. Sistem pengontrolan atau sistem pemeliharaan sistem grid ini membutuhkan tenaga yang ahli dan sistem ini sangat mahal jika dibandingkan dengan sistem radial atau loop. Pada gambar 2.4. di bawah ini dpat dilihat gambar distribusi sistem grid.



Gambar 2.4. Gambar sistem distribusi grid

Keterangan gambar:

1. Gardu induk
2. Circuit breaker
3. Feeder primer
4. Trafo distribusi.

Pada gambar 2.4. dapat dilihat jaringan sistem grid dimana sumber dalam sistem ini dapat terdiri dari satu atau lebih sumber. Sistem grid ini pada umumnya banyak digunakan dikota-kota besar, atau pada daerah-daerah yang bebannya sangat tinggi.

Bila ditinjau dari tingkat keandalannya, maka sistem grid ini mempunyai tingkat keandalan yang lebih tinggi dari sistem-sistem yang lain dan kalau dilihat dari kontinuitas pelayanannya, maka sistem grid ini juga lebih baik. Tetapi bila dilihat dari sistem pengamanannya, maka sistem ini mempunyai pengaman yang lebih rumit dari sistem-sistem yang lain.

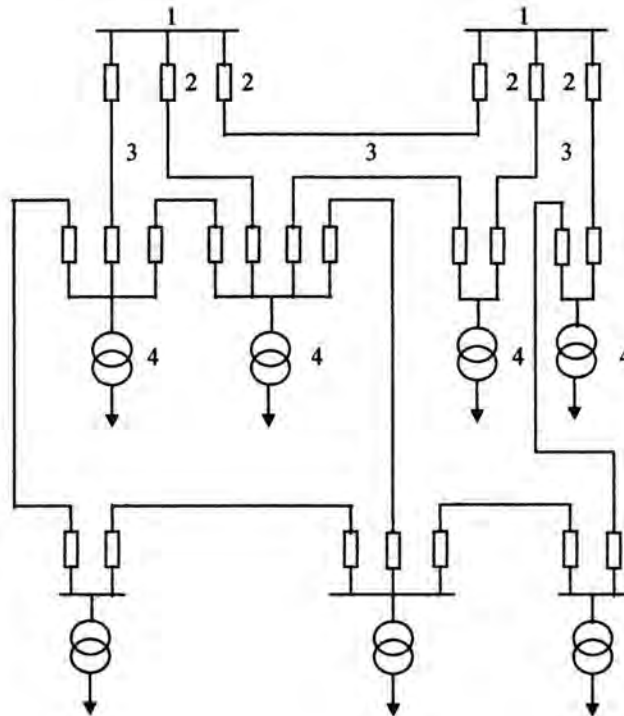
#### **2.2.4. Bentuk Sistem Network/Jala**

Pada sistem gardu-gardu induknya dihubungkan langsung dengan pusat tenaga listrik. Sistem ini juga handal karena pada pusat tenaga listrik yang ada pada suatu tempat dihubungkan dengan pusat tenaga listrik ditempat lain, begitu juga dengan gardu induknya.

Jadi apabila ada gangguan pada suatu tempat maka penyuplaian daya masih dapat berjalan melalui saluran yang ada pada sisi lainnya. Karena kehandalan yang tinggi maka sistem jala ini banyak digunakan.



Kerugiannya adalah biaya pembangunan dan perawatan sistem ini cukup besar. Pada sistem pada masing-masing gardu induk dan beban saling berhubungan. Pada gambar 2.5. dibawah ini dapat dilihat gambar distribusi sistem network.



Gambar 2.5. Gambar sistem distribusi network

Keterangan gambar:

1. Gardu induk
2. Circuit breaker
3. Feeder primer
4. Trafo distribusi

### 2.3. Kabel Bawah Tanah

Penyaluran tenaga listrik untuk transmisi dan distribusi dapat dilakukan dengan menggunakan kabel tenaga. Dalam berbagai penggunaannya kabel direncanakan dengan konstruksi bermacam-macam pula sesuai dengan kebutuhannya.

Oleh karena itu kabel dapat dibagi menurut kelompok-kelompok berikut:

1. Kelompok menurut kulit pelindungnya (*armour*) misalnya kabel berselubung timah hitam, berselubung pipa baja, berselubung tembaga, kabel berselubung goni (*junta*), dan sebagainya.
2. Kelompok menurut konstruksinya, misalnya kabel plastik dan karet, kabel padat (*solid*), kabel jenis datar (*flat*), kabel berisi minyak, kabel pipa dan sebagainya.
3. Kelompok menurut penggunaannya, misalnya kabel tanah (*under ground cable*), kabel udara (*aerial cable*), kabel laut (*submarine cable*).
4. Kelompok menurut intinya, terdiri dari dua bentuk, yakni kabel berinti tunggal (*singlecore cables*), dan kabel berinti banyak (*multi cores cables*).

#### 2.3.1. Kontruksi Kabel Bawah Tawah

Sebagai hantaran berisolasi, kontruksi kabel dibagi menjadi dua bagian:

1. Bagian utama
2. Bagian pelengkap

### 2.3.1.1. Bagian Utama

Bagian utama yakni bagian yang harus dimiliki kabel tenaga antara lain:

#### 1. Hantaran

##### a. Tembaga (Cu)

Tembaga yang dipakai pada umumnya adalah hard drawn copper. Keuntungannya ialah hard drawn copper memiliki daya hantar yang lebih baik jika dibandingkan dengan penghantar listriknya.

Demikian pula tembaga ini memiliki tahanan spesifik yang kecil yakni:

$$0,01786 \Omega \frac{m}{mm^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

##### b. Aluminium (Al)

Sama dengan tembaga (Cu), Aluminium (Al) adalah suatu penghantar yang dipakai adalah disebabkan sifat hantarnya yang baik. Bila dibandingkan dengan Cu, maka Aluminium memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan:

- Aluminium murah dibanding Cu
- Aluminium lebih ringan, Cu lebih berat untuk ukuran diameter dan panjang yang sama.
- Hard drawn Aluminium yang digunakan sebagai penghantar, pada temperatur standard memiliki 60,6 % sifat hantarannya bila dibandingkan dengan annealed copper.
- Untuk besar tahanan yang sama, Aluminium memiliki diameter 1,27 kali diameter Cu.

- Pada tegangan yang tinggi, aluminium memiliki rugi-rugi karena lebih kecil.

c. Baja (*steel*)

Baja ini memiliki kekuatan tarik yang besar, namun untuk menyalurkan daya listrik baja ini kurang menguntungkan, sebab daya memiliki tahanan yang besar. Baja telanjang tidak baik dipakai sebagai penghantar sebab baja tersebut akan cepat berkarat. Pada umumnya baja yang baik dipakai sebagai penghantar adalah baja yang dipakai sebagai penghantar adalah baja yang telah digalvanisir.

d. Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR)

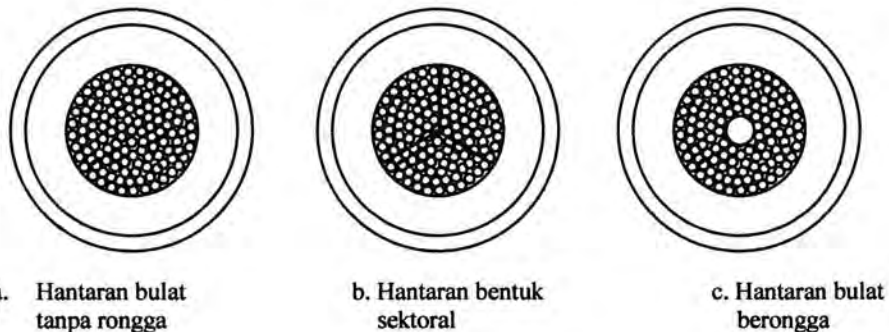
Penghantar ini ada pada Aluminium, yang mempunyai inti pusat terbuat dari kawat baja galvanisir. Hal ini dilakukan adalah untuk menambah kekuatan tarik penghantar tersebut. Baja yang digalvanisir ini diteliti oleh satuan atau lebih lilitan kawat Aluminium.

Umumnya bentuk hantaran yang digunakan dalam kabel terdiri dari beberapa bentuk:

- a. Hantaran bulat tanpa rongga
- b. Hantaran ini merupakan kawat dipilih yang membentuk lingkaran (bulat) dimana pada pusat lingkaran tidak terdapat rongga.
- c. Hantaran bulat rongga

Hantaran ini terdiri dari beberapa kawat bulat atau berbentuk trapesium lengkung yang dipilin diatas spiral pita baja. Spiral pita baja ini akan

membentuk rongga (saluran) sepanjang hantaran yang berfungsi untuk mengalirkan minyak.



Gambar 2.6. Bentuk-bentuk hantaran yang digunakan dalam kabel tenaga.

Tabel 2.1. Perbandingan sifa-sifat yang dimiliki beberapa penghantar

| Mechanical Properties  | Copper                 | Aluminium              | Steel                  | ACSR 5:1                | ACSR 4:1               |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Spesifik Weight Kg/cm <sup>3</sup>   | 8,9 x 10 <sup>-3</sup> | 2,7 x 10 <sup>-3</sup> | 7,8 x 10 <sup>-3</sup> | 3,45 x 10 <sup>-3</sup> | 3,7 x 10 <sup>-3</sup> |
| Young Modulus kg/mm <sup>3</sup>   | 13.000                 | 5.600                  | 20.700                 | 7.500                   | 8.300                  |
| Ultimate tensile Strength kg/mm <sup>3</sup>                               | 40                     | 18                     | 40 to 320              | 120                     | 120                    |
| Specific resistance $\rho$ at 20 <sup>o</sup> C in $\Omega \frac{m}{mm^3}$ | 0,01786                | 0,0287                 | 0,178                  | -                       | -                      |
| Conductivity At 20 <sup>o</sup> C = $\frac{1}{\rho}$                       | 56                     | 34,8                   | 5,6                    | -                       | -                      |
| Resistance Temperature coefficient Per <sup>o</sup> C                      | 0,0038                 | 0,004                  | 0,00496                | -                       | -                      |

## 2. Isolasi (*insulation*)

Isolasi ini sangat penting pada sistem tenaga listrik kerusakan pada isolasi akan menyebabkan terganggunya aliran daya. Ada beberapa jenis bahan isolasi kabel yang sering dipakai dalam keperluan distribusi dan transmisi daya listrik, pada kabel udara, kabel tanah dan kabel laut, yakni:

a. Isolasi karet

b. Isolasi kertas

c. Isolasi sintetis yang terbagi atas 3 bagian:

1. *Elastomer*, misalnya: *Neoprene*, *butyl rubber*
2. *Thermoplastik*, misalnya: *polyvinyl chloride* dan *poly thelene*.
3. *Thermosetting*, misalnya: *crossliked*, *eathylene propylene rubber*.

## 3. Tabir (*Screen*)

Untuk tegangan kerja yang tinggi, setiap inti kabel dilengkapi dengan suatu lapisan yang disebut tabir (*screen*). Tabir ini berfungsi untuk meratakan distribusi tegangan (*potensial*), sehingga tabir harus dibuat dari bahan semikonduktor, misal:

- kerta berlapis logam
- kompon grafik

Tabis ini dipasang antara selubung (*sheath*) dengan isolasi, tapi untuk kabel sistensis dipasang juga antara isolasi dan hantaran (*extruded semiconductor lager*).

#### 4. Selubung (*sheath*)

Selubung berfungsi untuk melindungi inti kabel dari pengaruh luar, yakni sebagai berikut:

- a. Pelindung terhadap korosi
- b. Penahan gaya mekanis
- c. Pelindung/pengaman gaya listrik
- d. Mencegah keluarnya minyak pada kabel kertas yang diresapi minyak dan mencegah masuknya uap air/ cairan kedalam kabel.

Bahan selubung ini biasanya ada 3 golongan:

- a. Selubung logam, misalnya: Aluminium
- b. Selubung karet (*sintetis*), misalnya: karet silikon.
- c. selubung plastik, misalnya: PVC

#### 2.3.1.2. Bagian Pelengkap

Bagian pelengkap, yaitu bagian yang melengkapi kabel jika dipergunakan untuk memperkuat/memperbaiki sifat-sifat kabel atau untuk melindungi kabel.

##### 1. Bantalan (*bedding*)

Bantalan adalah lapisan yang terbuat dari serat-serat, baik yang diresapi minyak atau tidak, dan diletakkan dibawah perisai. Guna bantalan adalah untuk kedudukan perisai (*armour*) dan menceah proses elektrolisa, sehingga tidak merusak bagian dalamnya.

Bahan bantalan yang umum dipakai: pita kapas (*cotton tape*), pita kertas (*paper tape*) dan jute.

## 2. Perisai (*armour*)

Karena bahan isolasi mempunyai sifat mekanis yang kurang sempurna, sehingga diperlukan suatu lapisan yang berfungsi melindungi bahan isolasi dari kerusakan mekanis, lapisan inilah yang dinamakan *armour* (*perisai*).

Secara umum perisai dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

### a. Perisai pita baja (*steel cride armour*)

Didalam pemasangan pita baja, biasanya terdiri dari lapisan, dimana setiap lapisan terdiri dari beberapa pita, kemudian dipasang sedemikian rupa, sehingga lapisan kedua akan menutupi celah-celah yang ditinggalkan oleh lapisan pertama.

### b. Perisai kawat baja (*steel cride armour*)

Perisai kawat baja digunakan untuk kabel yang mempunyai tegangan mekanis yang tinggi dan fleksibel. Didalam pemasangannya perisai kawat baja hanya dipasang satu lapis.

Untuk menjaga agar perisai kawat baja pada tempat kedudukannya, maka dipasang juga pita baja yang mengikatnya melingkari kawat baja itu. Kabel dengan perisai kawat baja digunakan pada kabel laut (*sub marine*), penyeberangan sungai, pemasangan tegak (*vertikal*).

## 3. Bahan pengisi (*filter*)

Untuk kontruksi kabel berinti tiga, bila setelah pemasangan ketiga intinya, maka masih ada ruang (*celah*) yang tertinggal, sehingga diperlukan suatu bahan yang dapat mengisi ruangan tersebut, hingga didapat bentuk kabel yang bulat. Bahan yang mengisi celah ini dinamakan bahan pengisi (*filter*).



Bahan pengisi yang banyak dipakai pada kabel isolasi kertas ialah jute.

Sedangkan pada isolasi sintetis lainnya selain jute, dipakai juga karet butyl.

#### 4. Sarung kabel (*serving*)

Sarung kabel adalah suatu lapisan bahan serat yang diresapi dengan kompon kedap air.

Pemasangan sarung kabel biasanya dipasang diatas armour, fungsi sarung kabel adalah sebagai bantalan bagi armour juga sebagai komponen yang berhubungan langsung dengan tanah. Sehingga sarung kabel merupakan bagian yang pertama sekali berhubungan atau terkena pengaruh luar. Bahan sarung kabel yang paling banyak digunakan adalah jute.

### 2.3.2. Jenis-Jenis Kabel Bawah Tanah

Dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik ada beberapa jenis kabel yang digunakan.

1. Kabel Ikat (*Belted Cable*)
2. Kabel H (*Hoch Stadter*)
3. Kabel Isolasi Sintetis (*Isolasi Padat*)
4. Kabel Isolasi Minyak (*Oil Filled Cable*)
5. Kabel SL dan Kabel SA.

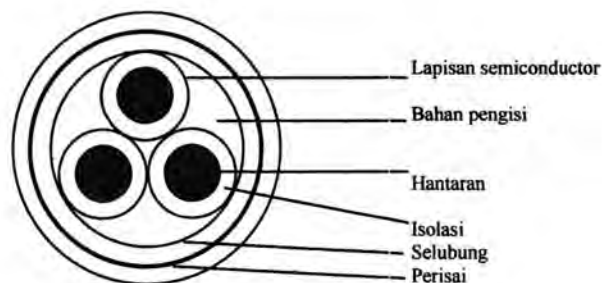
#### 2.3.2.1. Kabel Ikat (*Belted Cable*)

Pada kabel ikat ada tiga buah konduktor yang masing-masing diisolir, dan ketiga konduktor tersebut dibalut dengan sebuah selubung timah hitam. Kemudian isolasi kertas membungkus ketiga inti tersebut, isolasi kertas inilah yang disebut

isolasi pengikat (*belt Insulation*). Kemudian selubung timah hitam menutupi sekeliling isolasi pengikat tersebut. Type kabel ini sesuai digunakan untuk tegangan sampai 22 KV.

### 2.3.2.2. Kabel H (*Hoch Stadter*)

Untuk mengatasi hal-hal seperti kabel ikat (*belted cable*), Hochstadter membuat suatu konstruksi kabel yang disebut kabel (*hochstadter*). Pada jenis kabel H ini, kertas isolasi ikat (*paper insulation belt*) tidak ada. Pada setiap isolasi inti dipasang suatu lapisan yang disebut tabir (*screen*), yang dibuat dari bahan kertas logam (*metalized paper*) yang berlubang-lubang atau semiconducting, seperti pada gambar 2.7. di bawah ini:



Gambar 2.7. Jenis kebel H (*Hochstadter*)

Sebab itu kabel ini juga dikenal dengan nama kabel bertabir (*screened cable*). Dengan adanya kertas logam yang berselubung ini, akan membantu peresapan minyak dengan sempurna atau mengadakan penyebaran minyak menjadi merata. Disamping itu juga menghindarkan pembentukan gelombang udara.

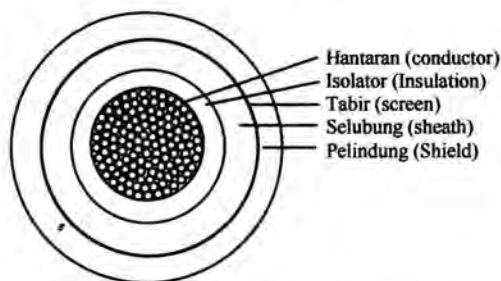
Kabel H mempunyai keuntungan adalah adanya peningkatan penyebaran panas yang terjadi pada hantaran. Sebagai akibatnya akan menaikkan kemampuan membawa arus.

Biasanya jenis H ini digunakan untuk tegangan kerja dari 10 kv sampai dengan 66 kv.

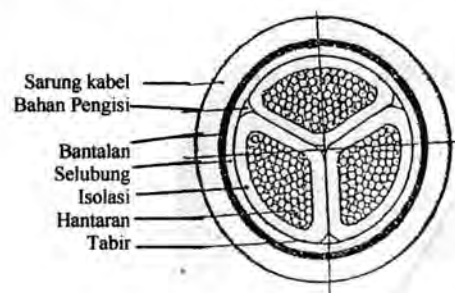
### 2.3.2.3. Kabel Isolasi Sintetis (*Isolasi padat*)

Kabel isolasi padat adalah isolasi yang terbuat dari bahan sintetis, umpamanya *Cross linked Polyethylene (XLPE)*, *Ethylene Propylene Rubber (EPR)*.

Didalam kabel isolasi padat, setiap hantaran diberi lapisan semiconducting, kemudian diberi isolasi, kemudian dipasang tabir semiconducting, setelah itu dipasang selubung/pelindung (*sheat*) atau kadang-kadang shield yang biasanya terbuat daripada tembaga atau kawat tembaga (*wire copper*) pada kabel ini, tunggal shield berfungsi sebagai kawat netral.



Gambar 2.8.a. Kabel sintetis inti pelindung



Gambar 2.8.b. Kabel sintetis segitiga

Sedangkan kabel berinti tiga, dimana tiga buah intinya yang diberi pelindung (pita tembaga) dipasang bersama, lalu diberi bahan pengisi yang biasanya terdiri dari

bahan sintetis seperti butyl rubber yang dapat mengisi celah diantara inti sering juga dipasang perisai (*armour*) jika diperlukan.

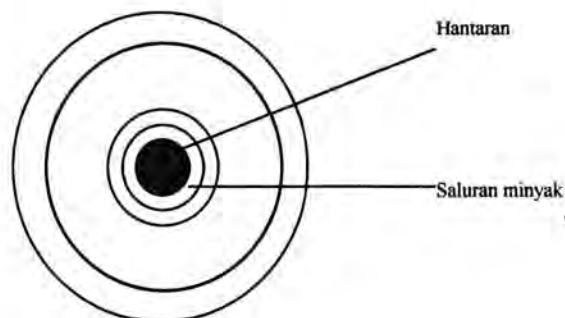
Selubung logam tidak begitu diperlukan, seperti pada kabel yang memakai isolasi kertas, hal ini disebabkan isolasi bahan sintetis tidak menyerap uap air. Kabel jenis sintetis terus dikembangkan, terutama jenis kabel XLPE, dimana kabel XLPE ini telah banyak dipasang di beberapa negara dengan tegangan kerja sampai dengan 220 kv.

#### 2.3.2.4. Kabel Isolasi Minyak (*Oil Filled Cable*)

Kabel isolasi minyak adalah suatu kabel yang isolasinya menggunakan minyak.

Kabel isolasi minyak ini mempunyai beberapa macam bentuk diantaranya adalah sebagai berikut:

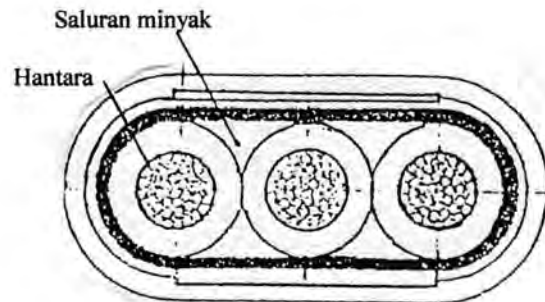
- a. kabel ini berbentuk bulat (lihat gambar dibawah ini) dimana saluran minyak terdapat pada putaran hantaran (lihat gambar 2.9.a. dibawah ini)



Gambar 2.9.a. Kabel minyak bentuk minyak

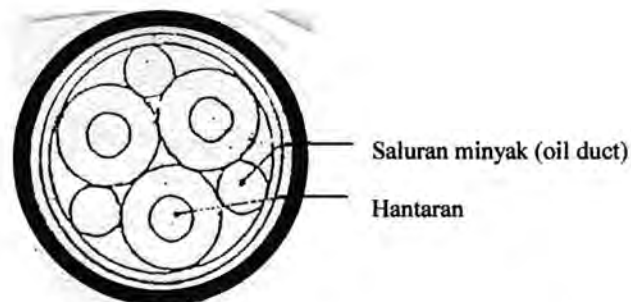
b. Kabel minyak datar

dimana tiga inti kabel dengan selubung timbal diletakkan dengan membuat susunan mendatar, dan ruang diantara intinya dipergunakan sebagai saluran minyak, (lihat gambar 2.9.b. dibawah ini)



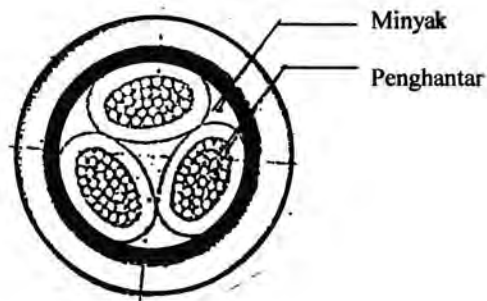
Gambar 2.9.b. Kabel minyak datar

c. Kabel minyak dengan saluran minyak diletakkan pada ruang antara anting-anting (lihat gambar 2.9.c.)



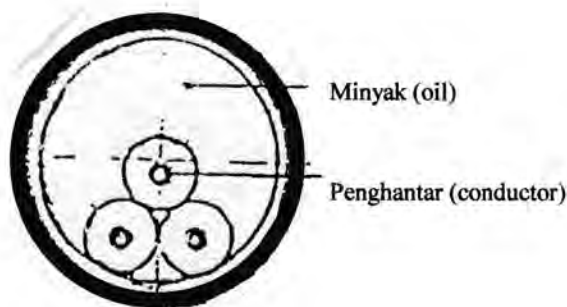
Gambar 2.9.c.

Tapi untuk menghemat ruang minyak dialirkan tanpa melalui ruangan, tetapi melalui celah antara inti kabel baja seperti gambar 2.9.d.



Gambar 2.9.d

- d. Kabel minyak dengan tekanan didalam pipa, tetapi dalam hal ini tiga buah inti kabel yang telah diberi lapisan tabir (*screen*), diletakkan dalam pipa baja yang diisi minyak (lihat gambar 2.9.e)



Gambar 2.9.e.

Kabel isoalsi minyak pada umumnya untuk tegangan yang lebih tinggi, dibandingkan dengan kabel isolasi kertas.

Cara kerja minyak sebagai isolasi adalah sebagai berikut:

Jika pada hantaran temperaturnya naik, maka minyak akan mengembang, kemudian ia akan mengalir ke dalam tabung minyak dan bila temperatur turun

kearah minyak akan kembali kedalam kabel, dengan demikian tak pernah terjadi gelembung udara sehingga dapat mencegah proses ionisasi/ kerusakan kabel.

Keuntungan kabel minyak bila dibandingkan dengan kabel kertas adalah sebagai berikut:

- a. Kemungkinan gangguan berkurang, karena begitu selubung satu seksi memburuk, minyak langsung mengalir.
- b. Peresapan minyak lebih sempurna dapat dicapai.
- c. Karena isolasi lebih tipis, maka tahanan panas kabel menjadi lebih kecil, sehingga kemampuan membawa arus bertambah.
- d. Untuk tegangan kerja yang sama tebal isolasinya lebih tipis.

Kekurangan dan kerugiannya:

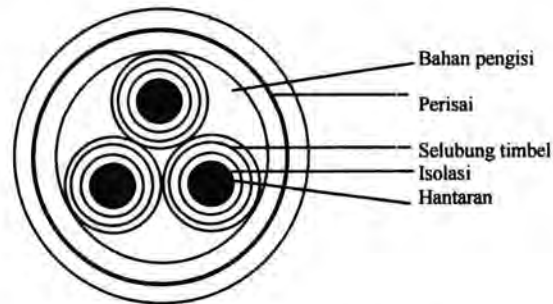
- a. Biaya menjadi lebih mahal.
- b. Memerlukan perlengkapan kabel yang lebih rumit, seperti tabung minyak dan sambungan-sambungan.
- c. Pemilihan dan pemasangan lebih rumit.

Kabel minyak sampai sekarang, paling banyak dipakai untuk tegangan tinggi mulai dari 60 kV ke atas.

#### **2.3.2.5. Kabel SL dan SA**

Pada kabel jenis SL dan jenis SA ini, setiap inti diisolasi dengan kertas, kemudian dipasang selubung timbul untuk kabel SL dan selubung aluminium untuk kabel SA. Ketiga inti tersebut ekuivalen dengan tiga buah kabel berinti tunggal, lalu inti tersebut dipasang bersama-sama dan dilengkapi dengan bahan

pengisi (*filler*) bantalan (*bedding*) dan lain sebagainya, akan tetapi pada kabel jenis lain tidak diperlukan selubung logam (*metal sheat*) lagi, lihat gambar 2.10.



Gambar 2.10. Kabel SL dan SA

Keuntungan kabel SL dan SA

- Kemungkinan gangguan antara inti kecil
- Tegangan listrik radial
- Selubung logam pada setiap inti akan mempercepat penyebaran panas.
- Kemungkinan pembentuk gelombang udara adalah kecil.

#### 2.3.2.6. Kabel HSL

Kabel HSL adalah merupakan gabungan antara kabel H dan SL, dimana setiap hantaran diisolasi dengan kertas, lalu dilapisi lagi dengan kertas logam atau semiconducting paper, kemudian diberi selubung timbel, lalu ketiga intinya dipasang bersama-sama dan dilengkapi dengan perlengkapan kabel lainnya.

Pemakai kabel HSL adalah sama dengan pemakaian kabel H dan SL yaitu untuk tegangan kerja kabel antara 10 kV sampai dengan 66 kV.



### **2.3.3. Masalah-Masalah Dalam Pemilihan Kontruksi dan Jenis kabel**

#### **2.3.3.1. Pemilihan Penghantar**

Pemilihan jenis penghantar untuk jaringan primer pada umumnya terdapat dua pilihan, yaitu penghantar tembaga dan penghantar Aluminium. Karakteristik kedua jenis penghantar ini adalah seperti telah dijelaskan pada bagian 2.2. Dari tabel karakteristik terdahulu terlihat bahwa meskipun konduktivitas penghantar aluminium lebih rendah dari pada penghantar tembaga akan tetapi karena lebih ringan dan lebih murah, maka penghantar aluminium cenderung untuk digunakan sebagai penghantar pada jaringan primer hantaran udara, sedangkan bila diperlukan kuat tarik yang lebih besar, maka biasanya dipakai aluminium yang dicampur.

Demikian pula pada hantaran kabel bawah tanah, karena penghantar aluminium dapat memberikan penyelesaian biaya yang lebih murah, maka lebih sering digunakan untuk pembangunan jaringan primer bawah tanah.

Didalam menentukan ukuran penghantar yang akan dipergunakan untuk saluran primer, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

- penghantar harus mampu memikul daya yang mengalir pada penghantar tersebut
- jatuh tegangan yang timbul pada saluran tidak lebih dari harga yang diijinkan (60%)
- pemilihan penghantar sedemikian rupa, sehingga ukuran yang dipilih menghendaki biaya yang lebih murah.
- rugi-rugi daya pada saluran, sebab makro kecil penghantar yang dipakai rugi-rugi daya semakin besar.

Beberapa hal tersebut diatas perlu diperhitungkan keadaannya untuk perkembangan beban dimasa mendatang. Karena penghantar diharapkan dapat dipakai selama lebih dari 5 sampai 10 tahun. Sehingga perlu diperhitungkan bahwa penghantar yang dipilih akan mampu bekerja dengan baik memikul beban selama waktu tersebut. Untuk itu maka pemilihan didasarkan kepada perawatan pertumbuhan beban yang ada.

### 2.3.3.2. Pemilihan Isolasi

Isolasi yang umum dipakai dibagi 2 kategori:

- a. kertas impregnasi
- b. isolasi sintesis: PVC, PE, XLPE, EPR.

Karakteristik plastik dari beberapa jenis isolasi yang digunakan pada kabel tegangan menengah diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.2. karakteristik plastik dari beberapa jenis isolasi yang digunakan pada kabel tegangan menengah.

| Isolasi                                  | Kertas Impegrasi | PVC  | PE    | EPR   | XLPE      |
|--|------------------|------|-------|-------|-----------|
| Pormitivitas relatif                     | 4                | 8    | 2,3   | 3     | 2,3       |
| faktor rugi-rugi ( $\text{tg } \delta$ ) | 0,01             | 0,01 | 0,001 | 0,015 | 0,001     |
| Gradien tegangan (kV/mm)                 | 4,5              |      | 4,5   |       | 4,5       |
| Temperatur konduktor Normal              | 65<br>75         | 70   | 70    | 40    | 90<br>130 |
| Beban lebih Akhir hubung singkat         | 100              | 160  | 150   | 250   | 250       |

Demikian pula jenis-jenis isolasi yang umum dipakai sampai saat ini mempunyai limit tegangan sebagai berikut:

Tabel 2.3. Limit tegangan jenis-jenis isolasi yang umum diperkecil

| Isolasi             | P.I    | PVC | PE  | XLPE | EPR | Silicon |
|---------------------|--------|-----|-----|------|-----|---------|
| Limit tegangan (kV) | 63/750 | 10  | 225 | 225  | 20  | 10      |

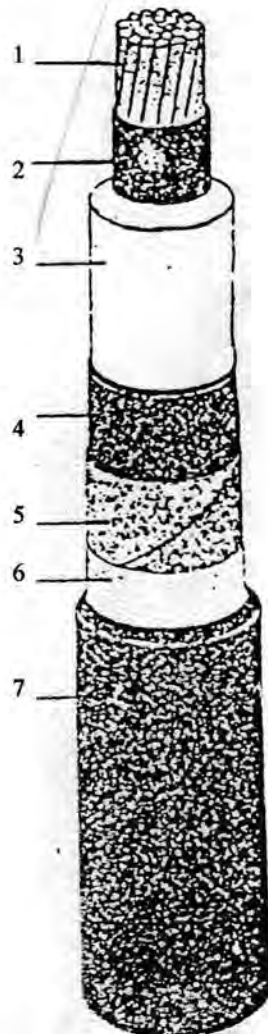
Untuk type isolasi terdapat suatu temperatur kerja maksimum untuk kerja permanen.

### 2.3.3.3. Tipe Kabel Yang Terdapat Dipasaran

Adapun tipe kabel yang terdapat dipasaran antara lain:

- Kabel berinti tunggal tipe N2XSY dan NA2XSY dengan luas penampang antara 25 mm<sup>2</sup> sampai 400 mm<sup>2</sup> dan dengan tegangan nominal 6 KV sampai 30 KV.

Lihat gambar 2.11.a.

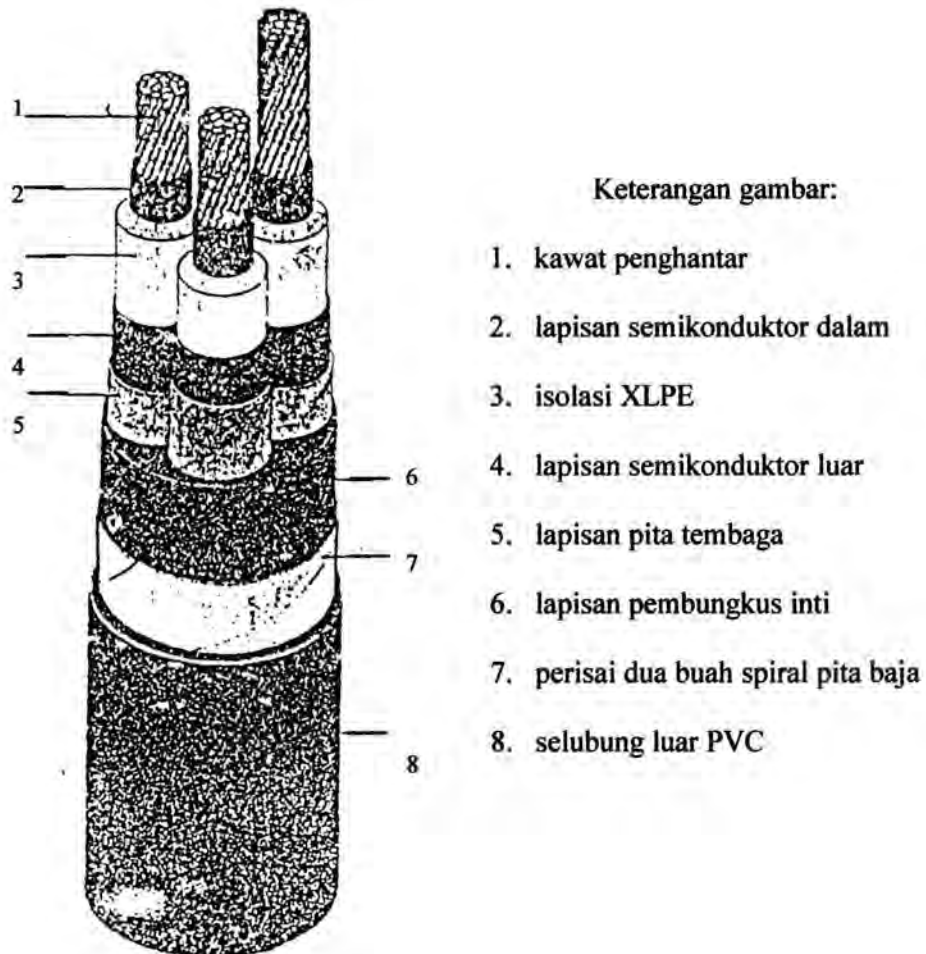


Keterangan gambar:

1. kawat penghantar
2. lapisan semikonduktor dalam
3. isolasi XLPE
4. lapisan semikonduktor luar
5. lapisan pita tembaga
6. lapisan pita plastik
7. selubung luar PVC

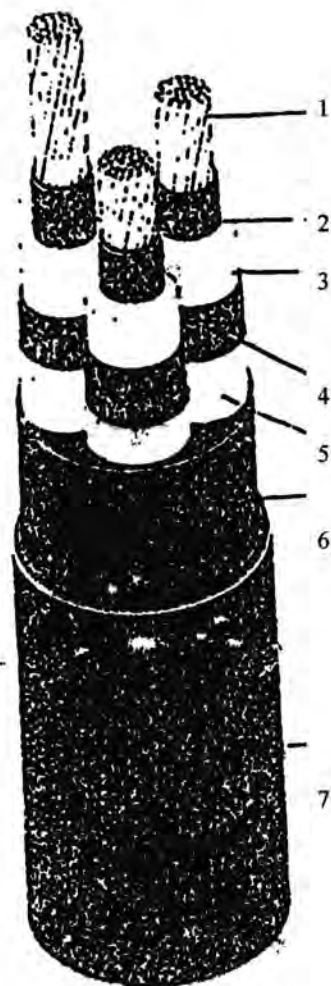
Gambar 2.11.a. Kabel tegangan menengah type N2XSY dan NA2XSY

- Kabel berinti tiga type N2XSEBY dan NA2XSEBY dengan luas penampang antara 35 mm<sup>2</sup> dengan tegangan nominal 12 KV sampai 20 KV



Gambar 2.11.b. Kabel tegangan menengah type N2XSEBY dan NA2XSEBY

- Kabel berinti tiga type N2XSEY dengan luas penampang antara 35 mm<sup>2</sup> sampai 300 mm<sup>2</sup> dan dengan tegangan nominal 12 KV samapi 20 KV.

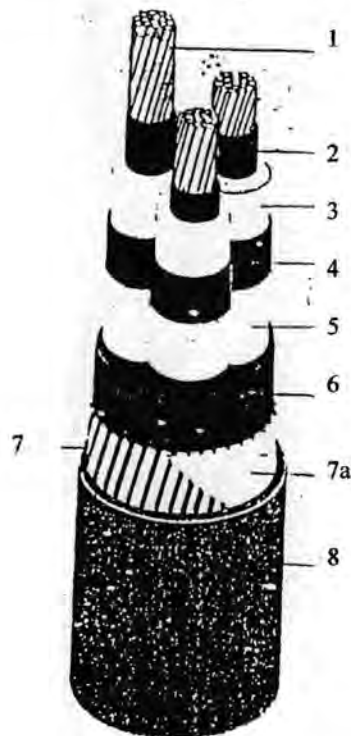


Keterangan gambar:

1. Kawat penghantar
2. lapisan semikonduktor dalam
3. isolasi XLPE
4. lapisan konduktor luar
5. lapisan pita tembaga
6. lapisan PVC
7. selubung luar PVC.

Gambar 2.11.c. Kabel tegangan menengah type N2XSEY berinti tiga.

- Kabel berinti tipe N2XEFGbY dan NA2XEGBY dengan luar penampang antara  $25 \text{ mm}^2$  sampai  $300 \text{ mm}^2$  dengan tegangan nominal 3,7 KV samapi 15 KV.



Keterangan gambar:

1. kawat penghantar
2. lapisan semikonduktor dalam
3. isolasi XLPE
4. lapisan konduktor luar
5. lapisan pita tembaga
6. lapisan PVC
7. kawat plat baja yang digalvanisir
8. selubung luar PVC.

Gambar 2.11.d. Kabel tegangan menengah berinti tiga tipe N2XSEFGbY dan NA2XSEFGbY

- kabel berinti tunggal CV dengan luas penampang antara  $100 \text{ mm}^2$  sampai  $2000 \text{ mm}^2$  dan dengan tegangan nominal 66 KV sampai 77 KV.

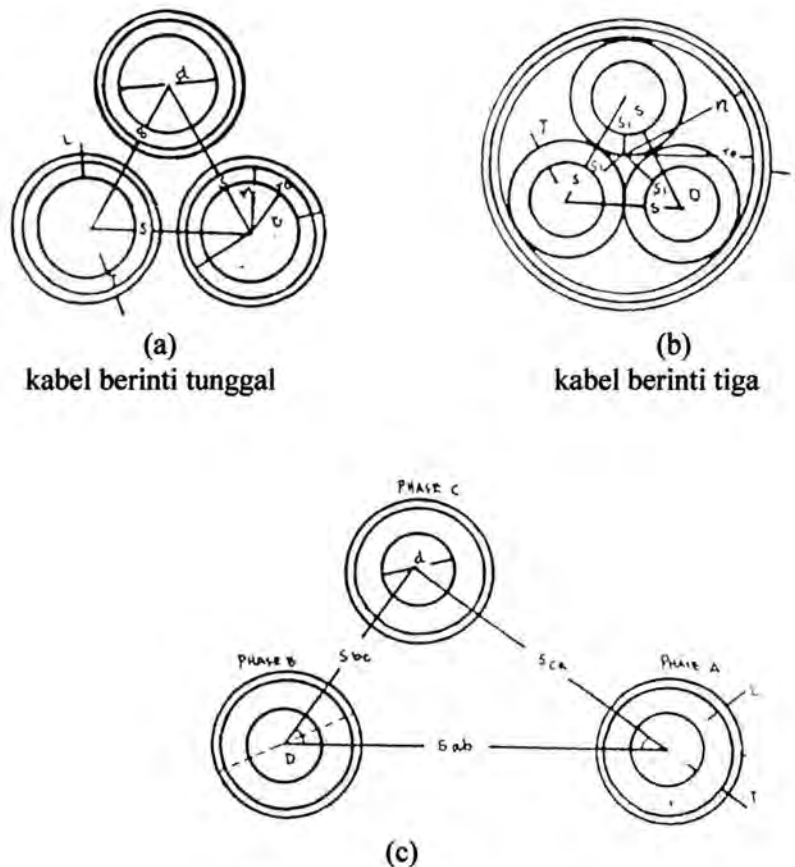


Gambar 2.11.e Kabel berinti tunggal tipe CV untuk tegangan 66 KV sapa 77 KV.

### 2.3.3.4. Karakteristik Listrik Kabel

#### 1. Geometri Kabel

Untuk menghitung besar impedansi suatu kabel, maka hubungan jarak antara selubung dengan penghantar pada suatu rangkaian kecil adalah merupakan faktor yang penting., baik pada kabel inti maupun pada kabel tiga inti seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.12. Geometri kabel



- Geometri Mean Radius (GMR)

Faktor ini biasanya digunakan untuk penghantar sendiri besarnya faktor ini bergantung kepada material dan jumlah lilit penghantar tersebut.

- Geometri Mean Distance (GMD)

Jarak antara penghantar atau antara penghantar dengan selubung (*sheat*) adalah penting dihitung untuk menentukan reaktansi total rangkaian kabel.

Reaktansi urutan positif dan negatif tiga fasa bergantung pada jarak antara penghantar-penghantarnya. Jika penghantar tersebut disusun dengan jarak yang sama antara masing-masing inti penghantar, maka jarak tersebut sama dengan GMD antara penghantar pada rangkaianannya. Besarnya GMD untuk tiga penghantar dengan jarak yang sama (lihat gambar 3.a & b) adalah:

$$GMD_{3c} = S \dots\dots\dots (2.2)$$

Akan tetapi jika penghantar tersebut disusun tidak dengan jarak yang sama, tetapi ditransposisi disepanjang penghantar untuk menghasilkan suatu rangkaian yang seimbang. Maka besarnya GMD ketiga penghantar tersebut adalah:

$$GMD_{3c} = \sqrt[3]{S_{ab}.S_{bc}.S_{ca}} \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Tahanan urut positif dan negatif

Besar tahanan pada sebuah konduktor sepanjang L, dengan luas penampang A adalah:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

- Pertambahan besar tahanan akibat kenaikan temperatur:

$$\frac{R_{dc_1}}{R_{dc_2}} = \frac{a_1 + t_2}{a_1 + t_1} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

$R_{dc_1}$  = tahanan pada  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

$R_{dc_2}$  = tahanan pada  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

- Pertambahan besar tahanan akibat efek mengulit (*skin effect*)

Apabila arus bola-balik mengalir melalui suatu penghantar, maka akan terjadi pendistribusian arus yang tidak merata pada penghantar tersebut. Pada permukaan luar penghantar tersebut akan mengalir arus yang lebih besar jika dibandingkan pada daerah titik pusat penghantar. Hal ini akan mengakibatkan tahanan pada arus bolak-balik ( $R_{ac}$ ) akan selalu lebih besar dari pada tahanan dc ( $R_{dc}$ ).

Besarnya pertambahan tahanan akibat skin effect dapat ditentukan dengan rumus empiris sebagai berikut:

$$R_c = R_{dc} \frac{\left(1 + \frac{Mr^4}{48}\right)^{1/2}}{2} + 1 \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk nilai  $Mr$  antara 0 dan 3.

Dimana:  $R_c$  = tahanan akibat efek kulit

$R_{dc}$  = tahanan dc

Kesalahan maksimum menurut rumus diatas  $\pm 1\%$

- Penambahan nilai tahanan akibat selubung (*sheat*) pada kabel satu inti.

Untuk kabel satu urat yang digunakan pada sistem tiga phasa, makapertambahan tahanan akibat selubung dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{Xm^2 + Rs}{Xm^2 + Rs^2} \quad \text{ohm / phase / mile} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana:

$Xm$  = Reaktansi bersama antara konduktor dan sheat. (ohm/phasa/mile).

$Rs$  = thanan selubung (ohm/phasa/mile).

Jadi jumlah tahanan urut positif atau urutan negatif pada kabel satu urat:

$$R = Rac \frac{Xm^2 + Rs}{Xm^2 + Rs^2} \quad \text{ohm / phasa / mile} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$Rac$  = tahanan ac pada temperatur kerja, dimana skin efek telah diperhitungkan

### 3. Reaktansi urutan positif dan urutan negatif

Reaktansi urutan positif dan negatif pada kabel satu urat dengan selubungtimah hitam (*head sheat*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_1 = X_2 = 0,2794 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{GMD_{3c}}{GMR_{1c}} - \frac{Xm^3}{Xm^2 + Rs^2} \quad \text{oham / phasa / mile} \quad \dots\dots (2.9)$$

atau

$$X1 = X2 = Xa + Xd - \frac{Xm^2}{Xm^2 + Rs^2} \text{ ohm / phasa / mile} \quad (2.10)$$

dimana:

$Xa$  = komponen reaktansi konduktor

$$= 0,2794 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{12}{GMR_{1c}} \quad (2.11)$$

$Xd$  = komponen reaktansi antara konduktor

$$= 0,2794 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{GMD_{3c}}{12} \quad (2.12)$$

$GMR_{1c}$  = Geometri Mean radius satu konduktor

$GMD_{3c}$  = Geometri Mean Distance

$Xm$  = Reaktansi bersama antara konduktor dan sheat

$Rs$  = tahanan selubung.

#### 4. Resistansi dan reaktansi urutan nol

Apabila arus muatan nol mengalir disepanjang penghantar phasa pada kabel tiga phasa, maka arus tersebut akan kembali melalui salah satu dari tanah atau selubung (*sheat*) atau kombinasi keduanya tanah dan selubung. Jika arus urutan nol mengalir melalui setiap penghantar, maka arus tersebut akan mengalami tahanan bola-balik penghantar, dan jika arus tersebut kembali melalui tanah atau selubung, maka arus tersebut akan mengalami tahanan tanah atau selubung yang dilaluinya. Arus urutan nol yang mengalir pada salah satu phasa juga mengalami reaktansi yang timbul akibat dari induktansi penghantar sendiri, dari induktansi bersama antara konduktor, dari induktansi bersama saluran bola-balik tanah dan selubung. Setiap penghantar induktansi ini tidak selamanya sama

seperti yang diperlihatkan pada persamaan-persamaan yang dipakai untuk menghitung reaktansi, sebab teori rangkaian kembali melalui tanah, dan pemakaian satu GMR merupakan sekumpulan penghantar sejajar.

#### 2.3.4. Tipe-Tipe Sambungan Kabel

Kotak sambungan pada hakekatnya harus memiliki kemampuan paling sedikit sama dengan kabelnya. Sifat yang disyaratkan dalam kotak sambung kabel tegangan menengah adalah:

1. Memiliki kemampuan hantar arus dan isolasi minimal sama dengan kabel.
2. Tahanan beroperasi pada temperatur maksimum yang diizinkan.
3. Tahan terhadap arus hubung singkat maksimum yang direncanakan.
4. Memiliki kekuatan mekanis, paling rendah sama dengan kabelnya.
5. Tidak mengakibatkan kerusakan dalam struktur kabel.

Dalam setiap sambungan kabel apapun tipenya harus terdapat komponen-komponen yang menggantikan fungsi komponen yang terdapat didalam kabel.

Untuk kabel tegangan menengah ada 4 macam tipe sambungan yang telah dikembangkan yaitu:

1. Tipe cetak tuang (*cast and resin type*)
2. Tipe bebat atau pita (*wrapping type, tape type*)
3. Tipe ciut panas (*heat shrinkable type*)
4. Tipe *pre moulded slip on*

#### **2.3.4.1. Tipe Cetak Tuang (*cast and resin type*)**

Tipe cetak tuang digunakan pada kabel kertas. Dengan tidak dikembangkan lagi kabel kertas untuk tegangan menengah serta tingkat kesulitan pemasangan yang relatif tinggi dan waktu pemasangan yang relatif lama, sambungan tipe ini tidak digunakan lagi.

#### **2.3.4.2. Tipe Ciut Panas (*heat shrinkable type*)**

Pada tipe ciut panas sebagai bahan isolasi dan semikonduktornya terbuat dari bahan *polyethylene* yang telah mengalami proses ikatan silang (*cross link*) sedemikian sehingga ia akan mempunyai “ingatan elastis (*elastic memori*)” yaitu kemampuan untuk dapat berubah-ubah bentuk kepada bentuk yang diinginkan pada saat dipanaskan dan kemudian menjadi dingin. Waktu pemasangan relatif singkat dibandingkan dengan tipe bebat.

#### **2.3.4.3. Tipe *Pre Moulded Slip On***

Pada tipe *pre moulded slip on* bahan isolasi dan semikonduktornya yang terbuat dari bahan karet silikon (*silicon raber*) atau material EPDM telah terbentuk dalam satu kesatuan yang siap pakai sehingga instalasi dapat dilakukan dengan mudah dan dalam waktu yang relatif singkat.

#### **2.3.4.4. Tipe Bebat atau Pita (*wrapping type, tape type*)**

Tipe bebat menggunakan sejumlah tape untuk menggantikan fungsi dari bagian-bagian konstruksi kabel. Sebagai isolasi digunakan tape dari bahan EPR (*ethylene propylene rubber*) yang harus ditarik kuat (100 % regangan). Ada

beberapa komponen lainnya yang diproduksi dalam bentuk tape seperti *semi conductor tape*, *copper tape*, *sealing tape* dan *restricting tape*.

Panjang total tape untuk kotak sambung kabel berukuran  $3 \times 150 \text{ mm}^2$  untuk merk dagang CELLPACK adalah 204 m,  $37 \times 3 \text{ m}$  diantaranya dililitkan pada setiap inti dan sisanya dililitkan mengelilingi ketiga inti. Tape yang digunakan mempunyai sifat amalgamatik dan dalam pemasangan harus saling tindih 50 % dan sebahagian besar tape harus ditarik dengan rentangan 100 %.

Sebagai bahan pengisi celah-celah kabel digunakan bahan pengisi (*filter*) yang berupa campuran resin dengan bahan pengerasnya (*hardener*). Campuran ini juga berfungsi sebagai tambahan isolasi, pelindung mekanis dan penahan rembesan air. Yang harus diperhatikan pada bahan resin dan pengeras adalah cara penyimpanan dan masa kadaluarsanya.

Komponen penting lainnya adalah konektor. Konektor harus terbuat dari bahan yang sama dengan kabel. Tape yang digunakan adalah dari jenis tekan atau *joint sleeve compression type*. Penyambungan kabel XLPE dengan kabel kertas harus menggunakan konektor dengan sekatan ditengahnya, untuk mencegah rembesan minyak ke kabel XLPE. Secara umum kontruksi konektor harus memenuhi persyaratan:

1. Tahan beroperasi pada arus maksimal yang direncanakan
2. Tahan dilalui arus hubung singkat yang diizinkan
3. Tidak memiliki bagian titik yang dapat menghasilkan panas lebih dari penghantar kabel atau memicu timbulnya kerapatan medan listrik yang tidak merata.

4. Pada saat kontruksi, tidak menimbulkan efek yang merusak struktur material.

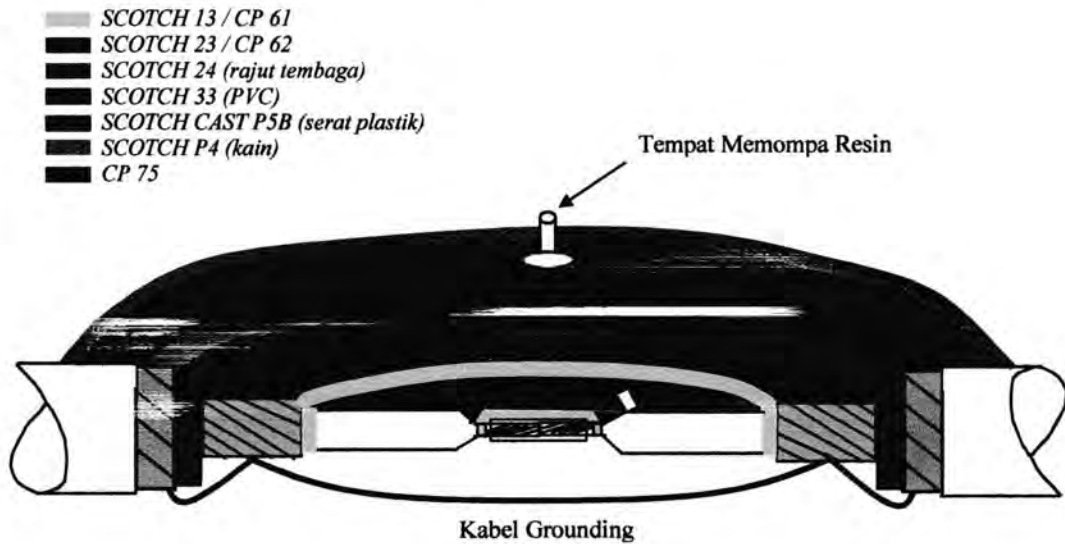
Untuk mendapatkan hasil kompresi konektor yang baik, diperlukan alat kompresi dengan kekuatan dan jenis yang tepat. Alat kompresi yang digunakan minimal 12 ton atau sesuai dengan yang disyaratkan. Dies yang digunakan harus berbentuk *hexagonal* atau lingkaran penuh. Penggunaan alat kompresi tipe tonjok (*punch*) tanpa alas silender akan mengakibatkan penampang konektor berubah menjadi tidak lingkaran sempurna dan berakibat buruk arena distribusi medan listrik menjadi tidak merata. Disamping itu perlu diperhatikan urutan kompresi harus diratakan dengan hamplas. Dan bagian-bagian cekukan diisi dengan semikonduktor.

Dari tahap persiapan sampai instalasi memerlukan persiapan dan kerja yang teliti. Penyediaan peralatan kerja yang lengkap termasuk untukantisipasi terhadap kondisi lapangan yang tak terduga dan tenaga kerja yang prima baik dalam keahlian maupun fisik merupakan persyaratan mutlak.

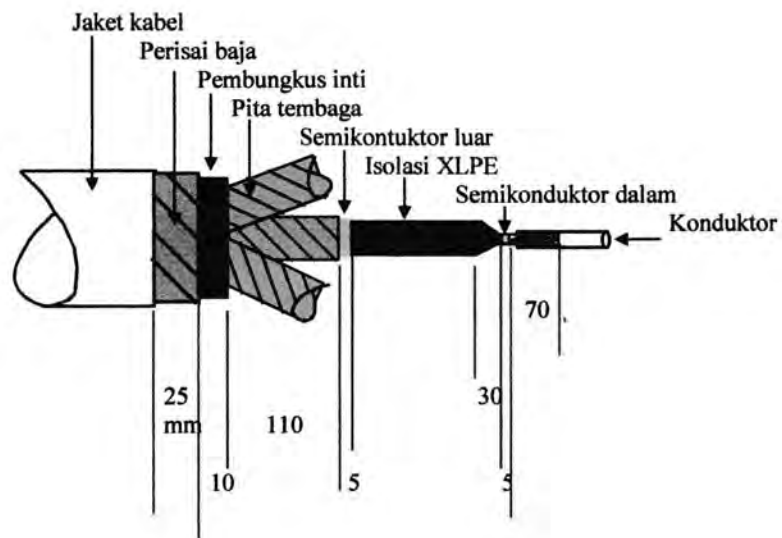


### Bentuk kontruksi sambungan kabel/ kotak sambung tipe bebat untuk kabel

3 inti berisolasi XLPE terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.13. Contoh sambungan kabel yang telah di SCOTCH/ di bungkus.



#### 2.4. Pelepasan Muatan Sebagian Internal (*Internal Partial Discharge*)

Pada umumnya, kegagalan alat-alat listrik pada waktu operasi disebabkan karena kegagalan isolasi dalam menjalankan fungsinya sebagai isolasi tegangan tinggi. Isolasi dapat berupa bahan padat, cair, dan gas. Kegagalan yang terjadi pada isolasi bahan padat adalah kegagalan yang permanen. Sedangkan pada bahan cair dan gas, kegagalan isolasinya adalah kegagalan yang sementara. Dalam pembuatan isolasi padat pada kabel tanah kadang-kadang tidak sempurna, sehingga terdapat rongga dalam isolasi tersebut.

Gangguan pada kabel dapat disebabkan atas dua hal. Pertama adalah gangguan yang disebabkan oleh terjadinya panas yang berlebihan didalam kabel sehingga melampaui harga yang dapat ditolerir oleh isolasi kabel dan akan dapat mengakibatkan gagalnya isolasi (*thermal break down*) pada isolasi kabel. Kedua adalah gangguan yang sebabkan timbulnya *stress* tegangan baik dari dalam sistem maupun dari luar sistem yang melebihi kemampuan isolasi kabel. Bila suatu bahan isolasi mengalami *stress* tegangan tembusnya, maka akan terjadi ionisasi yang akan menimbulkan pelepasan muatan.

Lepasan parsial adalah pelepasan muatan akibat ionisasi lokal (*local ionic discharge*) pada suatu titik yang biasanya berupa rongga yang berisi udara/ gas dari proses kimia yang timbul didalam bahan isolasi atau dapat juga akibat benda asing yang terdapat didalam didalam bahan isolasi. Pelepasan muatan itu terjadi karena ketahanan udara/ gas terhadap *stress* tegangan lebih rendah dari pada bahan isolasi disekitarnya. Ini akan menyebabkan rongga udara/ gas akan mengalami tembus lebih dahulu dari bahan isolasi dan melepaskan muatannya

kedaerah sekelilingnya. Ionisasi ini lama kelamaan akan menimbulkan erosi pada isolasi sekitarnya.

Pelepasan muatan lokal atau lepasan parsial diukur dengan satuan besar muatan. Karena muatan yang dilepaskan kecil sekali satuan yang digunakan adalah pico Coulomb ( $10^{-12}$  Coulomb). Besar stress tegangan yang memicu timbulnya ionisasi tergantung pada besar dan bentuk rongga udara serta tekanan sekelilingnya. Semakin besar rongga udara/ gas semakin tinggi harga tegangan yang dapat menimbulkan ionisasi tersebut. Lepas parsial mungkin tidak terjadi selama tegangan nominal, akan tetapi pada saat terjadi tegangan lebih walaupun hanya sesaat lepasan parsial timbul kemudian hilang kembali pada tegangan nominal. Karena tegangan lebih ini dapat berulang kembali terjadinya, lama kelamaan ionisasi lokal pada rongga dapat meluas sehingga berakhir dengan gagalnya isolasi walaupun hanya dikenakan tegangan normal.

#### **2.4.1. Proses Terjadinya Lepas Parsial**

Lepas parsial adalah jenis pelepasan muatan yang terlokalisir disebabkan ionisasi gas pada sistem isolasi disaat tegangan dalam keadaan nilai kritis. Ionisasi dibatasi sebagai bagian dari jarak antara sistem dan elektroda. Rongga-rongga tempat terjadi ionisasi ini berada dalam bahan dielektrik atau diantara dielektrik dan lapisan penghantar. Pelepasan muatan sebagian terlihat sebagai pulsa yang cepat naik mulai dari besaran kecil dalam bentuk sebuah gelombang sinus yang tidak beraturan dari hasil pengujian isolasi tegangan tinggi.

Unit yang dapat dipakai pada pelepasan muatan sebagian adalah *picocoulomb*. Pada perhitungan unit muatan diutamakan daripada tegangan karena

penggunaannya untuk pembebasan energi pada daerah pelepasan muatan. Pulsa tegangan tidak diinginkan, karena tergantung dari pelepasan muatan dengan bentuk gelombang yang tidak beraturan.

Bentuk gelombang pelepasan muatan tergantung pada tempat terjadinya pelepasan muatan dan perubahan-perubahan ketika pulsa menyebar kerangkaian. Muatan menjadi seimbang untuk sejumlah ion yang terbentuk pada daerah pelepasan muatan dan diwakili oleh daerah dimana terjadi bentuk gelombang pada pelepasan muatan. Daerah ini selalu konstan berdiri sendiri pada daerah pelepasan muatan sebagian.

Energi yang dibebaskan sebanding dengan ion yang terbentuk dari tegangan kritis pada daerah pelepasan muatan. Karena itu, respon dari sistem deteksi pelepasan muatan harus seimbang dengan daerah pada saat pelepasan muatan sebagian terjadi.

#### **2.4.2. Pengukuran Lepas Parsial**

Tegangan dimana timbul breakdown untuk pertama kalinya dikenal sebagai tegangan pelepasan muatan pertama (*discharge inception voltage*). Tekanan yang terjadi pada rongga secara langsung proporsional terhadap permitivitas relatif dari isolasi padat dan karena kekuatan tembus tegangan gas sedikit lebih kecil dibanding isolator padat, maka rongga dapat mengalami tembus tegangan dan menyebabkan pelepasan muatan pada tegangan yang lebih rendah dari pada tegangan operasi kabel.

penggunaannya untuk pembebasan energi pada daerah pelepasan muatan. Pulsa tegangan tidak diinginkan, karena tergantung dari pelepasan muatan dengan bentuk gelombang yang tidak beraturan.

Bentuk gelombang pelepasan muatan tergantung pada tempat terjadinya pelepasan muatan dan perubahan-perubahan ketika pulsa menyebar kerangkaian. Muatan menjadi seimbang untuk sejumlah ion yang terbentuk pada daerah pelepasan muatan dan diwakili oleh daerah dimana terjadi bentuk gelombang pada pelepasan muatan. Daerah ini selalu konstan berdiri sendiri pada daerah pelepasan muatan sebagian.

Energi yang dibebaskan sebanding dengan ion yang terbentuk dari tegangan kritis pada daerah pelepasan muatan. Karena itu, respon dari sistem deteksi pelepasan muatan harus seimbang dengan daerah pada saat pelepasan muatan sebagian terjadi.

#### **2.4.2. Pengukuran Lepas Parsial**

Tegangan dimana timbul breakdown untuk pertama kalinya dikenal sebagai tegangan pelepasan muatan pertama (*discharge inception voltage*). Tekanan yang terjadi pada rongga secara langsung proporsional terhadap permitivitas relatif dari isolasi padat dan karena kekuatan tembus tegangan gas sedikit lebih kecil dibanding isolator padat, maka rongga dapat mengalami tembus tegangan dan menyebabkan pelepasan muatan pada tegangan yang lebih rendah dari pada tegangan operasi kabel.

penggunaannya untuk pembebasan energi pada daerah pelepasan muatan. Pulsa tegangan tidak diinginkan, karena tergantung dari pelepasan muatan dengan bentuk gelombang yang tidak beraturan.

Bentuk gelombang pelepasan muatan tergantung pada tempat terjadinya pelepasan muatan dan perubahan-perubahan ketika pulsa menyebar kerangkaian. Muatan menjadi seimbang untuk sejumlah ion yang terbentuk pada daerah pelepasan muatan dan diwakili oleh daerah dimana terjadi bentuk gelombang pada pelepasan muatan. Daerah ini selalu konstan berdiri sendiri pada daerah pelepasan muatan sebagian.

Energi yang dibebaskan sebanding dengan ion yang terbentuk dari tegangan kritis pada daerah pelepasan muatan. Karena itu, respon dari sistem deteksi pelepasan muatan harus seimbang dengan daerah pada saat pelepasan muatan sebagian terjadi.

#### **2.4.2. Pengukuran Lepas Parsial**

Tegangan dimana timbul breakdown untuk pertama kalinya dikenal sebagai tegangan pelepasan muatan pertama (*discharge inception voltage*). Tekanan yang terjadi pada rongga secara langsung proporsional terhadap permitivitas relatif dari isolasi padat dan karena kekuatan tembus tegangan gas sedikit lebih kecil dibanding isolator padat, maka rongga dapat mengalami tembus tegangan dan menyebabkan pelepasan muatan pada tegangan yang lebih rendah dari pada tegangan operasi kabel.

Pelepasan muatan sebagian menyebabkan kerusakan pada bahan isolasi melalui pengaruh energi elektron yang berenergi besar atau ion yang terakselerasi, sehingga menyebabkan perubahan kimia pada berbagai jenis.

Pelepasan muatan pada rongga akan menghasilkan penetrasi elektron kesatu permukaan rongga dan penembakan ion kepermukaan yang lain. Jika tegangan AC diberikan, maka permukaan rongga akan menerima penembakan ion dan elektron terus menerus secara bergantian.

Pelepasan muatan dalam rongga *polyethylene* yang diberikan tegangan AC, telah ditemukan akan menghasilkan deposit (penumpukan kerak) pada permukaan rongga. Deposit ini mula-mula diameternya berukuran 1  $\mu\text{mm}$ . Tetapi kemudian ukurannya membesar sebanding dengan lamanya waktu dari timbulnya pelepasan muatan didalam rongga dan akan diikuti erosi setempat pada permukaannya. Daerah yang mengalami erosi menjadi saluran aliran arus sehingga menyebabkan kenaikan tegangan pada daerah sekitarnya. Proses ini berjalan secara terus menerus sehingga mengakibatkan terjadinya tracking.

Pengujian pelepasan muatan sebagian mendeteksi kesalahan yang terjadi karena adanya kekosongan/ rongga dalam isolasi pada proses produksi. Deteksi pelepasan muatan dan teknik pengukurannya didasarkan pada pengamatan. Yang termasuk dalam pengamatan adalah:

- Deteksi, menentukan pelepasan muatan dan tegangan pada saat terjadi.
- Lokasi, pemilihan tempat terjadinya pelepasan muatan.
- Evaluasi dan pengtingnya areal pelepasan muatan.

Proses pendeteksian pada pelepasan muatan didasarkan pada transfer/ pertukaran energi yang terjadi pada proses pelepasan muatan. Pertukaran energi dapat dimanifestasikan sebagai:

1. Arus impulse listrik dengan beberapa pengecualian, misalnya beberapa jenis *glow discharge*.
2. Kerugian dielektrik.
3. Radiasi (cahaya).
4. Suara desis (*noise*).
5. Peningkatan tekanan.
6. Reaksi kimia.

#### **2.4.3. Teknik Pengukuran Lepas Parsial**

Tujuan dari pengukuran lepasan parsial adalah untuk mendeteksi dan menghitung disipasi energi dengan tembus tegangan pada ruang kosong yang dipenuhi gas dalam isolasi padat. Bentuk tiap detektor beraneka ragam berdasarkan parameter untuk perhitungan, yaitu:

1. Perhitungan besar muatan yang dilepaskan dengan menggunakan input rangkaian yang dapat diukur.
2. Perhitungan perubahan tegangan
3. Perhitungan rugi/ energi yang dilepaskan karena banyak daerah pelepasan muatan.



Metode deteksi yang paling banyak digunakan dan paling berhasil adalah metode yang pertama. Keuntungannya ialah tingkat sensitivitasnya lebih tinggi dari pada metode-metode lain, karena memakai input rangkaian yang dapat diatur.

#### **2.4.4. Pengujian Lepas Parsial**

Suatu produk seperti kabel berikut perlengkapannya harus dirancang sedemikian rupa agar dapat menjamin bahwa besarnya rongga udara yang mungkin timbul dan gradien tegangannya berada dalam batas yang aman dan terkendali selama beroperasi dalam tingkat tegangan normal.

Pengujian lepasan parsial merupakan bentuk informasi pengujian tidak merusak (*nondestructive*) yang sangat penting baik untuk kabel ataupun kelengkapannya (*accessories*) seperti kotak sambung ataupun kotak ujung.

Akan tetapi didalam pelaksanaan instalasi, kondisi operasi dengan berbagai pengaruh luar (temperatur, iklim, lingkungan) dan lain sebagainya dapat menyebabkan timbulnya rongga yang dapat berisikan udara atau gas dari reaksi bahan kabel/ perlengkapan kabel. Lambat laun rongga ini dapat memicu timbulnya ionisasi walaupun dalam tingkat gradien tegangan yang relatif normal.

Tabel 2.4. Standart internasional untuk lepasan parsial maksimum yang diperoleh untuk kabel dan perlengkapannya pada kelas 24 KV adalah sebagai berikut:

| Standart                              | Uji Tegangan Fasa Tanah (KV) | Tingkat Discharge Maks (pC) |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| IEC 502<br>(Untuk kabel XLPE)         | 15                           | 20                          |
| VDE 0278<br>(Untuk kelengkapan kabel) | 15<br>24                     | 5<br>20                     |
| IEEE 404<br>(Untuk kelengkapan kabel) | 25                           | 3                           |

Standart IEC untuk kabel mempunyai persyaratan yang lebih rendah dari standart VDE ataupun IEEE untuk kelengkapan kabel juga standart IEEE menuntut adanya lepasan parsial yang lebih rendah pada tegangan yang lebih tinggi. Hal ini berkaitan dengan kemungkinan terjadinya tegangan lebih (*overvoltage*) pada saat terjadi gangguan pada kabel.

Kabel 20 KV yang dibuat di indonesia nyatanya mampu memenuhi persyaratan standart IEC 502 maupun syarat VDE 078 dan IEEE 404. Salah satu keunggulan kabel XLPE 20 KV karena proses produksinya telah menggunakan proses yang disebut "*dry curing*" yang sangat mengurangi timbulnya rongga udara.

### BAB III

#### METODOLOGI PEMBAHASAN DAN PENYELESAIAN

##### 3.1. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam pembahasan karya ilmiah ini adalah:

##### BAHAN YANG DIGUNAKAN UNTUK PENYAMBUNGAN KABEL BAWAH TANAH TEGANGAN MENENGAH 20 KV TIPE BEBAT

| No | Jenis Material                 | Dimensi           | Banyak  |
|----|--------------------------------|-------------------|---------|
| 1  | Kabel NA2XSEBY berisolasi XLPE |                   |         |
| 2  | SCOTCH 13 / CP-No 61           | 19 mm x 5 m       | 3 roll  |
| 3  | SCOTCH 23 / CP-No 62           | 19 mm x 10 m      | 11 roll |
| 4  | SCOTCH 33 / TEMPLEX 1700       | 18 mm x 20 m      | 2 roll  |
| 5  | SCOTCH 33 / TEMPLEX 1700       | 36 mm x 20 m      | 3 roll  |
| 6  | SCOTCH 24                      | 1" x 15'          | 4 roll  |
| 7  | SCOTCH 25                      | 12 mm x 90 cm     | 3 roll  |
| 8  | EPOXY RESIN NO.4 420 gr        | A-B-C-D           | 9 roll  |
| 9  | SCOTCH CAST P3                 | 50 mm x 7 m       | 7 roll  |
| 10 | SCOTCH CAST P4/ 895            | 1" x 30'          | 1 roll  |
| 11 | SCOTCH CAST P1B                |                   | 1 PCS   |
| 12 | SCOTCH CAST P5B                |                   | 9 PCS   |
| 13 | SCOTCH A2 – IN                 |                   | 1 CAN   |
| 14 | TIMAH SOLDER                   |                   | 1 PCS   |
| 15 | CLAMP                          | 0 (1 ½")(2 ½")(3) | 2 PCS   |
| 16 | ALKOHOL                        |                   | 1 PCS   |
| 17 | KABEL GROUNDING                |                   |         |
| 18 | KONEKTOR ALUMINIUM             |                   | 3 buah  |
| 19 | TISSUE                         |                   | 1 PCS   |
| 20 | INSTRUCTION DRAWING            | NO:2047-KI-59     |         |
|    |                                |                   |         |
|    |                                |                   |         |
|    |                                |                   |         |

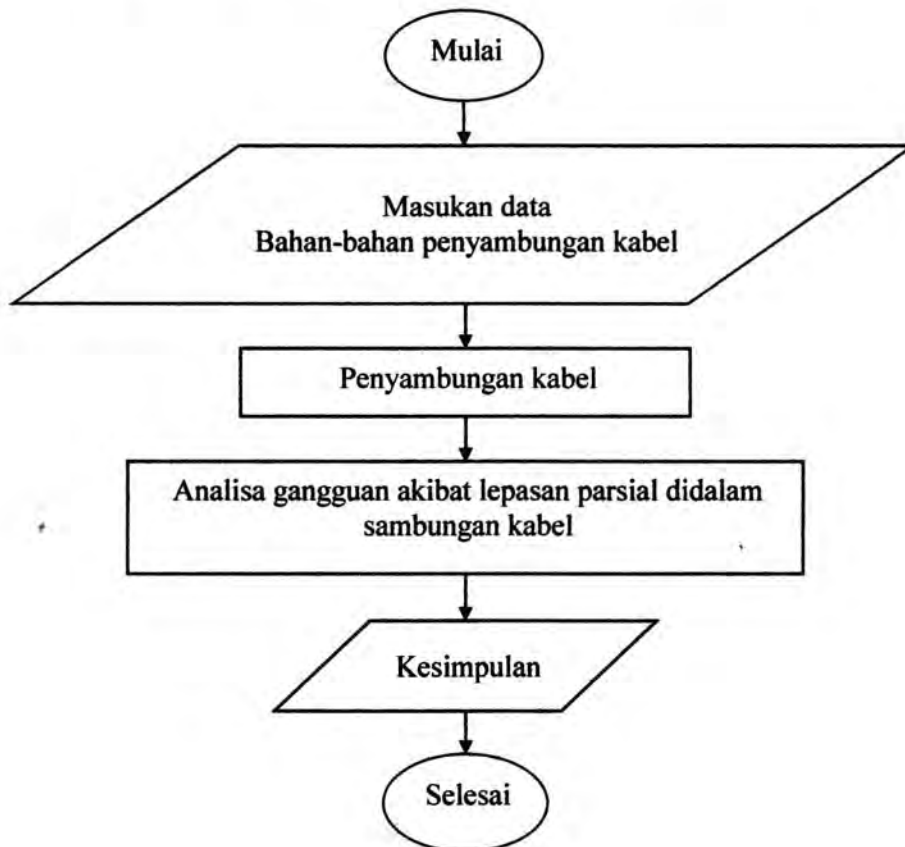
### 3.2. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam karya ilmiah ini adalah:

| No | Nama Alat          | Jumlah |
|----|--------------------|--------|
| 1  | Gergaji besi       | 1 buah |
| 2  | Tang pres konektor | 1 buah |
| 3  | Tang biasa         | 1 buah |
| 4  | Tang potong        | 1 buah |
| 5  | Pisau              | 1 buah |
| 6  | Pompa resin        | 1 buah |
| 7  | Mistar             | 1 buah |
|    |                    |        |

### 3.3. Jalan Pembahasan

Jalan pembahasan dapat dilihat dari diagram alir gambar 3.1.

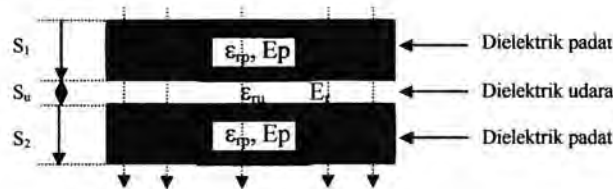


## BAB IV

### GANGGUAN AKIBAT LEPASAN PARSIAL DIDALAM SAMBUNGAN KABEL TIPE BEBAT

#### 4.1. Bentuk Lepasian Parsial Pada Rongga

Lepasian parsial adalah peluahan elektrik pada medium isolasi yang terdapat diantara dua elektroda berbeda tegangan, dimana peluahan tersebut tidak sampai menghubungkan kedua elektroda secara sempurna. Peristiwa seperti ini dapat terjadi pada bahan isolasi padat. Karena kesalahan produksi, di dalam dielektrik pada ada kalanya dijumpai rongga-rongga udara.



Gambar 4.1. Celah udara dalam dielektrik padat

Pada gambar 4.1. ditunjukkan suatu celah udara diantara dua dielektrik padat berada dalam ruang medan dielektrik. Jarak celah udara ( $S_u$ ) relatif sangat kecil dibandingkan terhadap tebal dielektrik padat ( $S_1$  dan  $S_2$ ).

Jika medan dielektrik dihasilkan oleh dua elektroda piring sejajar yang luasnya terberhingga, maka kuat medan dielektrik pada setiap lapis dielektrik adalah:

$$E_n = \frac{V}{\epsilon_n \left( \frac{S_1}{\epsilon_1} + \frac{S_2}{\epsilon_2} + \dots + \frac{S_n}{\epsilon_n} \right)} \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana:  $V$  = beda tegangan diantara elektroda (V)

$\epsilon$  = konstanta dielektrik

$s$  = tebal dielektrik (cm)

jika dimisalkan konstanta dielektrik padat adalah 6 dan konstanta dielektrik udara adalah 1, maka kuat medan dielektrik pada celah udara untuk susunan dielektrik gambar 4.1. adalah:

$$E_u = \frac{V}{\left(\frac{s_1}{6} + s_u + \frac{s_2}{6}\right)} = \frac{V}{\frac{s_1 + s_2}{6} s_u} \dots\dots\dots (4.2)$$

Karena  $s_u$  relatif sangat kecil dibandingkan terhadap tebal keseluruhan dielektrik padat ( $s_1 + s_2$ ), maka kuat medan dielektrik pada celah udara dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_u = \frac{6V}{s_1 + s_2} \dots\dots\dots (4.3)$$

dengan cara yang sama dapat dihitung kuat medan elektrik pada dielektrik padat, hasilnya adalah:

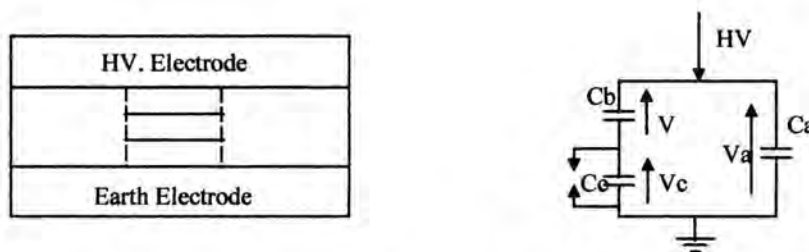
$$E_p = \frac{V}{s_1 + s_2} \dots\dots\dots (4.4)$$

Terlihat bahwa kuat medan elektrik pada celah udara enam kali lebih besar daripada kuat medan elektrik dielektrik padat. Sedangkan kekuatan dielektrik udara jauh lebih kecil dari kekuatan dielektrik padat. Jika kuat medan elektrik dicelah udara melebihi kekuatan dielektrik udara, maka udara akan tembus listrik. Sementara itu dielektrik padat tidak mengalami tembus listrik, karena terpaan

elektrik yang dialaminya masih dibawah kekuatan dielektriknya. Karena tembus listrik hanya terjadi dicelah udara, maka peristiwa ini disebut lepasan parsial.

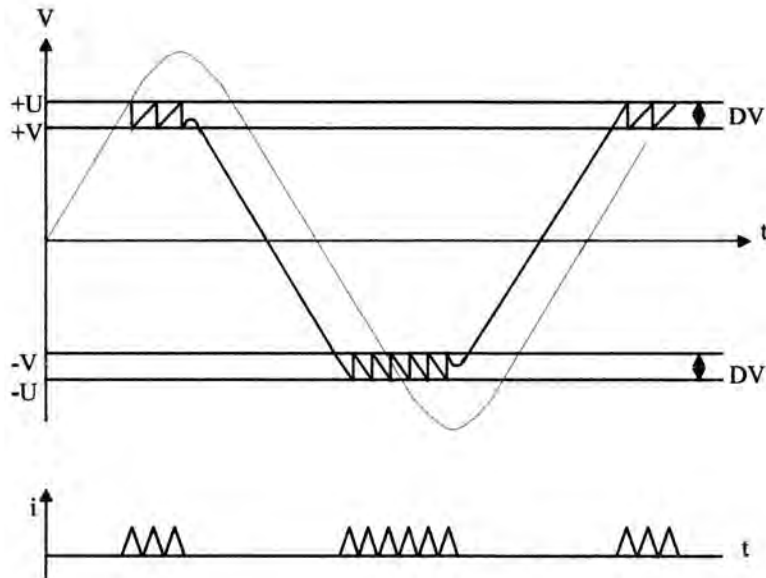
Rangkaian ekivalen dapat dipakai untuk mewakili atau memisalkan rongga dalam suatu dielektrik (gambar 4.2).  $C_c$  adalah kapasitansi rongga itu sendiri,  $C_b$  adalah kapasitansi dari dielektrik yang diseri dengan rongga, dan  $C_a$  adalah kapasitansi dari sisa keseluruhan dielektrik.

*Spark gap* yang diparalel dengan  $C_c$  akan menjadi konduktif jika ada pelepasan muatan melalui rongga.



Gambar 4.2 Rangkaian dari rongga dalam dielektrik

Misalkan diperlukan tegangan untuk tembus tegangan gas pada rongga sebagai  $\pm U$  (gambar 4.3). Jika terjadi pelepasan muatan, maka perpindahan muatan pada rongga mengurangi tegangan  $V_c$  menjadi  $\pm V$  dan pelepasan muatan berakhir.

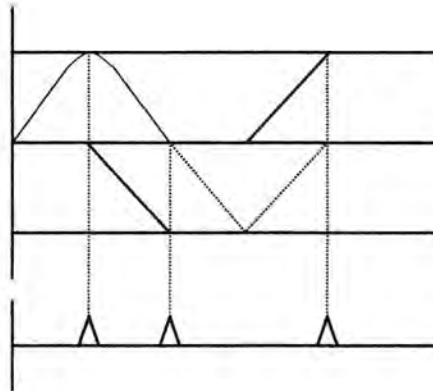


Gambar 4.3 Bentuk pelepasan muatan pada rongga dielektrik

Jika tegangan AC masih meningkat, tegangan yang melalui rongga akan meningkat lagi sebagai super posisi dari medan listrik utama pada medan yang dihasilkan melalui rongga oleh perpindahan muatan dalam pelepasan muatan dan jika  $V_c$  mencapai  $U$  lagi, maka pelepasan muatan baru akan timbul.

Pelepasan muatan harus tetap jika bila ditampilkan dalam time base frekuensi yang sama pada saat supply  $DV+$  dan  $DV-$  sebanding, seperti terlihat pada gambar 4.3. jika puncak tegangan yang diberikan adalah tegangan awal dari pelepasan dan tidak memperhitungkan tegangan residu yang tertinggal pada rongga setelah pelepasan muatan, maka akan didapatkan empat pelepasan muatan per cycle. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa secara teoritis harus ada empat discharge per cycle pada saat permulaan dan pulsa-pulsa arus harus timbul pada puncak-puncaknya dan menunjukkan nol pada saat bentuk gelombang tegangan.

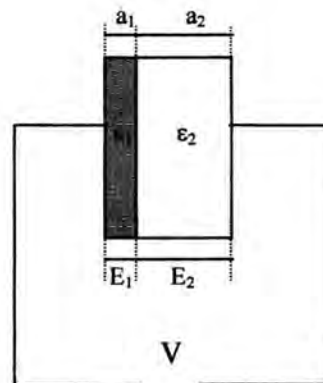




Gambar 4.4. Bentuk teoritis pelepasan muatan pada saat permulaan

#### 4.2. Analisa Kebocoran Pada Sambungan Kabel

Dua jenis bahan dielektrik dalam hubungan seri:



Gambar 4.5. Dua jenis bahan dielektrik dalam hubungan seri

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \dots\dots\dots (4.5)$$

$$V = E_1 a_1 + E_2 a_2 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$\frac{V}{E_1} = \frac{E_1 a_1}{E_1} + \frac{E_2 a_2}{E_1} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$E_1 = \frac{V}{a_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} a_2} \dots\dots\dots (4.8)$$

$$E_2 = \frac{V}{a_2 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} a_1} \dots\dots\dots (4.9)$$

dimana:  $E_1$  = tegangan pada rongga udara  
 $E_2$  = tegangan pada bahan dielektrik  
 $\epsilon_1$  = konstanta dielektrik udara  
 $\epsilon_2$  = konstanta dielektrik XLPE  
 $a_1$  = tebal dielektrik udara  
 $a_2$  = tebal dielektrik XLPE

Contoh terjadinya lepasan parsial pada sambungan kabel:

Untuk kabel berisolasi XLPE,  $\epsilon_2 = 2,3$  dan untuk udara  $\epsilon_1 = 1$ . Untuk kabel TM 20 KV tebal isolasi XLPE normal adalah 5,5. bila tebal rongga udara  $a_1 = 0,1$  mm, tebal isolasi  $a_2 = 5,4$  mm, maka gradien tegangan pada rongga udara dan bahan dielektrik adalah:

Pada rongga udara:

$$E_1 = \frac{V}{a_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} a_2} = \frac{20/\sqrt{3}}{0,1 + \frac{1}{2,3} \times 5,4} = 4,72 \text{ kV/mm}$$

Pada bahan dielektrik:

$$E_2 = \frac{V}{a_2 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} a_1} = \frac{20/\sqrt{3}}{5,4 + \frac{2,3}{1} \times 0,1} = 2,05 \text{ kV/mm}$$

Gradien tegangan pada udara medan *uniform* tekanan udara adalah 3 kV/mm, sehingga gradien regangan yang timbul pada rongga udara tersebut sudah melebihi normal. Ini akan berakibat terjadi “lepasan parsial” yang secara perlahan akan merusak kabel. Sedangkan pada bahan isolasi XLPE kekuatan dielektriknya adalah 35-50 kV/mm, sehingga tegangan ini masih jauh dibawah kemampuan bahan isolasi.

#### **4.3. Hal-Hal Yang Dapat Mengakibatkan Terjadinya Lepas Parsial Dalam Sambungan Kabel**

Lepas parsial didalam kotak sambung dapat terjadi karena proses instalasi yang kurang sempurna ditambah lagi karena proses selama operasi. Hal-hal yang dapat mengakibatkan terjadinya rongga udara/ gas ataupun stress listrik adalah:

1. Pengepresan konektor kabel tidak dilakukan sesuai dengan ketentuan seperti tidak menggunakan dies yang tepat, tidak meratakan bagian yang tajam.
2. Pembersihan semikonduktor tidak sempurna (masih terdapat sisa semikonduktor) atau pengupasan semikonduktor mengakibatkan tergoresnya bagian isolasi.
3. Peruncingan (*pencilin*) bahan isolasi tidak rata permukaannya, karena tidak menggunakan peralatan kerja yang ditentukan.

4. Pemasangan pita terutama pita semikonduktor dan pita isolasi tidak dilakukan secara baik (tidak saling tindih 50 % dan rentangan tarik 100 %).
5. Terdapat bahan-bahan asing secara tidak sengaja selama proses pemasangan (debu, lumpur, air, sisa bahan kabel).
6. Penggunaan resin yang sudah kadaluarsa.
7. Pemompaan resin yang tidak sempurna sehingga, masih akan terdapat udara yang terjebak didalam kotak sambung.

Selama proses operasi akan timbul tegangan transien akibat gangguan ataupun buka tutup pemutus tenaga yang adakalanya besarnya melebihi tegangan normal. Hal ini sudah tentu berakibat stress tegangan, lebih-lebih pada titik yang rawan akan bertambah. Titik tertentu yang dalam kondisi tegangan normal belum mengalami lepasan parsial, pada tegangan tersebut ada kemungkinan timbul lepasan parsial.

Hal lain yang mungkin dapat terjadi adalah akibat pembebanan yang selalu berubah-ubah, timbul kontraksi pada kabel yang berupa pemuluran dan pengerutan. Bila koefisien muai panas antara bagian-bagian kabel terlalu berbeda dapat berakibat timbulnya rongga-rongga yang selanjutnya akan merupakan potensi yang akan memicu timbulnya lepasan parsial.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

1. Lepas parsial pada kotak sambung dapat timbul baik karena komponennya yang kurang baik maupun karena pemasangannya yang tidak memenuhi persyaratan.
2. Terjadinya lepas parsial pada sambungan kabel tidak dengan seketika menyebabkan timbulnya gangguan pada kabel, tetapi gangguan baru timbul setelah waktu yang cukup lama.
3. Hasil pengujian tegangan sebelum dilakukan operasi tidak merupakan jaminan bahwa sambungan tersebut akan mampu beroperasi dalam jangka waktu operasi yang dipersyaratkan (minimal 20 tahun).
4. Kondisi-kondisi selama operasi akan sangat menentukan kemungkinan timbulnya lepas parsial di dalam sambungan kabel dan meluasnya pengikisan isolasi.
5. Pekerjaan penyambungan kabel tipe bebat adalah pekerjaan yang menentukan ketrampilan dan konsentrasi yang tinggal serta pengetahuan yang memadai. Kemampuan bekerja dalam lingkungan yang terkadang tidak kondusif dengan tekanan waktu.
6. Pengawas sambungan kabel tidak sepenuhnya dapat mengontrol kualitas sambungan. Banyak bagian-bagian pekerjaan yang sulit dinilai/ diamati secara visual ketepatan pekerjaannya. Karena itu penyambung kabel yang profesional dan bertanggung jawab merupakan syarat yang mutlak.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Artono Arismunandar, *"Teknik Tegangan Tinggi"*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta 2001.
2. Bonggas L. Tobing, *"Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi"*, PT. Gramedia Pustaka Utama.
3. Jurnal – Teknologi dan Energi, Vol.3, No.2, April 2003.
4. Kabel Tanah, PT. PLN (Persero) Jakarta 1986.
5. Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi (Konsep Standard), PLN 1982.
6. Syamsir Abduh, *"Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi"*, Salemba Teknik.
7. Tugas Akhir, *"Distribusi Energi Listrik Dengan Menggunakan Kabel Bawah Tanah"*, 1998 ITM.
8. William D. Stevenson JR & Budiono Ismail, *"Analisa Sistem Tenaga Listrik"*, Erlangga Jakarta, 1990.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Artono Arismunandar, ***“Teknik Tegangan Tinggi”***. PT. Pradnya Paramita, Jakarta 2001.
2. Bonggas L. Tobing, ***“Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi”***, PT. Gramedia Pustaka Utama.
3. Jurnal – Teknologi dan Energi, Vol.3, No.2, April 2003.
4. Kabel Tanah, PT. PLN (Persero) Jakarta 1986.
5. Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi (Konsep Standard), PLN 1982.
6. Syamsir Abduh, ***“Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi”***, Salemba Teknik.
7. Tugas Akhir, ***“Distribusi Energi Listrik Dengan Menggunakan Kabel Bawah Tanah”***, 1998 ITM.
8. William D. Stevenson JR & Budiono Ismail, ***“Analisa Sistem Tenaga Listrik”***, Erlangga Jakarta, 1990.