

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Pada jaringan distribusi tegangan menengah di wilayah Jakarta ini sebagian besar menggunakan kabel tanah. Jika mengalami gangguan, proses pencarian letakgangguan serta proses perbaikannya memakan waktu yang relatif lama, sehingga diperlukan metode pemeliharaan dan metode pendeteksian yang tepat berdasarkan kondisi kabel dilapangan untuk menjamin kehandalan penyaluran.

**Berdasarkan IEC 60270 : 2001**, *partial discharge* diartikan sebagai sebagai pelepasan elektrik/muatan listrik lokal (lokasi/titik tertentu saja) yang hanya “menjembatani” suatu bagian isolasi diantara suatu penghantar, pada bagian yang dapat ataupun tidak dapat terjadi pelepasan muatan yang berdekatan dengan penghantar. Pelepasan ini dapat terjadi pada isolasi antara konduktor fasa dengan *ground* ataupun konduktor fasa dengan konduktor fasa yang lain.

**Ir. Renville Saputele dengan judul “Pengaruh Internal *Partial Discharge* Kabel Terhadap Kegagalan Isolasi”** *Partial Discharge* atau pelepasan muatan listrik sebagian dimaksudkan adalah pelepasan muatan listrik tanpa hubungan secara sempurna elektroda-elektrodanya. Walaupun besarnya pelepasan muatan ini relative kecil, *partial discharge* yang terjadi ini dapat secara progresif merusak peralatan listrik, yang pada akhirnya membuat fatal peralatan. Oleh karena itu penting sekali mendeteksi secara dini keberadaan dan besarnya *partial discharge* ini, dengan melakukan pengujian/pemeriksaan yang tak merusak.

**Pungki Oktharia Hermawan dengan judul “Analisis *Partial Discharge* Pada Pengujian Kabel XLPE Tegangan Menengah Satu Inti dan Tiga Inti”***Partial Discharge* ini merupakan konsekuensi dari adanya *stress* listrik lokal di dalam isolator maupun di permukaan isolator. *Partial discharge* ini muncul dalam bentuk pulsa listrik dengan durasi yang kurang dari 1 $\mu$ s. *Partial*

*discharge* biasanya ditandai dengan adanya emisi suara, cahaya, panas dan reaksi kimia.

*Partial discharge* dapat terjadi pada isolasi padat, cair, maupun gas. Pada isolasi gas biasanya diawali dengan peristiwa korona, yaitu salah satu bentuk *partial discharge* dengan ciri-ciri berupa cahaya violet, suara bising, suhu meningkat di daerah sekitar, serta reaksi kimia berupa pembentukan ozon. Pada isolasi cair biasanya dikarenakan adanya kontaminan, bisa berupa udara/gelembung-gelembung udara, ataupun air. Sedangkan pada isolasi padat, *partial discharge* sering terjadi karena adanya *void*, kotoran, cairan yang berasal dari proses manufaktur kesalahan pemasangan, maupun selama pemakaian peralatan.

*Partial discharge* ini dapat dinilai berdasarkan kuantitas dan kualitasnya. Nilai kuantitas *partial discharge* berupa nilai pada besaran pico Coulomb (pC), sedangkan nilai kualitasnya dapat dianalisis dari kecenderungan data pengujian *partial discharge* pada bahan tertentu.

## **2.2 Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)**

Kabel tanah terdiri atas satu atau beberapa konduktor yang diisolasi sehingga tahan terhadap tegangan tertentu antara satu penghantar dengan penghantar lainnya, maupun penghantar dengan tanah. Agar dapat tahan terhadap pengaruh luar maka kabel tanah diisolasi dengan bahan pelindung. Dalam jaringan yang merupakan bagian dari sistem penyaluran tenaga listrik, terdapat peralatan-peralatan yang menunjang kelangsungan penyaluran daya. Semua komponen-komponen untuk sistem distribusi bawah tanah harus mampu beroperasi walaupun semua kabel terendam air, baik untuk sementara maupun terus menerus, karena itu diperlukan persyaratan isolasi khusus untuk melindungi peralatan tersebut.

Penggunaan kabel tegangan menengah dan tegangan tinggi memerlukan pengetahuan teknik yang cukup tinggi, agar tidak menimbulkan gangguan dikemudian hari khususnya dalam masalah penyambungan (jointing). Sambungan kabel merupakan area yang paling rawan dan mudah

terjadi gangguan, hal ini disebabkan karena proses penyambungannya menggunakan tenaga manusia dan dilakukan di lapangan yang terpengaruh oleh kondisi cuaca. Secara perhitungan, kejadiannya mencapai 80 % dari jumlah gangguan yang terjadi pada sistem jaringan kabel. Permasalahannya meliputi konstruksi isolasi, penyambungan yang tidak tepat, kesalahan pemakaian komponen dan kontaminasi akibat lingkungan, yang keseluruhannya akan menimbulkan partial discharge dan over heating pada sambungan. Juga tegangan transient yang disebabkan oleh surja petir dan sumber-sumber yang lain, dan cacat dari pabrik yang dapat menimbulkan masalah pada keandalan sambungan.

## **2.3 Konstruksi Kabel Tanah**

### **2.3.1 Penghantar (Conductor)**

Dilihat dari inti kabel (core cable) maka kabel dapat juga dibedakan dengan kabel yang mempunyai satu inti (single core) dan tiga inti (*three core*). Setiap inti kabel merupakan penghantar, bentuk dari penghantar dapat direncanakan sesuai dengan kebutuhannya. Bahan penghantar yang banyak dipakai untuk kabel tenaga listrik adalah :

1. Tembaga, dengan kemurnian 99,99% yaitu :
  - a. Kawat tembaga polos (*plain wire*) tanpa lapisan
  - b. Kawat tembaga berlapis timah putih (*tinned cooper wire*)
2. Aluminium, dengan kemurnian 99,3 %

Penghantar yang dipergunakan dalam kabel terdiri dari beberapa bentuk sebagai berikut:

1. Penghantar bulat tanpa rongga

Merupakan kawat yang dipilin dan membentuk lingkaran (bulat) dimana pada pusat lingkaran tidak terdapat rongga. Penghantar bulat tanpa rongga ini cocok digunakan pada kabel berinti tunggal, sedangkan untuk kabel berinti banyak hanya ekonomis untuk digunakan pada penampang yang kecil.

## 2. Penghantar bentuk sektoral

Penghantar bentuk sektoral terdiri dari beberapa kawat yang dipilin dan akan membentuk sektor lingkungan, jika inti-intinya dipasang bersama-sama dengan membentuk lingkaran. Penghantar sektoral ini dipasang pada kabel berinti banyak dan mempunyai keuntungan sebagai berikut :

- a. Faktor ruang (*space factor*) menjadi lebih baik. Karena ruang inti-inti kabel kecil sekali, sehingga hanya diperlukan bahan pengisi (*filler*) yang sedikit.
- b. Dikarenakan bahan pengisi yang sedikit, maka diameter kabel akan menjadi kecil. Akibat semua bahan bagian pelengkap akan menjadi kecil sehingga harga kabel menjadi murah.
- c. Mengurangi efek kulit (*skin-effect*), karena luas penampang dan frekuensi akan menentukan besarnya efek kulit yang terjadi.

### 2.3.2 Isolasi Kabel

#### 1. Isolasi Kabel

Kabel tanah berisolasi kertas dapat digunakan untuk tegangan tinggi sampai 400 KV, baik untuk kabel minyak bertekanan rendah (*low pressure oilfilled- LPOF*) yang terpadu dalam satu kabel (*self contained*) dan kabel berisolasi kertas yang dimasukkan kedalam pipa, lalu diisi dengan minyak bertekanan tinggi (*high pressure oil filed – LPOF* )

Kertas sebagai isolasi dapat berupa kertas kering maupun kertas yang diresapi minyak. Pada saat dibuka pabrik (*oil impregnated paper*), dimana kekuatan terhadap air (impermeabilitas), kekuatan tarik (tensile strength), kemuluran. Permittivitas relative, faktor disipasi dan kekuatan tembus listriknnya.

Peresapan kertas dengan minyak pada kabel tegangan tinggi (diatas 30 KV), dimaksudkan untuk menghindari agar serat serat kertas tidak pecah karena terbentuknya kantong-kantong udara (void) atau gas dalam kertas isolasi yang dapat berkembang dan merengut menjadi bagian bagian yang tidak sama, dengan bertambahnya panas pada

siklus beban. Tekanan pada kantong udara ini adalah tinggi, sehingga terjadi pelepasan muatan (*discharge*) yang menimbulkan panas dan dapat menghanguskan kertas. Dengan kata lain kertas sebagai isolasi mengalami "*partial discharge*" yang mengakibatkan kegagalan isolasi (*break down insulation*).

## 2. Isolasi campuran diresapi Minyak

Pada hakekatnya kabel dengan jenis isolasi campuran dan diresapi minyak adalah kabel yang berisolasi kertas yang diresapi minyak pada saat dibuat (*oil impregnated paper*), dimana didalam kabel tersebut dialiri dengan minyak yang bertekanan minyak. Dalam hal ini yaitu berfungsi sebagai: isolasi listrik yang memperkuat dielektrik pada kertas isolasi dan media pendingin kabel.

Kabel (isolasi) kertas yang diresapi minyak (*oil impregnated*) biasanya digunakan untuk saluran transmisi bawah tanah, meskipun untuk tegangan dibawah 35 kv kabel plastik atau kabel butyl juga dipakai. Sebagai penghantar biasanya digunakan kawat tembaga berlilit (*annealed stranded*), meskipun kawat alumunium berlilit (karena ringan) juga dipakai untuk kabel udara. Sebagai pembungkus sering digunakan timah hitam, meskipun alumunium sekarang juga disukai, bukan saja untuk kabel udara, tetapi juga sebagai pilihan untuk saat ini. Dengan keunggulan seperti daya tahan suhu yang tinggi, daya tahan akan stress mekanikal ataupun oksidasi dan reaksi kimia yang baik, dan keunggulan lainnya.

Isolasi XLPE digunakan pada kabel yang bertegangan mencapai 110 kv atau bisa digunakan pada kabel tegangan menengah. Keuntungan dari isolasi XLPE adalah :

- a. Suhu kerja lebih tinggi sehingga dapat dialiri arus yang lebih tinggi.
- b. Bobot yang ringan
- c. Bisa digunakan pada frekuensi tinggi

Adapun permasalahan yang terdapat pada isolasi PE (XLPE) adalah lebih sensitif terhadap pelepasan muatan (*partial discharge*), serta umur bahan yang tidak terlalu lama. Apabila sering terjadi pelepasan

muatan maka disini akan terjadi suatu kegagalan pada isolasi tersebut, yaitu mengalirnya muatan pada isolasi. Hal ini tidak diinginkan, karena ini sangat berpengaruh terhadap umur bahan. Bentuk kegagalan yang dominan adalah kegagalan thermal, yang dipengaruhi oleh suhu dari kabel tersebut akibat dialiri oleh tegangan, khususnya tegangan bolak balik.

### 3. Isolasi PVC

Merupakan jenis kabel yang berkawat satu atau lebih, berisolasi dan berselubung PVC, tegangan nominal 500 volt. Kabel NYM biasanya digunakan untuk instalasi biasa didalam gedung, dalam ruang kering maupun lembab dan di atas atau dibawah semen. Di samping itu, karena kemampuan mengalirkan arus yang lebih besar, pada umumnya dapat digunakan kabel XLPE dengan ukuran penghantar satu tingkat dibawah kabel kertas.

### 4. Isolasi XLPE

Dari segi isolasi, sekarang orang mulai menggunakan XLPE yang memiliki ketahanan kerja lebih baik, meskipun harganya mahal dibandingkan dengan isolasi sintetis jenis lain. XLPE mempunyai karakteristik paling baik, tetapi pada umumnya isolasi sintetis mempunyai kelebihan dibandingkan dengan isolasi kertas.

#### **2.3.3 Tabir (Screen)**

Untuk tegangan kerja yang tinggi, setiap inti kabel dilengkapi dengan suatu lapisan yang disebut tabir (*screen*). Tabir ini berfungsi untuk merentankan distribusi tegangan, oleh karena itu tabir harus dibuat dari bahan semikonduktor seperti kertas berlapis logam atau pita-pita kertas berlapis karbon.

Pemasangan tabir adalah antara selubung (*sheath*) dan isolasi, tetapi untuk kabel sintetis dipasang juga antara isolasi dan penghantar.

Fungsi pemasangan tabir (*screen*) adalah:

1. Untuk mendapatkan distribusi medan listrik yang radial dan seragam, sehingga tidak terjadi penumpukan tegangan.
2. Untuk melindungi/mengamankan manusia terhadap bahaya listrik.
3. Mencegah interferensi gelombang elektromagnetis dengan kabel telekomunikasi yang berada didekatnya.

#### **2.3.4 Selubung (*Sheath*)**

Selubung berfungsi untuk melindungi inti kabel dari pengaruh luar dan berfungsi sebagai :

1. Pelindung terhadap korosi
2. Penahan gaya mekanis
3. Pelindung/pengaman terhadap gaya listrik
4. Mencegah keluarnya minyak pada kabel kertas yang diresapi minyak (*impregnated paper*) dan mencegah masuknya uap air/cairan ke dalam kabel

Bahan selubung dapat dibagi menjadi tiga golongan :

1. Selubung logam, seperti timbel, aluminium.
2. Selubung karet (sintetis), seperti karet silikon (*silicon rubber*), *polychloroprene*.
3. Selubung plastik, seperti PVC.

#### **2.3.5 Bantalan (*Bedding*)**

Bantalan berfungsi untuk kedudukan perisai (*armour*) dan mencegah proses elektrolisa, sehingga tidak merusak bagian dalamnya. Beberapa bahan dari bantalan diantaranya pita kapas (*cotton tape*), pita kertas (*paper tape*), jute.

Sebelum dipasang, bahan bantalan harus dikeringkan dan direndam dalam minyak atau kompon kedap air. Adanya kompon kedap air, maka bantalan akan mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Tidak bereaksi dengan selubung dan perisai.

2. Tidak mudah berubah dengan adanya perubahan temperatur.
3. Melekat dengan sempurna pada selubung dan perisai.
4. Tidak mudah sobek jika terkena getaran.

#### **2.3.6 Bahan Pengisi (*Filler*)**

Untuk konstruksi kabel berinti tiga atau lebih (*multi-core*) bila setelah pemasangan ketiga intinya maka ada ruang/cegap yang tertinggal sehingga didapatkan bentuk kabel yang bulat. Bahan yang mengisi celah ini dinamakan bahan pengisi (*filler*). Bahan pengisi yang banyak dipakai pada kabel isolasi kertas ialah jute, sedangkan kabel isolasi sintetis selain jute dipakai juga karet butyl.

#### **2.3.7 Perisai (*Armour*).**

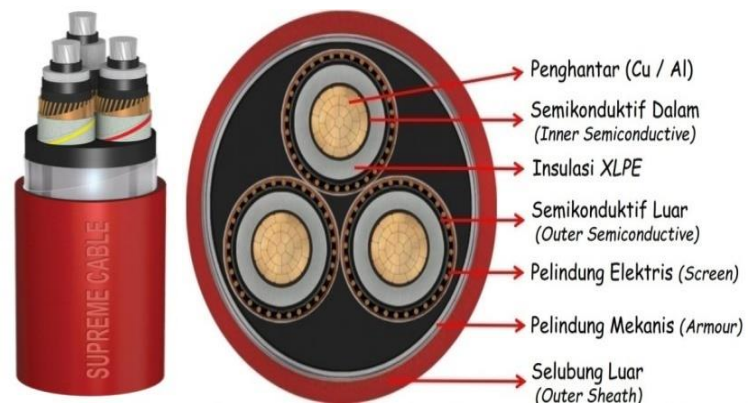
Karena bahan isolasi mempunyai sifat mekanis yang kurang sempurna sehingga diperlukan suatu lapisan yang berfungsi melindungi bahan dari kerusakan mekanis lapisan ini dinamakan perisai (*armour*). Berdasarkan bentuknya perisai dapat digolongkan menjadi tiga jenis :

1. Perisai pita baja (*steel tape armour*).
2. Perisai kawat baja (*steel wire armour*)
3. Perisai aluminium (*aluminium armour*)

#### **2.3.8 Pelindung Luar (*Serving*)**

Pelindung luar dipasang di atas perisai (*armour*) yang berfungsi sebagai bantalan bagi perisai, dan juga sebagai komponen yang berhubungan langsung dengan tanah.

Konstruksi Kabel Tegangan Menengah ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Kontruksi kabel tanah NA2XSEYBY 20kV

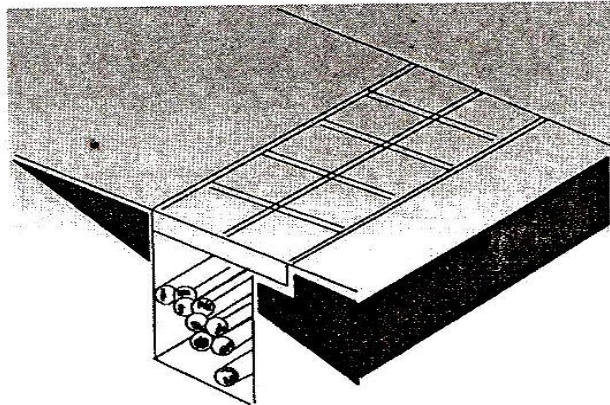
## 2.4 Konstruksi Saluran Bawah Tanah

### 2.4.1 Pemasangan Kabel Bawah Tanah

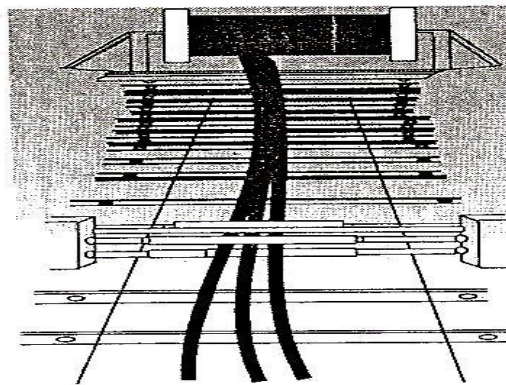
Beberapa faktor penting yang perlu diingat pada saat pemasangan kabel adalah : (PLN Operasi & Pemeliharaan Jaringan Distribusi, 1995:18)

1. Sebelum meletakkan kabel, isolasinya harus diperiksa dengan megger sebagai pemeriksaan pencegahan kemungkinan adanya kerusakan.
2. Penggulungan kabel harus diputar searah dengan tanda panah yang ada padanya. Jika tanda itu tidak ada, penggulungan harus diputar searah dengan akhiran kabel di dalam dan berlawanan arah dengan akhiran luar.
3. Kabel harus diambil dari bagian puncak penggulungan dengan tahanan penyangga, jika perlu penggulungan direm guna menghindari putaran terlalu cepat.
4. Jika perlu dipindahkan, penggulungan kabel harus dipindahkan dengan roda-roda kabel.
5. Jari-jari pemasangan harus dibuat sebesar mungkin. Jari-jari pemasangan harus sesuai dengan yang dianjurkan dalam IS : 1225-1967.
6. Pada cuaca dingin kabel harus dipanasi sebelum ditangani. Kabel tersebut harus dipasang ketika suhunya diatas 0 °C (32 °F) dan tidak boleh turun dari suhu tersebut selama 24 jam.
7. Harus dibuat percobaan kelembaban pada bahan penyambungan sebelum penyambungan.

8. Bila kabel disambungkan dengan kabel yang sudah terpasang, jajaran teras dari ujung yang lain harus berlawanan arah, jadi jika satu ujung searah jarum jam, ujung yang lain harus berlawanan dengan jarum jam. Hal ini perlu untuk menghindari teras ketika sedang menyambung.
9. Suatu sambungan menjadi titik terlemah dari sistem distribusi tenaga listrik, semua usaha pencegahan harus dilakukan untuk melindungi kabel.



Gambar 2.2 Teknik pemasangan kabel bawah tanah pada ruangan saluran kabel



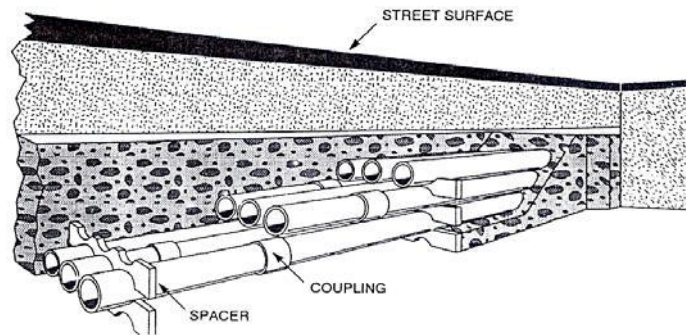
Gambar 2.3 Konstruksi Penarikan Kabel Tanah

Kabel pada saluran distribusi bawah tanah tegangan menengah yang dipakai adalah kabel tanah dengan pelindung mekanis bagian luar (pita baja), dengan berpelindung medan magnet dan elektrik. Kabel dapat berbentuk multicore belted cable atau single core full isolated cable.

Kabel tanah diletakkan pada :

1. Minimum 0.8 meter di bawah permukaan tanah pada jalan yang dilewati kendaraan.

2. Minimum 0.6 meter di bawah permukaan tanah pada jalan yang tidak dilewati kendaraan.
3. Lebar galian sekurang-kurangnya 4 meter.



Gambar 2.4 Konstruksi Penanaman Kabel Tanah Dibawah Jalan Raya

Cara pemasangan kabel tanah di atur dalam pasal 744. antara lain ditentukan sebagai berikut. Kabel tanah yang dipasang di dalam tanah harus dilindungi terhadap kemungkinan terjadinya gangguan mekanis dan kimiawi. Perlindungan terhadap gangguan mekanis pada umumnya dianggap mencukupi jika kabelnya di tanam :

1. Minimum 80 cm di bawah permukaan tanah pada jalan yang dilalui kendaraan:
2. Minimum 60 cm di bawah permukaan tanah yang tidak dilalui kendaraan (ayat 744 A2).

Kabelnya harus diletakkan di dalam pasir atau tanah lembut yang bebas dari batu-batuan , dan di atas galian tanah yang stabil , kuat dan rata. Lapisan pasir atau tanah itu harus sekurang-kurangnya 5 cm di sekeliling kabel. Sebagai perlindungan tambahan di atas timbunan pasir atau tanah lembut dapat dipasang beton, batu bata pelindungan (ayat A4).

Kabel tanah yang dipasang keluar dari tanah di luar bangunan harus di lindungi dengan pipa baja atau bahan lain yang cukup kuat sampai di luar jangkauan tangan, kecuali kalau sudah ada perlindungan lain yang sederajat (ayat 744 F1).

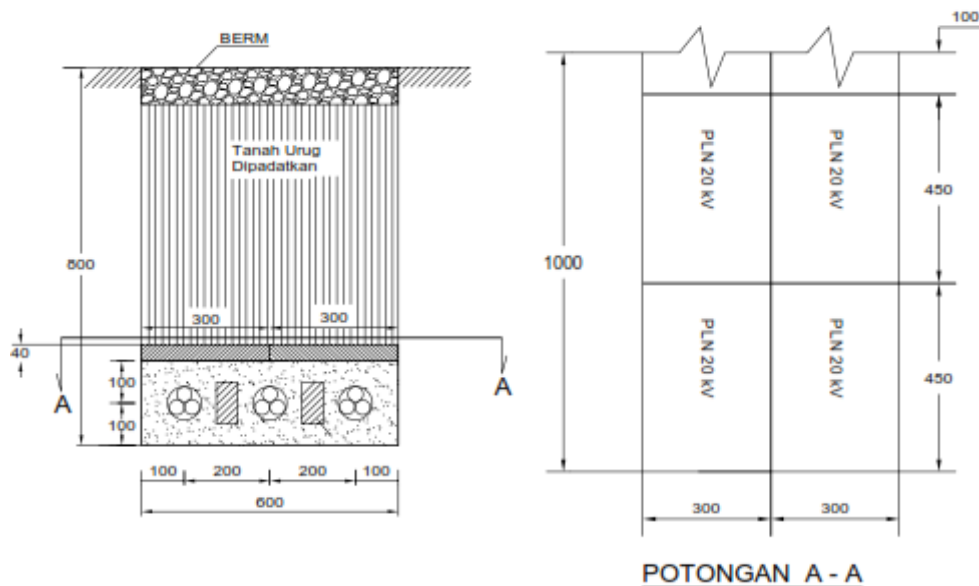
Sambungan antar kabel tanah berperisai atau berselubung logam harus dibuat dengan salah satu cara berikut ini (ayat 741 B4) :

1. Dibuat dalam kotak sambung kabel tanah: perisai atau selubung logamnya harus ikut dimasukkan ke dalam kotak sambung sampai suatu batas tertentu dan kotaknya harus diisi dengankompon isolasi yang tahan lembab.
2. Dibuat di dalam suatu tabung timbel yang diselubungkan pada selubung luar kabel.
3. Dibuat dengan cara lain yang dibenarkan.

Kabel tanah harus di perlakukan dengan hati-hati dan sekali-kali tidak boleh dipuntir atau ditekuk. Karena itu mengeluarkan kabel yumal dari haspel harus dilakukan dengan cara memutar haspelnya. Juga tarikan dan tekanan mekanis yang berlebihan harus dihindari . pembekokkan kearah berlawanan pun harus dibatasi sedapat mungkin. Kabel tanah harus diangkut dan disimpan dalam haspel yang diletakan berdiri.Haspelnya harus cukup besar. Untuk kabel tanah berpariasi harus digunakan haspel dengan diameter dalam yang sekurang-kurangnya sama dengan 25 kali diameter luar kabel. Kalau terpaksa harus digelar diatas tanah, kabelnya harus digelar dalam bentuk angka 8 yang ukurannya cukup besar, yaitu sekurang-kurangnya 8x3m. Tanahnya harus rata dan bebas dari batu-batuan dan sebagainya.

Ujung kabel tanah tidak boleh dibiarkan terbuka,tetapi harus selalu ditutup rapat dengan cara yang tepat untuk mencegah air masuk dan lembab ke dalam kabel.

Kabel yang dipasang harus dilapisi pasir halus setebal minimum 5 cm dari permukaan kulit kabel dan kabel bagian atas diberi pelindung mekanis untuk maksud keamanan, terbuat dari beton, batu atau bata. Kabel bawah tanah tidak jarang melewati persilangan, persilangan kabel, persilangan kabel telekomunikasi dan kabel listrik (non PLN), persilangan dengan rel kereta api, persilangan dengan jalan raya, persilangan dengan saluran air.



Catatan:

- Ukuran dalam mm
- Setiap 30 Cm tanah urug dipadatkan dengan stamper

Gambar 2.5 Konstruksi Peletakan Kabel Tanah 20 kV

## 2.5 PARTIAL DISCHARGE

*Partial Discharge* adalah gejala pelepasan muatan (*discharge*) terjadi di salah satu atau beberapa bagian dan dari suatu sistem isolasi dan bersifat setempat (lokal) sehingga sistem isolasi yang bersangkutan masih bisa berfungsi. Namun demikian gejala ini perludiamati sedini mungkin karena merupakan gejala menurunnya kualitas isolasi.

Bahan isolasi yang sempurna tidak mempunyai elektron bebas, semua elektron terikat pada kulit elektron dari molekul. Di lain pihak suatu bahan yang bersifat penghantar mempunyai banyak elektron bebas sehingga apabila dikenai medan listrik akan menyebabkan elektron bebas yang bermuatan negatif mengalir kearah bagian medan listrik yang bermuatan positif sehingga terjadi arus listrik dari tempat yang bermuatan negatif mengalir kearah bagian medan listrik yang bermuatan positif ke tempat yang bermuatan positif dan dikatakan terjadi arus listrik dari tempat yang bermuatan negatif. Partial discharge bisa terjadi dalam bahan isolasi padat, cair maupun yang berupa gas,

*partial discharge* yang terjadi dalam bahan isolasi bisa disebabkan adanya rongga (*Cavity*), gelembung (*Void*) atau tonjolan (*Protusion*).

Selain itu juga Partial Discharge (PD) pada kabel dapat timbul pada kerusakan insulasi atau aksesoris kabel. Kerusakan ini terjadi karena beberapa faktor penuaan. Ada 4 faktor dasar penuaan : thermal, listrik, mekanis, dan lingkungan. Faktor-faktor tersebut yang dapat menyebabkan kegagalan pada kabel. Selain itu terdapat stres pada kabel yang dapat menyebabkan penuaan yang pada akhirnya menyebabkan degradasi pada sistem kabel. Faktor-faktor tersebut yang dapat menyebabkan kegagalan pada kabel. Selain itu terdapat stres pada kabel yang dapat menyebabkan penuaan yang pada akhirnya menyebabkan degradasi pada sistem kabel. Tiga kategori stress yang ada adalah operational stresses, environmental stresses dan human handling.

#### Faktor kegagalan kabel

##### 1. Operational Stress

Pada sistem kabel beban selalu berubah-ubah yang menyebabkan perubahan suhu dan hasil dari bergeser (*transversal strengths*) pada sistem kabel. Hasil dari tekanan axial pada sambungan kabel, *accessories* dapat bergeser dan menyebabkan meningkatnya stresses di dalam kabel. Kemungkinan dapat terjadi pada instalasi joint kabel dan juga perubahan beban dan arus hubung singkat didalam sistem kabel dapat menyebabkan mechanical stress dapat menyebabkan penurunan kemampuan dari konektor di joint kabel, hal ini akan meningkatkan suhu pada kabel. Selain itu perubahan beban harian dapat mengakibatkan kabel memuai dan menyusut.

##### 2. Environmental Stress

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi kondisi kabel yang dapat menyebabkan gangguan kabel. Kelembapan tanah, tanah yang terpolusi dan tekanan pada tanah beberapa contoh dari environmental stresses. Jika kabel berada di tanah yang lembab

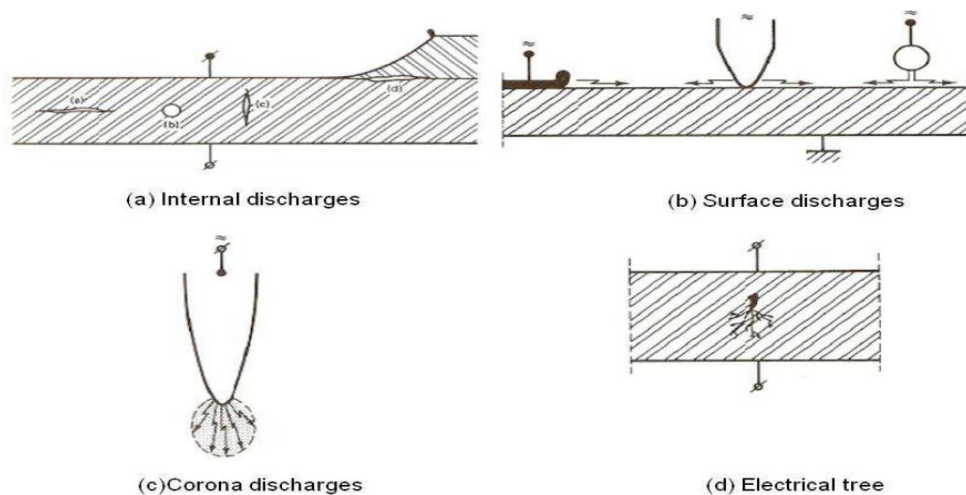
dapat menyebabkan mechanical stresses pada kabel tersebut. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada pelindung dari air dan menyebabkan penurunan kualitas insulation.

### 3. Human Handling

Saat menyambung antar kabel dilakukan dilapangan hal ini dapat menyebabkan kegagalan kabel disebabkan adanya benda asing (debu atau kotoran) yang menempel di dalam sambungan kabel.

## 2.6 PROSES TERJADINYA *PARTIAL DISCHARGE*

*Partial discharge* (PD) merupakan peluhan listrik secara lokal yang menghubungkan secara partial atau sebagian dari isolasi diantara konduktor dan yang baik dipermukaan maupun di dalam isolasi tersebut. Partial Discharge merupakan akibat dari konsentrasi elektrikal stress pada satu lokasi di dalam atau pada permukaan isolasi. Secara umum, Partial Discharge diklasifikasikan dalam 4 tipe : *internal discharge*, *surface discharge*, *corona discharge* dan *electrical tree*.



Gambar 2.6 Tipe-tipe *partial discharge*

### 2.6.1 INTERNAL *PARTIAL DISCHARGE*

Internal discharge terjadi di rongga di dalam isolasi. Biasanya rongga tersebut terisi oleh gas atau minyak yang memiliki kekuatan dielektris yang lebih rendah dibandingkan material isolasi.

### **2.6.2 CORONA**

Corona merupakan proses dimana arus, mungkin diteruskan, muncul dari sebuah elektroda berpotensi tinggi di dalam sebuah fluida yang netral, biasanya udara, dengan mengionisasi fluida hingga menciptakan plasma di sekitar elektroda. Ion-ion yang dihasilkan akhirnya akan melampaui muatan listrik menuju area-area berpotensi rendah terdekat atau bergabung kembali untuk membentuk molekul-molekul gas netral. Saat gradien potensialnya fluida cukup besar pada senia titik, maka fluida itu akan mengalami ionisasi dan menjadi bersifat konduktif. Udara di sekitar elektroda tersebut bisa terionisasi (sebagai bersifat konduktif). Saat udara di dekat titik menjadi bersifat konduktif, ia memiliki efek meningkatkan ukuran konduktor. Di luar wilayah ionisasi dan konduktivitas tersebut, partikel-partikel bermuatan perlahan-lahan mencapai benda yang muatannya berlawanan dan dinetralkan. *Coronadischarges* biasanya melibatkan dua elektroda asimetris, elektroda yang satu memiliki permukaan yang sangat melengkung (seperti ujung sebuah jarum atau kawat berdiameter kecil) dan elektroda satunya lagi memiliki bidang yang rata (seperti piring atau permukaan tanah).

### **2.5.3 SURFACE PARTIAL DISCHARGE**

*Surface Partial Discharge*, terjadi jika ada stress komponen parallel dengan permukaan isolasi. Ini terjadi pada perlengkapan bushing, sambungan kabel, belitan generator dan pelepasan muatan listriknya terjadi dari luar permukaan.

### **2.6.4 ELECTRICAL TREENING**

*Electrical Treening Partial Discharge*, terjadi setelah ada kerusakan dari bagian dalam dan dari bagian itulah terjadi kerusakan lebih lanjut.

Rongga atau gelembung yang ada dalam bahan isolasi padat berisi udara atau gas yang kekuatan dielektrik bahan isolasi padatnya, sehingga dalam menghadapi kekuatan medan listrik yang dialami bahan isolasi padat, rongga atau gelembung tersebut lebih dahulu mengalami bahan isolasi padat,

rongga atau gelembung tersebut lebih dahulu mengalami pelepasan muatan dan terjadilah *partial discharge*. *Partial discharge* yang berlangsung lama dan kontinyu pada isolasi padat yang mengandung atom karbon, misalnya pada bahan Cross Link Poly Etylne (XLPE) bisa menimbulkan efek treening yaitu efek karbonisasi.

Isolasi XLPE terdiri dari rangkaian atom ethyl ( $C_2H_6$ ) yang dirangkai secara *cross Link* (bersilang) apabila mengalami *partial discharge* maka ditempat terjadinya *partial discharge* maka di tempat terjadinya *partial discharge* atom – atom karbonnya (C) lepas dan membentuk pohon (tree) yang berwarna hitam. Atom-atom karbon ini bersifat penghantar dan merupakan kejadian kearah kegagalan isolasi XLPE.

Jika dalam isolasi kabel terdapat rongga udara sehingga terjadi dua bahan dielektrik yang berada dalam suatu tegangan normal kabel. Dengan mengansumsi konduktor dari kabel tersebut sebagai elektroda anoda dan pita tembaga sebagai elektroda katoda maka bila kabel tersebut diberi tegangan akan terjadi medan listrik antara konduktor dan pita tembaga dimana isolasi dengan rongga udaranya merupakan bahan dielektrik yang mempunyai permitivitas yang berbeda. Untuk memudahkan dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.

Kekuatan dielektrik udara dalam rongga lebih rendah dari kekuatan dielektrik isolasi kabel dengan kata lain tegangan gagal rongga udara rendah dari tegangan gagal rongga udara redah dari tegangan gagal isolasi kabel. Selain itu tetapan dielektrik udara dalam rongga ( $\epsilon_u$ ) lebih kecil dari tetapan dielektrik isolasi kabel ( $\epsilon_i$ ), sehingga kuat medan dari rongga udara lebih besar dari kuat medan isolasi kabel. Oleh karena itu mungkin saja akan terjadi tegangan gagal dalam rongga udara tersebut. Meskipun pada saat itu pada kabel diterapkan tegangan nominal.

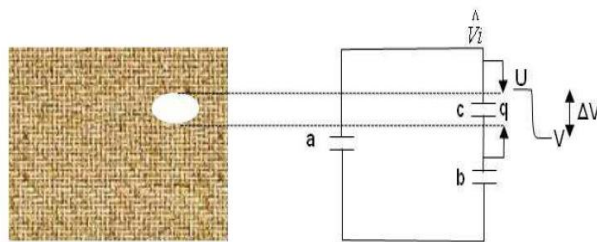
Dalam kondisi diatas dapat dinyatakan dengan rangkaian listrik seperti gambar 2.9. Dengan menganalogi konduktor sebagai anoda, isolasi kabel dan rongga udara sebagai dua bahan dielektrik dan pita tembaga sebagai katoda dapatlah diuraikan terjadinya *Internal Partial Discharge*. Dimana  $a$  = kapasitansi

kabel yang tebal  $d$ ,  $c$  = kapasitansi rongga udara yang tebal  $t$  dan  $b$  = kapasitansi isolasi yang berbaris dengan rongga udara, maka kuat medan pada  $c$  dinyatakan sebagai berikut yaitu :

$$E = \frac{V_a}{t + (d-t)\left(\frac{\epsilon_u}{\epsilon_i}\right)}$$

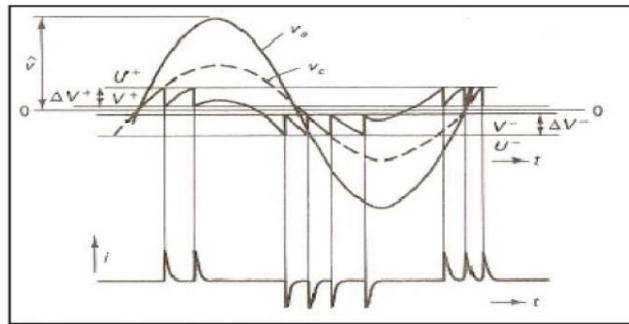
Dimana :  $E_c$  = Kuat medan listrik dalam rongga udara

$V_a$  = Teganga yang diterapkan



Gambar 2.7 Rangkaian ekivalen rongga udara dalam isolasi kabel

Jika tegangan bolak balik  $V_a$  yang diterapkan tidak menghasilkan tegangan gagal pada rongga udara tersebut, maka bentuk gelombang yang terjadi pada rongga udara adalah  $V_c$  pada gambar 2.10. Tetapi jika tegangan  $V_c$  cukup besar untuk menembus rongga udara tersebut, maka akan terjadi kegagalan pada tegangan  $U^+$ . Pada saat itu terjadi *Internal Partial Discharge* berupa busur api pada rongga udara tersebut dengan tegangan  $U^+$ . Busur api yang terjadi diiringi jatuhnya tegangan sampai  $V^+$  dan mengalir arus. Busur api kemudian padam dan tegangan pada rongga kemudian naik lagi sampai terjadi kegagalan berikutnya pada tegangan  $U^+$ . Hal ini terjadi pula pada setengah gelombang berikutnya yaitu pada saat periode negatif. Rongga akan mengalami *Internal Partial Discharge* pada saat tegangan rongga mencapai  $U^-$  busur api yang terjadi diiringi jatuhnya tegangan sampai  $V^-$  dan mengalir arus. Kejadian ini terjadi berulang yang dan berlangsung terus menerus selama kabel dioperasikan.



Gambar 2.8 Kurva Tegangan dan Arus *Internal Partial Discharge*

*Partial Discharge* timbul dalam *voids* (rongga) dalam bahan isolasi listrik atau penghubung antar material, misalnya dalam aksesoris kabel. Microsparks timbul di *voids* dimana pancaran radiasi broadband dari 50 kHz hingga >500 MHz, dengan waktu puncak pulsa 1.0 ns. Lokasi terjadinya *discharge* mungkin sama, tetapi magnitude dan jumlah pulsa yang dihasilkannya bisa saja berbeda tergantung waktu, tegangan, temperatur, beban dan kelembaban. Sehingga menyebabkan sulit untuk mendeteksi dan menentukan lokasinya. Selain itu atenuasi pulsa sepanjang kabel, terutama untuk frekuensi tinggi, serta adanya *breakdown noise* dapat mempengaruhi hasil pendeteksian. Lokasi *multiple discharge* (*discharge* yang berulang), percabangan kabel, kontaminasi dalam isolasi kabel serta jenis bahan isolasi kabel dapat menambah kompleksitas interpretasi adanya *Partial Discharge* dalam sebuah bahan isolasi. Jumlah muatan yang dipindahkan oleh arus *discharge* adalah

$$Q = b \times \Delta V$$

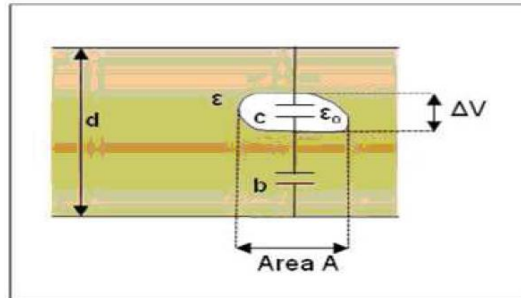
Persamaan ini menunjukkan bahwa besaran *Partial Discharge* berhubungan dengan kapasitas  $b$  dan tegangan. Kapasitasnya  $b$  berhubungan dengan besaran cacat rongga (*void*) seperti yang terlihat pada persamaan 2.2 dan gambar 2.11. Menggambarkan hubungan antara kapasitansi  $b$  dan besarnya cacat rongga

$$b = \epsilon_0 \epsilon \left( \frac{A}{d} \right)$$

Dimana  $A$  adalah luas area dari cacat rongga di dalam isolasi, dan  $d$  adalah ketebalan isolasi sehingga :

$$q = \epsilon_0 \epsilon \left( \frac{A}{d} \right) \times \Delta V$$

Persamaan 2.4 memperlihatkan bahwa besaran PD meningkat dengan luas area lokasi discharge A dan tegangan yang diberikan  $\Delta V$

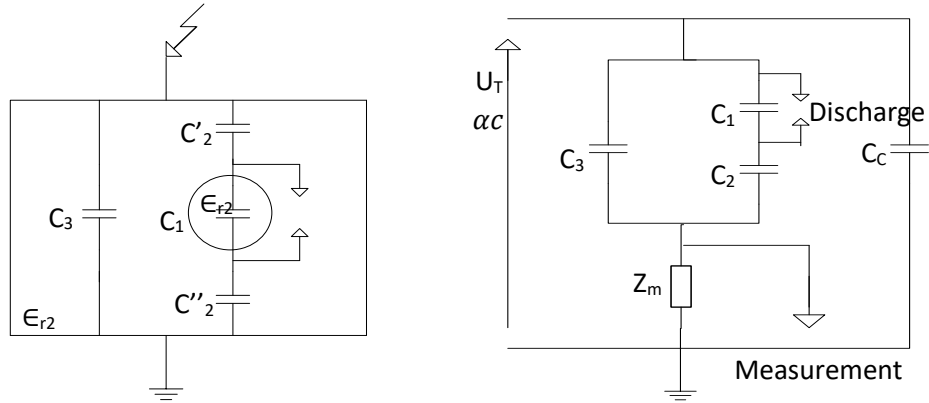


Gambar 2.9 Hubungan antara besarnya cacat dengan besaran PD

## 2.7 MEKANISME TERJADINYA *PARTIAL DISCHARGE*

Bila stres listrik yang diderita oleh suatu material isolasi melampaui kekuatan dielektrik dari material isolasi, maka material isolasi tersebut akan mengalami kerusakan (*insulation breakdown*) atau yang disebut juga dengan kegagalan isolasi.

Pelepasan (*discharge*) adalah peristiwa mengalirnya arus listrik atau muatan listrik di dalam bahan isolasi dalam jumlah relatif besar (dibandingkan dengan kondisi tidak terjadi pelepasan) serta bersifat mendadak. *Partial Discharge* (PD) merupakan pelepasan listrik secara lokal yang menghubungkan secara parsial atau sebagian dari isolasi diantara konduktor dan yang terjadi baik di permukaan maupun di dalam isolasi tersebut. *Partial Discharge* merupakan akibat dari konsentrasi *electrical stress* pada satu lokasi di dalam atau pada permukaan isolasi. Secara umum discharge terlihat sebagai pulsa/sinyal dengan durasi jauh lebih kecil dari 1μs. Bentuk yang lebih kontinyu mungkin terjadi, seperti contoh yang biasa dikenal sebagai *pulse-less discharges* pada dielektrik gas.



Gambar 2.9 Rangkaian Ekivalen Rongga Pada Kabel

Dimana,  $C_1$  merupakan kapasitas dari *void*,  $C_2$  merupakan kapasitansi yang terjadi pada daerah sekitar *void*, dan  $C_3$  kapasitansi dari bahan isolasi itu sendiri. Dengan penjabaran pada pernyataan sebelumnya dapat diketahui besarnya kapasitansi masing masing, yaitu :

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \times A}{t}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \times \epsilon_r \times A}{d - t}$$

$$C_3 = \frac{\epsilon_0 \times \epsilon_r \times A}{d}$$

Dengan demikian memiliki rangkaian pengganti gambar maka kita dapat mengetahui besarnya nilai *partial discharge* pada rangkaian tersebut. Dengan mengasumsikan besarnya tegangan *breakdown* pada  $C_1$  adalah  $U_{C1}$ , maka besar  $U_{C1}$  adalah  $U_{C1}$  adalah

$$U_{C1} = \frac{C_2}{C_2 + C_1} \times U_T$$

Sedangkan untuk besarnya tegangan jatuh pada saat *partial discharge* terjadi adalah

$$\Delta U_{C1} = \frac{C_2}{C_2 + C_1} \times U_{C1}$$

Dengan asumsi jika tegangan jatuh pada sampel pengujian adalah  $\Delta U_T$  maka

$$\Delta U_T = \frac{C_2}{(C_3+C_2)(C_2+C_1)} \times U_{C1}$$

Sehingga dapat diketahui besarnya nilai *partial discharge* yang terjadi pada rangkaian pengganti tersebut, yaitu

$$q_{C1} = \Delta U_{C1} \times \left[ C_1 + \frac{C_2 \times C_3}{C_2 + C_3} \right]$$

$$\Delta U_T = U_T \frac{C_2}{(C_3+C_2)(C_2+C_1)} \times \left[ C_1 + \frac{C_2 \times C_3}{C_2 + C_3} \right]$$

Dari rumus di atas diketahui bahwa besarnya *partial discharge*, dipengaruhi oleh tegangan terapan serta nilai kapasitas, dalam hal ini nilai kapasitansi dipengaruhi oleh keberadaan *void*, ukuran *void*, serta jenis bahan isolasi yang digunakan.

Dengan menggunakan menganalisis sederhana dimana :

$$Q = C \times V \dots \dots \dots \mathbf{2.1}$$

$$C = \frac{Q}{V}$$

Dengan,

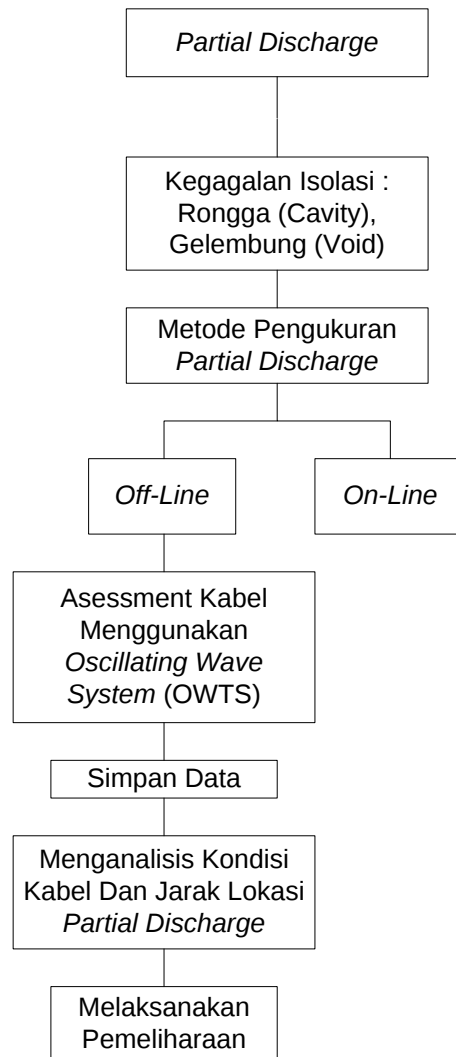
C= Kapasitansi bahan dielektrik (Farad)

Q= Muatan yang mengalir pada bahan dielektrik (Coloumb)

V=Tegangan yang diberikan pada bahan dielektrik (Volt)

Maka muatan yang mengalir, dalam hal ini *discharge* akan terjadi dengan pengaruh kapasitansi dan tegangan yang diaplikasikan. Besarnya kapasitansi merupakan kapasitansi total dari isolasi, dimana besarnya terdapat pengaruh dari void dan kontaminan lain dalam isolasi.

## 2.8 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.10 Alur Kerangka Pemikiran