

**ANALISA PENGUJIAN *JOINTING CABLE* DENGAN
TEGANGAN PENGENAL 12/20 (24) KV MENGGUNAKAN
TEGANGAN IMPULS DAN *PARTIAL DISCHARGE*
(suatu studi laboratorium di PT.PLN PUSLITBANG)**





**JHEFI ANGGRIAWAN
5115092506**


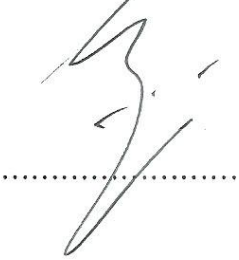
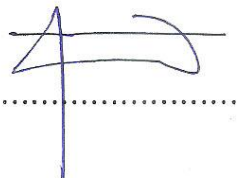
**Skripsi ini Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2015**

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Irzan Zakir, M.Pd (Dosen Pembimbing I)		2/7'15
Syufrijal, ST, MT (Dosen Pembimbing II)		2/7'15

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Wisnu Djatmiko, MT (Ketua Penguji)		13-7-2015
Drs. Readysal Monantun (Dosen Penguji)		02-07-2015
Drs. Faried Wadjidi, M.Pd, MM (Dosen Penguji Ahli)		1-7-15

Tanggal Lulus : 26 Juni 2015

ABSTRACT

JHEFY ANGGRIAWAN. Testing Analysis with Voltage Cable Jointing Identification 12/20 (24) kV Using Impulse Voltage and Partial Discharge (Laboratory Studies In Puslitbang Ketenagalistikan Duren Tiga - Jakarta).
Supervisor IRZAN ZAKIR and SYUFRIJAL.

This study aims to analyze the results of the testing of jointing cable to make it known that the cable connections are tested declared fit test and adjusted to standardize SPLN and IEC. The study was conducted in PT. PLN (Persero) Central Research Institute for Electrification Duren Tiga- Jakarta for 2 month. The method used in the study is the experimental method is to perform the test by PLN officials and researchers simply follow the test and observe the testing process by using the tools experimental test, partial discharge test set, and the impulse generator connection cable insulation material of the brand 3M and Raychem.

The first step taken was to making a connection with the sheath tube TM cable from the manufacturer and do some testing phase as voltage AC voltage, impulse voltage and partial discharge voltage. The results were then analyzed in order to insulation sheathing tube in wireline experience translucent/cracked and hold appropriate and feasible test SPLN and IEC standardization.

From the measurement and testing of partial discharge on jointing cable TM 20kV, there are measurement values before and after the rated voltage of $1,73U_0$ (20kV) the result is still under 10pC. Testing impulse voltage waveform generating positive polarity and negative polarity at the time $1.78\mu s$ face and tail time $48,92\mu s$ still in the category of standard criteria. It is stated that the level of resistance to sheath insulating material of cable jointing tube attached has SPLN and IEC standardization requirements.

Keywords: jointing cable, impulse voltage and partial discharge.

ABSTRAK

JHEFI ANGGRIAWAN. **Analisa Pengujian *Jointing Cable* dengan Tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Menggunakan Tegangan Impuls dan *Partial Discharge* (Studi Laboratorium Pada Puslitbang Ketenagalistikan Duren Tiga - Jakarta).** Pembimbing IRZAN ZAKIR dan SYUFRIJAL.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hasil pengujian *jointing cable* agar diketahui bahwa sambungan kabel yang diujikan dinyatakan layak uji dan disesuaikan dengan standarisasi SPLN dan IEC. Penelitian dilakukan di PT. PLN (Persero) Puslitbang Ketenagalistrikan Duren Tiga-Jakarta selama 2 bulan. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimen yaitu dengan melakukan pengujian oleh petugas PLN dan peneliti hanya mengikuti alur pengujian serta mengamati proses pengujian dengan menggunakan alat-alat uji eksperimen, test set *partial discharge*, generator impuls dan bahan isolasi sambungan kabel dari merk 3M dan Raychem.

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan penyambungan kabel TM dengan selubung tabung dari pabrikan dan dilakukan beberapa tahap pengujian seperti tegangan AC voltage, tegangan impuls dan tegangan *partial discharge*. Hasil pengukuran itu kemudian dianalisa agar bahan isolasi selubung tabung pada sambungan kabel tidak mengalami tembus/retak dan tahan serta layak uji sesuai standarisasi SPLN dan IEC.

Dari hasil pengukuran dan pengujian *partial discharge* pada *jointing cable* TM 20kV, terdapat nilai pengukuran sebelum dan sesudah diberi tegangan sebesar $1,73U_0$ setara (20kV) hasilnya masih dibawah 10pC. Pengujian tegangan impuls menghasilkan bentuk gelombang polaritas positif dan polaritas negatif pada waktu muka $1,78\mu s$ dan waktu ekor $48,92\mu s$ masih dalam kategori kriteria standar. Hal ini menyatakan bahwa tingkat ketahanan pada bahan isolasi selubung tabung *jointing cable* yang terpasang memiliki persyaratan standarisasi SPLN dan IEC.

Kata kunci : *Jointing cable*, tegangan impuls dan *partial discharge*.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala kekuatan dan rahmat yang diberikan olehNya peneliti mampu menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul “Analisa Pengujian *Jointing Cable* dengan Tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Menggunakan Tegangan Impuls dan Tegangan *Partia l Discharge* (Suatu Studi Laboratorium di PT. PLN Puslitbang)” sebagai persyaratan untuk meraih gelar sarjana pendidikan Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, yaitu kepada :

1. Bapak Wisnu Djatmiko, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Drs. Readysal Monantun, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Drs. Irzan Zakir, M.Pd,selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Syufrijal, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Suharto, ST, selaku Deputy Manager LaboratoriumPeralatan Penelitian Sistem Transmisi dan Distribusi.
6. Bapak Ir. Firman, Nano, dan Rohman sebagai staf penguji di laboratorium gedung 4 selaku pemberi materi dan pembimbing selama penelitian.
7. Kedua orang tuayang telah memberikan dukungan dan doa.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, untuk itu peneliti mohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dan kesalahan baik dari isi maupun tulisan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi yang membacanya

Peneliti,

Jhefi Anggriawan

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Perumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Kegunaan Penelitian	5
BAB II KERANGKA TEORISTIS DAN KERANGKA BERFIKIR	
2.1 Kerangka Teoritis	6
2.1.1 Deskripsi Umum Kabel	6
2.1.2 Kabel Tegangan Menengah 20 kV	7
2.1.2.1 Kabel Tegangan Menengah 20 kV	7
2.1.2.2 Konstruksi Kabel Tegangan Menengah 20 kV	7
2.1.3 Penandaan Kabel	11
2.1.4 Sambungan Kabel (<i>Jointing Cable</i>)	12
2.1.4.1 Jenis-jenis Sambungan Kabel	14
2.1.4.2 Sambungan Dengan Isolasi Pita	15
2.1.4.3 Sambungan <i>Heat Shrink</i> dengan <i>Stress Control</i>	16

2.1.4.4 Sambungan <i>Cold Shrink</i>	17
2.1.5 Konstruksi Konektor.....	21
2.1.6 Dasar-dasar Pengujian	22
2.1.7 Definisi Pengujian Menurut SPLN.....	23
2.1.8 Luahan Parsial (<i>Partial Discharge</i>).....	24
2.1.8.1 Pengertian Luahan Parsial (<i>Partial Discharge</i>).....	24
2.1.8.2 Mekanisme <i>Partial Discharge</i>	28
2.1.8.3 Prinsip Pengukuran Debit Parsial	29
2.1.8.4 Pengujian Luahan Parsial (<i>Partial Discharge</i>).....	30
2.1.8.5 Standar Pengujian <i>Partial Discharge</i>	33
2.1.8.6 Kondisi Pengujian <i>Partial Discharge</i>	33
2.1.9 Tegangan Impuls	34
2.1.9.1 Pengujian Tegangan Impuls.....	34
2.1.9.1 Generator Impuls.....	39
2.1.9.2 Standar Pengujian Tegangan Impuls.....	40
2.2 Kerangka Berfikir	40

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	42
3.2 Metode Penelitian.....	42
3.3 Teknik Pengumpulan Data	42
3.3.1 Eksperimen Lapangan	43
3.3.2 Wawancara	43
3.4 Rancangan Penelitian	43
3.5 Instrumen Penelitian.....	44
3.6 Prosedur Penelitian.....	45
3.6.1 Persiapan Sambungan Kabel.....	45
3.6.2 Pelaksanaan Sambungan Kabel.....	45
3.6.3 Persiapan Pelaksanaan Pengujian	52
3.6.4 Pelaksanaan Pengujian	53
3.7 Teknik Pengambilan Data.....	54

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian..... 56

4.2 Pembahasan dan Analisa 63

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 67

5.2 Saran 67

DAFTAR PUSTAKA 69

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konstruksi Kabel TM 20 kV Standar SPLN 43-5-4:1995	10
Tabel 2.2 Penandaan Kabel	11
Tabel 2.3 Standar Tegangan Impuls di beberapa Negara.....	37
Tabel 3.1 Pelaksanaan Pengujian	53
Tabel 3.2 Hasil Pengujian AC Voltage	54
Tabel 3.3 Hasil Pengujian <i>Partial Discharge</i> sebelum diberi tegangan	54
Tabel 3.4 Hasil Pengujian Tegangan Impuls.....	55
Tabel 3.5 Hasil Pengujian <i>Partial Discharge</i> sesudah diberi tegangan	55
Tabel 4.1 Hasil Uji Pengujian <i>Partial Discharge</i> sebelum diberi tegangan	58
Tabel 4.2 Hasil Uji Pengujian Tegangan Impuls pada polaritas positif.....	59
Tabel 4.3 Hasil Uji Pengujian Tegangan Impuls pada polaritas negatif.....	60
Tabel 4.4 Hasil Uji Pengujian Tegangan Impuls	61
Tabel 4.5 Hasil Uji Pengujian <i>Partial Discharge</i> sesudah diberi tegangan	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi kabel dengan tiga inti	8
Gambar 2.2 Sambungan kabel TM berinti tiga	14
Gambar 2.3 Sambungan kabel berinti satu (<i>single core</i>).....	17
Gambar 2.4 Sambungan kabel berinti tiga (<i>three core</i>)	17
Gambar 2.5 Sampel komponen utama untuk sambungan kabel.....	18
Gambar 2.6 Selongsong tabung sudah terpasang pada kabel 20 kV	18
Gambar 2.7 Selongsong tabung jeniskaret EPDM.....	20
Gambar 2.8 <i>Partial discharge</i> saat terjadinya <i>void</i>	28
Gambar 2.9 Rangkaian test pengujian <i>partial discharge</i>	31
Gambar 2.10 Bentuk gelombang tegangan impuls.....	34
Gambar 2.11 Bentuk gelombang tegangan impuls berdasarkan standar IEC	36
Gambar 2.12 Standar tegangan impuls waktu muka (Tf) dan waktu ekor (Tt)....	38
Gambar 2.13 Rangkaian generator RLC	39
Gambar 3.1 Penempatan selongsong.....	45
Gambar 3.2 Pemasangan konektor	46
Gambar 3.3 Pemasangan minyak silikon dan mastik merah	46
Gambar 3.4 Pemasangan pita mastik kuning.....	47
Gambar 3.5 Pemakaian minyak silikon	47
Gambar 3.6 Pemasangan selongsong pengendali stress	47
Gambar 3.7 Pemasangan pita mastik pendek	48
Gambar 3.8 Pemakaian selongsong isolasi.....	48
Gambar 3.9 Pemasangan selongsong isolasi semi-konduktif.....	49
Gambar 3.10 Kabel dengan tape shield.....	49
Gambar 3.11 Jaring screen tembaga	50
Gambar 3.12.Armour pelindung mekanik	50
Gambar 3.13 Pemasangan lembaran pelindung luar.....	50
Gambar 3.14 Tahap akhir (<i>finishing</i>).....	50
Gambar 3.15 <i>Partial discharge tes set</i>	52

Gambar 3.16 Generator Impuls.....	52
Gambar 3.17 Alat untuk pembaca tahanan pada kabel.....	53
Gambar 4.1 Grafik polaritas positif waktu muka dan waktu ekor	60
Gambar 4.2 Bentuk gelombang polaritas positif pada waktu muka (T_f) kiri dan Waktu ekor (T_t) kanan.....	61
Gambar 4.3 Grafik polaritas negatif waktu muka dan waktu ekor	62
Gambar 4.4 Bentuk gelombang polaritas negatif pada waktu muka (T_f) kiri dan waktu ekor (T_t) kanan.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Daftar pertanyaan untuk instruktur penelitian	71
Lampiran 2 Foto dokumentasi penelitian	72
Lampiran 3 Spesifikasi data pengujian <i>jointing cable</i>	74
Lampiran 4 Data hasil penelitian dan pengujian	76
Lampiran 5 Surat permohonan penelitian dari BAAK.....	77
Lampiran 6 Surat izin penelitian dari PT.PLN (Persero) Puslitbang	78
Lampiran 7 Surat telah selesai penelitian dari PT.PLN (Persero) Puslitbang	79
Lampiran 8 Surat tugas dosen pembimbing	80
Lampiran 9 Standar-standar SPLN dan IEC	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan suatu kebutuhan penting bagi manusia dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Listrik menjadikan manusia ketergantungan akan keberadaannya, tidak dapat dipungkiri bahwa listrik merupakan tenaga yang dibutuhkan bagi manusia dalam segala hal yang mendukung aktifitas manusia.

Suatu perusahaan besar sebagai penyedia listrik untuk masyarakat adalah PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara), dimana perusahaan listrik milik negara ini telah banyak memberikan kontribusi yang besar dalam memasok energi listrik untuk masyarakat. Untuk menjamin kelangsungan penyaluran tenaga listrik yang semakin meningkat, diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang handal dan pelayanan yang memadai.

PT. PLN memiliki 2 sistem tenaga listrik dengan daya penyaluran 20 kV yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). Saluran udara tegangan menengah merupakan penyaluran daya listrik melalui kawat-kawat yang digantungkan pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator, sedangkan saluran kabel bawah tanah (*underground cable*) merupakan saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam di dalam tanah.

Kabel bertegangan menengah 20 kV sering mengalami gangguan, biasanya gangguan ini terjadi pada titik sambungan kabel (*Jointing cable*). Gangguan *jointing cable* yang ditanam di bawah tanah disebabkan oleh kejadian yang tak terduga, misalnya bila air memasuki titik sambungan pada *jointing* kabel akan terjadi suatu gangguan *self-clearing* secara berturut-turut yang akan berdampak gangguan yang permanen pada *jointing*. Walaupun letaknya di bawah tanah namun tidak dapat dipungkiri gangguan bisa saja terjadi.

Penggunaan *jointing* banyak mengandung kelemahan-kelemahan yang tidak bisa dihindarkan, sehingga kualitas *jointing* tergantung pada desain dan bahan isolasi pembuatannya serta keahlian *jointer* dan peralatan *joint*¹. Meskipun *jointing* terpasang dengan benar tidak dapat dipungkiri akan terjadi gangguan dikarenakan bahan isolasi *jointing* lebih tebal dibanding isolasi kabelnya, sehingga akan menaikkan termal resistivitas pada bagian *jointing*. Termal resistivitas yang lebih tinggi pada *jointing* akan menjadikan sambungan kabel sebagai tempat titik panas tertinggi².

Gangguan di saluran kabel tegangan menengah 20 kV pada titik *jointing* itu terjadi karena tidak sesuai dengan prosedur pelaksanaan dalam penyambungan kabel (*jointing cable*) yang sudah ditetapkan oleh SPLN. Pengujian *jointing cable* biasanya dilakukan beberapa tahap dalam proses pengujiannya, diantaranya ada tahap pengujian AC voltage, tegangan impuls dan *partial discharge*. Pengujian ini dilakukan oleh para *jointer* yang

¹ Aris Munandar, dkk, *Investigasi Penyebab Gangguan dan Kaji Ulang Spesifikasi Jointing SKTM 20 kV*, PT. PLN (Persero) Litbang, 2008. H. 1

² *Ibid*, h.2

memiliki keahlian khusus serta memiliki sertifikat pabrikan. Mekanisme penyambungan *jointing cable* dan pengujian bisa dinyatakan layak uji pada saat semua tahap pengujian dilakukan semua dengan baik dan hasilnya memenuhi persyaratan sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan. Maka dari itu, penulis ingin mengambil tema mengenai pengujian *jointing cable* dengan menggunakan pengujian tegangan impuls dan *partial discharge*.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, ada beberapa masalah yang dapat diidentifikasi, yaitu :

1. Apa sajakah tahap-tahap *jointing* kabel tegangan menengah 20 kV dengan mengacu pada standarisasi SPLN ?
2. Bagaimanakah proses pengujian *Jointing cable* dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge* sesuai standar SPLN dan IEC ?
3. Faktor apa sajakah yang mengakibatkan tidak layak uji dalam pengujian *jointing cable* dengan standarisasi SPLN dan IEC ?
4. Usaha apa sajakah yang dilakukan oleh Pihak PT.PLN Puslitbang dalam menangani pengujian *jointing cable* agar lulus uji serta memenuhi standarisasi SPLN dan IEC?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka pada penelitian ini masalah dibatasi pada masalah yang berhubungan dengan pengujian *jointing cable* dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge* serta mengacu pada standarisasi SPLN dan IEC.

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:
Bagaimanakah mekanisme pengujian *jointing cable* dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge* sudah mengacu pada SPLN dan IEC ?

1.1. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa tujuan yang ingin diperoleh. Berikut merupakan tujuan dari penelitian ini :

1. Untuk memperoleh data pengujian kabel bertegangan menengah 20 kV terhadap proses penyambungan kabel dengan menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge* serta mengacu pada standar SPLN dan IEC
2. Untuk mencari solusi dalam menangani gangguan pada sambungan *jointing cable* saat proses pengujian dilakukan.
3. Untuk menambah wawasan bagi para jointer agar dalam penanganan mengenai *jointing cable* harus lebih teliti.

1.5 Kegunaan Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan masukan bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro untuk dapat mengaplikasikan ilmu yang didapat untuk terjun ke dunia kerja yang relevan.
2. Menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang mekanisme pengujian *jointing cable* pada kabel tegangan menengah 20 kV dengan menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge*.
3. Diharapkan hasil penelitian ini dapat berguna bagi para *jointer* dalam menangani proses penyambungan kabel tegangan menengah 20 kV dan pihak PT.PLN Puslitbang bagian pengujian produk ketika pengujian agar selalu disesuaikan dengan standarisasi SPLN dan IEC.

BAB II

KERANGKA TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR

2.1 Kajian Teoritis

2.1.1 Deskripsi Umum Kabel

Kabel dalam bahasa Inggris disebut *cab*le merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari satu tempat ke tempat lain.³ Kabel sudah tidak asing lagi bagi pengguna listrik, kabel banyak ragamnya dari bertegangan rendah, menengah sampai tegangan ekstra tinggi serta bahan isolasinya pun berbeda-beda. Selama kabel terbuat dari bahan-bahan isolasi plastik, kabel akan terus berkembang dalam dunia kelistrikan, dan akan ada tambahan jenis kabel yang baru.

Kabel listrik terdiri dari kawat-kawat penghantar yang digunakan sebagai media penghantar tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke peralatan yang menggunakan tenaga listrik atau menghubungkan suatu peralatan listrik ke peralatan listrik lainnya.

Kawat adalah suatu penghantar pasif (*single solid conductor*) atau beberapa buah yang tergabung menjadi satu dan terbungkus oleh bahan isolasi. Sedangkan Kabel adalah penghantar listrik 2 atau lebih yang terbungkus bahan isolasi yang terpisah satu sama lainnya, kemudian bersama-sama terbungkus isolasi (*multi conductor cable*).

³ <http://id.wikipedia.org/wiki/Kabel>

2.1.2 Kabel Tegangan Menengah 20 kV

2.1.2.1 Kabel Tegangan Menengah 20 kV

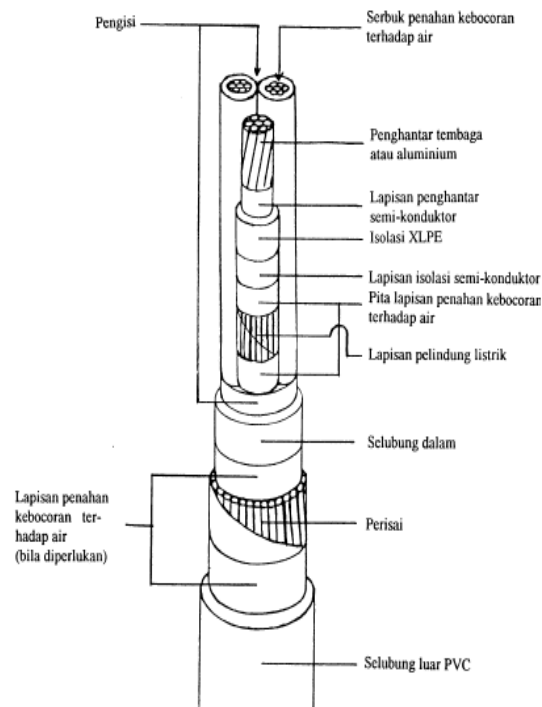
Kabel tegangan menengah adalah satu atau beberapa bagian hantaran yang berisolasi, berpelindung mekanis dan berselubung luar yang dalam penggunaannya ditanam/dipasang di dalam tanah. (PLN Operasi & Pemeliharaan Jaringan Distribusi, 1995:01)

Kabel bertegangan menengah 20kV ada yang terpasang di udara yang dibantu oleh tiang-tiang listrik dan ada yang ditanam didalam tanah. Kabel TM 20kV memiliki inti kabel yang terbuat dari aluminium dan tembaga. Inti kabel terdiri dari penghantar phase, pelindung penghantar, isolator kabel, pelindung isolator, netral dan lapisan pembungkus. Jenis kabel yang biasa digunakan kabel daya (*power cable*) yang berwarna merah.

Jenis kabel tegangan menengah ada tiga jenis diantaranya *Poly Vinil Chlorida (PVC)*, *Polyethelene (PE)*, dan *crosslinked polyethelene (XLPE)*.

2.1.2.2 Konstruksi Kabel Tegangan Menengah 20 kV

Secara umum konstruksi kabel tegangan menengah 20 kV terdiri dari komponen konduktor, isolasi skreen, konsetrik netral, pelindung mekanis (*armouring*), dan selubung luar (*jacket*). Contoh konstruksi kabel tegangan menengah dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Konstruksi kabel dengan tiga inti⁴

Komponen-komponen pada kabel 20 kV terdiri dari :

1. Penghantar

Penghantar merupakan bagian utama dari kabel, yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Penghantar yang digunakan biasanya dipilih berdasarkan sifat materialnya, diantaranya mempunyai daya hantar listrik (konduktivitas) yang tinggi dan tahanan jenis (resistivitas) yang rendah. Besarnya tahanan jenis suatu penghantar dapat ditentukan dengan rumus :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Dimana : A = luas penampang penghantar (mm^2)

L = panjang penghantar (m)

R = tahanan penghantar (Ω)

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

⁴ Aris Munandar, dkk, *Investigasi Penyebab Gangguan dan Kaji Ulang Spesifikasi Jointing SKTM 20 kV*, PT. PLN (Persero) Litbang, 2008. h.4

2. Isolasi

Isolasi terdiri dari bahan *crosslinked polyethelene* (XLPE) yang merupakan bahan isolasi jenis thermosset yang dibentuk dari bahan dasar kompon *polyethylene* (PE) dengan ditambah bahan *crosslinking agent*. Dengan proses *crosslinking* bahan isolasi PE yang mempunyai suhu kerja maksimum 70°C dapat menjadi bahan isolasi XLPE yang mempunyai suhu kerja maksimum 90°C dan suhu kerja *emergency* maksimum 130°C secara komulatif selama 1500 jam dalam masa operasi kerja.⁵

3. Isolasi skreen

Isolasi skreen adalah lapisan bahan *thermosetting* semikonduktor yang diekstrusi di permukaan luar isolasi kabel. Isolasi skreen berfungsi untuk membatasi *interference* dari luar, untuk menyekat medan listrik pada inti kabel, melindungi isolasi terhadap tegangan *induced* dan menyalurkan arus balik ke tanah bila terjadi gangguan phase ke phase atau phase ke tanah.

4. Metalik skreen / Konsentrik netral

Konsektrik netral harus terdiri dari komponen netral yang berupa pita, kawat, atau kombinasi pita dengan kawat, komponen metal konsektrik netral harus kontak dengan isolasi skreen. Luas penampang harus memadai untuk dapat menampung arus netral atau arus nol pada kondisi terjadi gangguan pada sistem.

⁵Ibid,h.4

5. Selubung luar (*Jacket*)

Selubung luar sebagai pelindung elektris, mekanis, thermal, kimia, dan lingkungan pada komponen kabel, yang berada didalam sekubung luar. Selubung luar kabel tenaga TM 20 kV terdiri dari bahan *Polyvinyl chloride* (PVC) atau *Polyethylene* (PE).⁶

Selubung luar kabel harus berwarna merah. Pada permukaan selubung luar harus diberi tanda pengenal dengan cetak timbul yang jelas, tidak mudah terhapus, dengan jarak antara tidak melebihi 50 cm.

Mengenal konstruksi kabel TM 20 kV dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Konstruksi Kabel TM 20 kV standar SPLN43-5-4:1995⁷

1	2	3	4	5	6	7
Jumlah inti, luas penampang dan konstruksi penghantar/luas penampang lapisan pelindung listrik	Tebal isolasi nominal	Diameter luar isolasi		Tebal lapisan pembungkus inti		Tebal selubung nominal
		min.	maks.	ekstrusi	pita	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3 x 35 cm/16	5,5	19,0	21,5	1,6	0,6	3,4
3 x 50 cm/16	5,5	20,2	22,7	1,6	0,6	3,5
3 x 70 cm/16	5,5	21,9	24,4	1,6	0,6	3,6
3 x 95 cm/16	5,5	23,5	26,0	1,8	0,6	3,7
3 x 120 cm/16	5,5	25,0	28,0	1,8	0,6	3,8
3 x 150 cm/25	5,5	26,5	29,5	1,8	0,6	3,9
3 x 185 cm/25	5,5	28,1	31,1	1,8	0,6	4,1
3 x 240 cm/25	5,5	30,6	33,6	1,8	0,6	4,3
3 x 300 cm/25	5,5	32,6	35,6	2,0	0,6	4,4
3 x 400 cm/35	5,5	35,8	38,8	2,0	0,6	4,6

⁶Ibid,h.4

⁷ Diklat SPLN

2.1.3 Penandaan Kabel

Menggunakan kode pengenal dari masing-masing bahan pada kabel dimulai dari bagian paling dalam (inti) sampai bagian paling luar (selubung luar). Penandaan kabel dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Penandaan Kabel

Kode	Uraian
N	Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
NF	Kabel udara dengan inti terbuat dari tembaga
NA	Kabel jenis standar dengan alumunium sebagai penghantar
NFA	Kabel udara dengan inti terbuat dari alumunium
2X	Isolasi XLPE (poliethylene ikat silang)
SE	Lapisan logam tembaga pada masing-masing inti
Y	Selubung dalam PVC
2Y	Selubung luar PE (<i>poliethylene</i>)
Y	Selubung luar PVC
FGb	Perisai kawat baja galvanis pipih
RGb	Perisai kawat baja galvanis bulat
B	Perisai pita baja galvanis

Penandaan kode pengenal dilengkapi dengan jumlah inti, luas penampang penghantar serta tegangan pengenal (U_0/U).⁸

Kabel yang dipakai menggunakan kabel tipe NA2XSEYBY, berarti kabel berkonduktor alumunium dengan isolasi XLPE, dengan lapisan PE, menggunakan lapisan dalam dan luar PVC serta perisai pita baja galvanis. Selain itu, pada kabel TM ini terdapat tegangan

⁸PLN, *kabel tanah inti taiga. Berperisai xlpe dan berselubung pe/pvc dengan atau tanpa perisai tegangan pengenal 3,6/6 (7,2) kV s/d 12/20 (24) kV*, PT. PLN (Persero), 1995. Hlm.3

pengenal 12/20 (24) kV, yang bila berdasarkan SPLN dapat diterjemahkan dengan tanda huruf U_0/U (U_m) yang memiliki arti sebagai berikut :

U_0 : Tegangan yang diukur antara penghantar dan bumi atau netral.

U : Tegangan yang diukur antar masing-masing penghantar.

U_m : Tegangan sistem maksimum dimana kabel dipasang.

2.1.4 Sambungan Kabel (*Jointing Cable*)

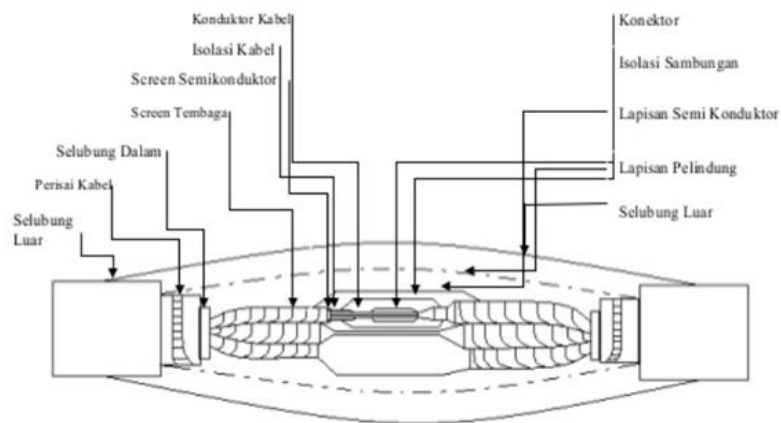
Sambungan Kabel (*Jointing cable*) adalah merupakan aksesoris jenis sambungan kabel yang berfungsi untuk menyambungkan kembali kabel yang terputus (mengembalikan fungsi dan sifat kabel seperti semula dengan material aksesoris dimaksud), perlu adanya pemahaman jenis kabel yang akan disambung untuk menyesuaikan jenis/tipe sambungan yang diperlukan supaya lebih tepat.⁹

Memiliki berbagai macam bentuk atau tipe, jenis, dan ukuran mengikuti ukuran yang disesuaikan dengan kabel misalnya kabel Tegangan Menengah atau Tegangan Tinggi, keterangan ini sangat diperlukan untuk menentukan jenis aksesoris yang dipakai untuk menghindari kesalahan pemasangan yang akan mengakibatkan gangguan pada jaringan.

⁹ <http://www.detonmitraperdana.com/id/id/layanannya/generalsupplier/terminasidansambungankabel.aspx> (diunduh tanggal 27 juni 2015)

Jointing adalah sambungan atau pertemuan dua ujung potongan kabel yang dilengkapi dengan pengendalian medan listrik pada kedua ujung kabel tersebut. Dengan kata lain, Sambungan kabel adalah penyambungan antara dua penghantar kabel yang terpisah dengan tujuan agar kedua penghantar tersebut bersatu sehingga kabel dapat bekerja seperti sebelum dilakukan sambungan. Sambungan kabel ini dibutuhkan karena panjang kabel yang terbatas, pencabangan untuk konsumen baru dan perbaikan di tempat yang rusak.

Dalam persiapan penyambungan kabel secara normal diperlukan pengupasan lapisan isolasi skreen pada jarak yang sudah ditetapkan SPLN sehingga yang tersisa hanya isolasinya saja. Proses penyambungan yang dilakukan diperlukan juga pengoperasian isolasi. Untuk pemasangan konektor dan mengembalikan kembali fungsi isolasi serta fungsi isolasi skreen dengan cara menyambungkan isolasi skreen ke isolasi skreen kedua kabel yang disambungkan. Karena *jointing* merupakan bentuk pengganti (lengkapan) kabel yang pemasangan sebagian besar komponennya berada di lapangan maka kondisi tersebut akan merupakan titik paling lemah dari suatu rangkaian listrik secara keseluruhan. Dibawah ini contoh gambar konstruksi umum sambungan kabel tegangan menengah 20 kV berinti tiga. Dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Sambungan kabel TM berinti tiga¹⁰

2.1.4.1 Jenis-jenis Sambungan Kabel

Teknologi sambungan semakin hari semakin berkembang dengan adanya kemajuan teknologi itu sendiri baik dari bahan pembuatannya maupun dari sistem penyambungan. Berbagai macam ukuran sambungan akan terus dibuat untuk mendapatkan integritas teknik yang baik.

Ada beberapa jenis sambungan yang berbeda-beda, baik jenis dan penerapan teknologi isolasinya, antara lain :

- a) Isolasi Pita
- b) *Heat-shrink* (panas)
- c) *Cold shrink* (dingin)

Jenis sambungan dapat dibagi lagi menjadi dua bagian antara lain::

- 1) Sambungan untuk dua kabel yang sama (XLPE-XLPE)
- 2) Sambungan transisi (*hetero joint*) untuk dua kabel yang berlainan

¹⁰PLN, *kabel tanah inti taiga. Berperisai xlpe dan berselubung pe/pvc dengan atau tanpa perisai tegangan pengenal 3,6/6 (7,2) kV s/d 12/20 (24) kV*, PT. PLN (Persero), 1995. Hlm.3

Berdasarkan inti kabel yang akan disambung, sambungan dibagi menjadi

1. Sambungan untuk kabel berinti satu
2. Sambungan untuk kabel berinti tiga

Berdasarkan analisa di lapangan jenis sambungan yang sering dijumpai dan banyak dipakai adalah sambungan untuk kabel berinti tiga.

Jointing cable memiliki beberapa kriteria dalam proses penyambungan kabel dilapangan/laboratorium, diantaranya :

- 1) Ketika dipasang konektor pada titik sambungannya harus dipress secara sempurna (sesuai dengan standar PLN),
- 2) Pita mastik isolasi harus dililitkan dengan baik dan bersih supaya tingkat ketebalannya merata,
- 3) Instalasi yang diberikan dalam pengujian pada bahan *jointing* tersebut harus terpacu pada standarisasi IEC.

2.1.4.2 Sambungan dengan isolasi pita

Sambungan dengan isolasi pita adalah dengan cara pengendalian distribusi medan listrik di dalam *jointing* dengan metode *stress cone*. Garis-garis medan listrik didistribusikan secara uniform, agar dapat diperoleh pengurangan stress di dalam *jointing* ke level yang disyaratkan agar umur operasi dapat lebih panjang.

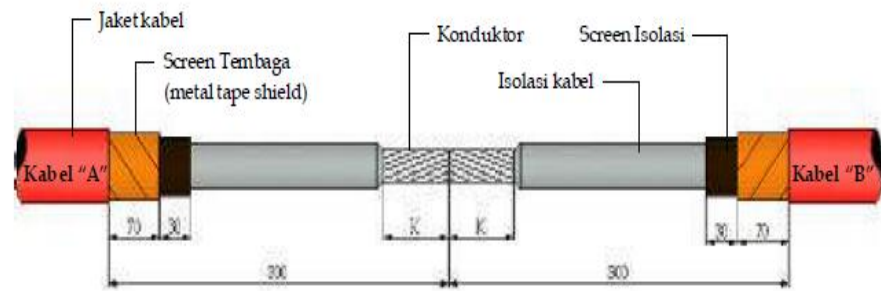
Isolasi *jointing* diperoleh dengan cara membelitkan pita yang terbuat dari bahan dasar *rubber*. Disamping sebagai bahan isolasi yang harus baik pita harus mempunyai beberapa sifat diantaranya :

1. Daya lekat sangat baik
2. Modulus elastisitas tarik dan ketahanan stress relaksasi baik
3. Deformasi termal kecil

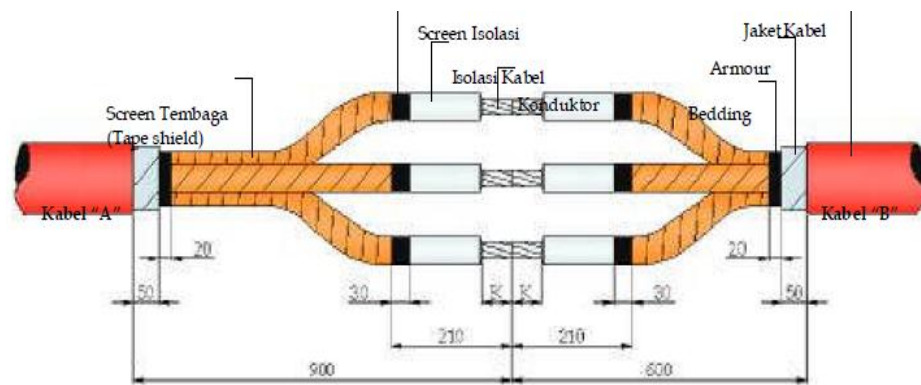
Cara pembentukan isolasi pita dengan membelitkan pita dengan disertai tarikan dan perenggangan pita isolasi. Kekuatan tarik akibat tegangan pita isolasi akan menimbulkan kekuatan tekan yang akan menyatukan satu pita dengan pita lainnya sehingga dengan demikian dapat dihindarkan terjadinya rongga (*void*).

2.1.4.3 Sambungan *Heat-shrink* dengan metode *stress control*

Sambungan (*Jointing*) dengan metode *stress control* adalah dengan cara mengendalikan distribusi medan listrik di dalam *jointing* seperti yang dilakukan pada terminasi. Garis-garis medan listrik di distribusikan secara uniform, agar dapat diperoleh pengurangan stress di dalam *jointing* ke level yang disyaratkan agar umur operasi dapat lebih panjang. Hal ini dapat dicapai dengan cara penggunaan bahan bersifat resistive dan capacitive dalam bentuk tabung *heat-shrink* dan bahan peredam stress (*stress relief materia*). Perhatikan contoh pada gambar 2.3 dan gambar 2.4



Gambar 2.3 Sambungan kabel berinti satu (*single core*)



Gambar 2.4 Sambungan kabel berinti tiga (*three core*)

2.1.4.4 Sambungan *Cold-shrink*

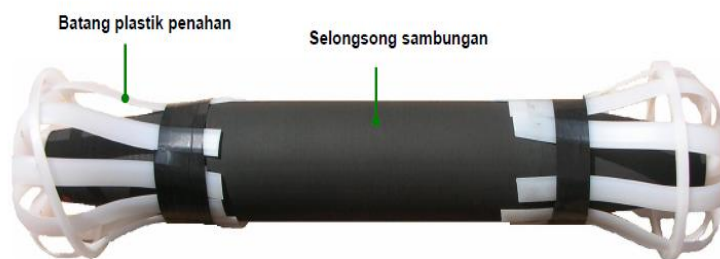
Cold shrink (dingin menyusut) merupakan lengan terbuka berakhir karet, terutama yang terbuat dari elastomer karet dengan sifat fisik kinerja tinggi, yang telah diperluas pabrik atau pra-membentang dan dirakit ke inti plastik dilepas mendukung. Dingin menyusut tabung menyusut pada penghapusan dari inti yang mendukung selama proses instalasi dan listrik yang slide tabung melalui kabel yang akan dihentikan dan terurai inti, menyebabkan tabung runtuh ke bawah atau di tempat.

Dingin menyusut tabung (*Cold-shrink tubing*) digunakan untuk melindungi kabel, koneksi, sendi dan terminal dalam

pekerjaan listrik. Hal ini juga dapat digunakan untuk memperbaiki kabel, bundel kabel bersama-sama, dan untuk melindungi kabel atau bagian-bagian kecil dari abrasi ringan.¹¹

Dibawah ini salah satu komponen utama dalam proses sambungan kabel dengan cara *cold shrink* pada kabel tegangan menengah 20 kV yang biasa dilakukan oleh para jointer dari pabrikan. Dapat dilihat pada gambar 2.5 dan gambar 2.6

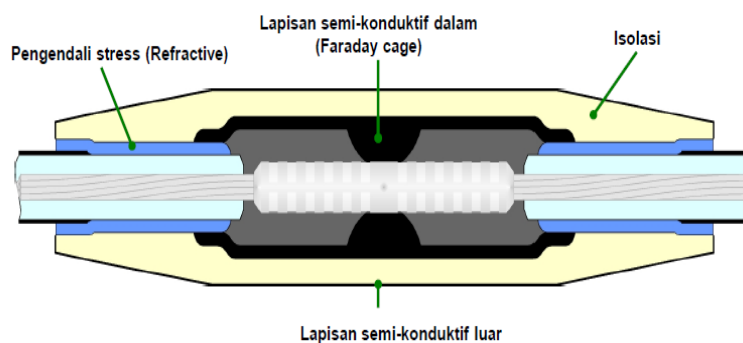
Komponen utama sambungan kabel 24kV.



Selongsong Sambungan

Gambar 2.5 Sampel komponen utama untuk sambungan kabel

Selongsong Sambungan



Gambar 2.6 Selongsong tabung sudah terpasang pada kabel 20 kV

¹¹ www.Wikipedia.org/wiki/cold_shrink_tubing (diunduh tanggal 26 maret 2014)

Sambungan dengan cara *cold shrink* dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- a. Produksi: Injection molding (*Pre-molded*)
- b. EPDM (*ethylene propylene diene monomer*)
- c. karet silikon (*Silicon rubber*)

1. Produksi Injection moulding (*Pre-moulded*)

Selongsong sambungan terdiri dari 3 lapisan (kontrol stress, Isolasi dan lapisan semi-konduktif) dibuat di Pabrik melalui alat proses injeksi moulding. Selongsong sambungan terbuat dari bahan:

a) EPDM (*ethylene propylene diene monomer*)

jenis karet sintetis, merupakan elastomer yang ditandai oleh berbagai aplikasi. Tipe M mengacu pada klasifikasi dalam standar ASTM D-1418; kelas M mencakup karet memiliki rantai jenuh jenis polimetilena. Dena saat ini digunakan dalam pembuatan karet EPDM adalah *disiklopentadiena* (DCPD), *norbornena ethylidene* (ENB), dan *vinil norbornena* (VNB). Karet EPDM berkaitan erat dengan karet etilena propilena (*ethylene propylene* karet adalah kopolimer etilena dan propilena, sedangkan EPDM karet adalah terpolymer etilena, propilena, dan diena-komponen).¹² Material selongsong

¹²http://en.wikipedia.org/wiki/EPDM_rubber (Diunduh tanggal 26 maret 2014)

terbuat dari bahan karet sintesis. Contoh selongsong tabung untuk *jointing cable* dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Selongsong tabung Jenis karet EPDM ¹³

b) Silikon karet (*Silicon rubber*)

Material selongsong terbuat dari bahan karet silikon, pajaknya ulasan sangat *Fleksibel*, sehingga satu tipe selongsong sambungan dapat dipakai untuk beberapa ukuran kabel.

2.Sistem pengiriman / metode instalasi

Selongsong sambungan yang terdiri dari 3 lapisan (*three in one*) dan diproduksi secara "Pre-dibentuk", kemudian dikemas sedemikian sehingga dalam, pemasangannya mempunyai 2 cara yaitu:

1). *Push-on / Slip-on*

Selongsong sambungan dengan ukuran aslinya dipasang pada sambungan kabel dengan cara didorong. Untuk menghindari gesekan dengan kabel, biasanya selongsong

¹³ Ibid.

sambungan dilengkapi dengan bahan/alat lain yang dipasang pada bagian dalam selongsong sambungan, dan dilepas setelah selongsong sambungan berada pada posisi akhirnya. Untuk memudahkan dorongan, biasanya digunakan cairan atau pelumas silikon.

2). *Pre-expanded / Cold-shrink*

Selongsong sambungan diregangkan sedemikian sehingga diameter selongsong sambungan menjadi jauh lebih besar dari diameter aslinya, kemudian ditopang/diganjal dengan bahan/alat lain. Bahan/alat lain tersebut dilepas setelah selongsong sambungan ditempatkan di posisi akhir sehingga selongsong mengerut dan “memegang” sambungan kabel.

2.1.5 Konstruksi konektor

Konektor adalah peralatan listrik yang didesain untuk mengalirkan arus listrik melalui sambungan yang dapat dipisahkan dan juga bisa menimbulkan rugi listrik akibat adanya resistansi kontak. Dalam hal ini ada dua jenis resistansi pada sambungan tersebut, yakni resistansi bahan (*bulk resistans*) dan resistansi kontak.

Resistansi bahan merupakan resistansi dari material penghantar dimana arus listrik dialirkan, nilai resistansi bahan akan selalu konstan. Sedangkan resistansi kontak adalah variable resistans yang terbentuk

pada sambungan antara dua permukaan kontak dan terbentuk dari resistansi akibat desakan/gaya dan resistansi film, yang tergantung pada kekuatan/gaya kontak antara dua permukaan di dalam kontak.

2.1.6 Dasar-dasar Pengujian

Pada umumnya kegagalan alat-alat listrik pada waktu sedang dipakai disebabkan karena kegagalan isolasinya dalam menjalankan fungsinya. Kegagalan isolasi (*insulation, breakdown, insulation failure*) ini disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah dipakai untuk waktu yang lama, kerusakan mekanis, berkurangnya kekuatan dielektriknya, dan arena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Dalam hubungan ini pengujian tegangan tinggi dapat dimaksudkan untuk :

1. Menemukan bahan (didalam atau yang menjadi komponen suatu alat tegangan tinggi) yang kualitasnya tidak baik, atau cara membuatnya salah.
2. Memberikan jaminan bahwa alat-alat listrik dapat dipakai pada tegangan normalnya untuk waktu yang tak terbatas.
3. Memberikan jaminan bahwa isolasi alat-alat listrik dapat tahan terhadap tegangan lebih (yang didapati dalam praktek operasi sehari-hari) untuk waktu terbatas.¹⁴

¹⁴Aris munandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT.Pradnya paramita, 2008. Hlm. 6-7

Pengujian yang sifatnya tidak merusak, misalnya adalah pengukuran tahanan isolasi, pengukuran factor daya dielektrik, pengukuran korona. Pengujian yang sifatnya merusak terbagi menjadi tiga tahap yang dipengaruhi tingkat tegangan yaitu :

1. Pengujian ketahanan (*withsand test*) : sebuah tegangan tertentu diterapkan untuk waktu yang ditentukan. Bila tidak terjadi lompatan api maka pengujiannya dianggap memuaskan.
2. Pengujian pelepasan (*discharge test*) : tegangannya dinaikkan sehingga terjadi pelepasan muatan pada benda yang diuji. Pengujiannyadilakukan dalam keadaan kering maupun basah.
3. Pengujian kegagalan (*breakdown test*) : tegangan dinaikkan sampai terjadi kegagalan di dalam benda yang sedang di uji coba.

2.1.7 Definisi Pengujian Menurut SPLN 43-5-4 1995

1. Uji jenis (J)

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

2. Uji rutin (R)

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

3. Uji contoh (C)

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

4. Uji khusus (K)

Uji khusus ialah pengujian yang dilakukan secara khusus terhadap setiap panjang produksi kabel tertentu untuk memeriksa apakah kabel yang diproduksi mempunyai mutu yang sama dengan hasil pengujian jenis.

2.1.8 Luahan Parsial (*Partial Discharge*)

2.1.8.1 Pengertian Luahan Parsial

Partial Discharge menurut definisi IEEE adalah terjadinya peluahan listrik (*electrical discharge*) tidak lengkap atau sebagian yang terjadi antara material isolasi dengan konduktor atau didalam material isolasi. *Partial Discharge* tidak menjembatani dua konduktor. *Discharge* (peluahan) yang menjembatani dua konduktor disebut *full discharge* yang berarti material isolasi diantara kedua konduktor tersebut telah rusak atau tembus. Definisi lain menurut IEC 60270 *Partial discharge* (PD) adalah "muatan listrik lokal yang hanya sebagian menjembatani insulasi antara

konduktor dan yang dapat atau tidak dapat terjadi berdekatan dengan konduktor". Dengan kata lain, itu adalah sebagian gangguan pada isolasi antara dua konduktor aktif.

Luahan parsial atau disebut pula *Partial Discharge* (PD) adalah kerusakan dielektrik lokal dari sebagian kecil dari sistem isolasi listrik padat atau cairan di bawah tekanan tegangan tinggi, yang tidak menjembatani ruang antara dua konduktor. Sementara debit korona biasanya diungkapkan oleh relatif stabil cahaya atau sikat debit di udara, pembuangan sebagian dalam sistem insulasi padat tidak terlihat.

Luahan parsial dapat terjadi di lokasi di mana kekuatan lokal medan listrik cukup untuk rincian bahwa sebagian dari bahan dielektrik (apakah itu menjadi bagian memburuk isolasi atau rongga udara). Pembuangan umumnya muncul sebagai pulsa dengan durasi khas kurang dari 1 μ s. Sementara sangat pendek durasinya, saat ini energi dalam debit dapat berinteraksi dengan bahan dielektrik sekitarnya mengakibatkan degradasi isolasi lebih lanjut dan akhirnya jika dibiarkan kegagalan isolasi¹⁵.

PD dapat terjadi pada media isolasi gas, cair atau padat. Hal ini sering dimulai dalam rongga gas, seperti rongga di epoxy isolasi padat atau gelembung dalam minyak transformator. *Partial discharge* berlarut-larut dapat mengikis insulasi padat dan akhirnya

¹⁵http://openelectrical.org/wiki/index.php?title=Partial_Discharge (diunduh tanggal 26 maret 2014)

menyebabkan kerusakan isolasi. Kerusakan ini terjadi beberapa faktor penuaan. Ada 3 faktor dasar penuaan yaitu thermal, elektrik, dan lingkungan. Faktor-faktor tersebut yang dapat menyebabkan kegagalan pada kabel. Selain itu terdapat stress pada kabel yang dapat menyebabkan penuaan yang pada akhirnya menyebabkan degradasi pada sistem kabel. Tiga kategori stress yang ada adalah *operational stress, environmental stress dan human handling*.¹⁶

Pada umumnya, di tahap awal *partial discharge* memiliki magnitude yang kecil. Namun jika dibiarkan berkembang – yaitu sumber *partial discharge* tidak dihilangkan – akan mengakibatkan penurunan kualitas isolasi dielektrik hingga akhirnya terjadi kegagalan total isolasi. Oleh karena itu pendeteksian dini *partial discharge* sangat diperlukan untuk menghindari terjadinya kegagalan isolasi yang mengakibatkan *breakdown*.

Ada empat jenis *partial discharge* sebagai berikut :

1. Internal discharge

Internal discharge terjadi karena adanya rongga, biasanya berisi udara, di dalam isolasi. Adanya rongga di dalam isolasi membuat penyebaran medan listrik di dalam isolasi tidak rata. Medan listrik di dalam dan di sekitar rongga menjadi lebih besar dari medan listrik rata-rata di dalam isolasi tersebut.

¹⁶Buyung Sofianto Munir dkk, *Studi asesmen kondisi kabel 20 kV*, Jakarta: PT PLN (Persero). h.3

2. Surface discharge

Surface discharge terjadi pada permukaan isolasi jika ada medan listrik yang cukup signifikan dengan arah parallel dengan permukaan tersebut. Surface discharge terjadi pada bushing, cable end, ataupun pada komponen lain di mana discharge dari luar menyentuh permukaan isolasi.

3. Corona discharge

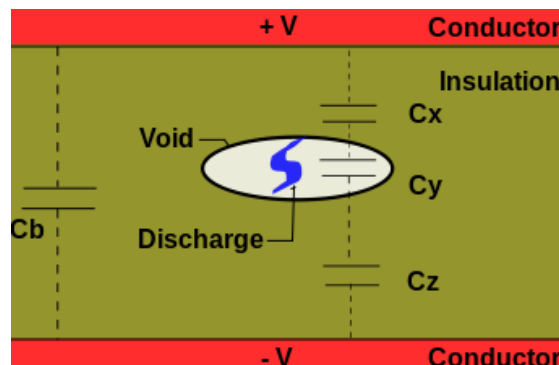
Corona discharge terjadi jika benda logam yang runcing berada dalam medan listrik. Bentuk yang “runcing” bisa berbentuk tonjolan atau permukaan konduktor yang tidak rata. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya corona discharge, permukaan konduktor harus rata dan bersih. Pada kawat penghantar, kawat rantas adalah salah satu sumber corona discharges.

4. Electrical treeing

Electrical treeing terjadi pada isolasi padat berawal dari adanya cacat pada isolasi. Cacat tersebut bisa disebabkan hasil pabrikan yang tidak sempurna, atau bisa juga disebabkan oleh kotoran pada permukaan isolasi. Dengan adanya medan listrik, pada cacat tersebut bisa terbentuk treeing yang berkembang membentuk cabang-cabang dengan bentuk dan arah yang tidak teratur.

2.1.8.2 Mekanisme *Partial Discharge*

PD biasanya dimulai dalam waktu void, retak, atau inklusi dalam dielektrik padat, pada antar muka konduktor-dielektrik dalam dielektrik padat atau cair. Sejak PD dibatasi hanya sebagian dari isolasi, pembuangan hanya sebagian menjembatani jarak antara elektroda. PD juga dapat terjadi di sepanjang batas antara bahan isolasi yang berbeda.¹⁷



Gambar 2.8 partial discharge saat terjadinya void¹⁸

Pada gambar 2.8 menjelaskan sebuah luahan parsial (PD) dalam insulasi padat. Ketika percikan melompat kesenjangan dalam kekosongan diisi gas, arus mengalir kecil di konduktor, dilemahkan oleh pembagi tegangan jaringan Cx, Cy, Cz secara paralel dengan kapasitansi massal Cb.

Luahan parsial (PD) dalam bahan isolasi biasanya dimulai dalam rongga diisi gas dalam dielektrik. Karena konstanta dielektrik kekosongan jauh kurang dari dielektrik sekitarnya, medan listrik di seluruh kekosongan secara signifikan lebih tinggi

¹⁷www.wikipedia.org/wiki/Partial_discharge (diunduh tanggal 26 maret 2014)

¹⁸Ibid.

daripada melintasi jarak setara dielektrik. Jika stres tegangan kekosongan meningkat di atas korona tegangan awal (CIV) untuk gas dalam kekosongan, aktivitas PD akan dimulai dalam kekosongan .

PD juga dapat terjadi di sepanjang permukaan bahan isolasi padat jika permukaan medan listrik tangensial cukup tinggi untuk menyebabkan kerusakan di sepanjang permukaan isolator. Fenomena ini biasanya tampak pada isolator saluran udara, terutama pada isolator terkontaminasi selama hari kelembaban tinggi. Isolator saluran udara menggunakan udara sebagai media isolasi mereka.

2.1.8.3 Prinsip Pengukuran Debit Parsial

Sejumlah skema deteksi debit dan metode pengukuran debit parsial telah diciptakan sejak pentingnya PD disadari awal abad terakhir. Arus *partial discharge* cenderung berlangsung singkat dan memiliki meningkat kali dalam ranah nanodetik.

Pada osiloskop, pembuangan muncul peristiwa ledakan yang merata spasi yang terjadi di puncak *sinewave*. Peristiwa acak yang lengkung atau memicu. Cara yang biasa untuk mengukur debit parsial besarnya dalam picocoulombs. Intensitas *partial discharge* ditampilkan terhadap waktu.

Sebuah analisis otomatis *reflectograms* dikumpulkan selama pengukuran debit parsial menggunakan metode yang disebut sebagai domain waktu *reflectometry* TDR memungkinkan lokasi penyimpangan isolasi. Mereka akan ditampilkan dalam format pemetaan PD.

Sebuah gambaran-fase terkait debit parsial memberikan informasi tambahan, yang berguna untuk evaluasi perangkat yang diuji.¹⁹

2.1.8.4 Pengujian Luahan Parsial (*Partial Discharge*)

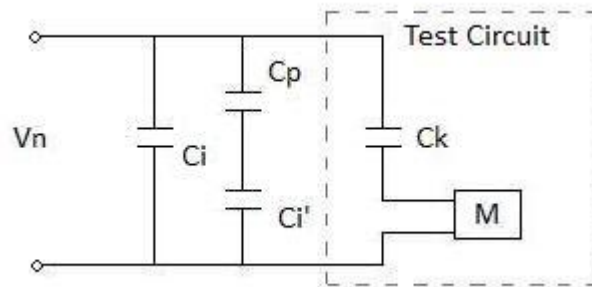
Pengujian *partial discharge* (PD) dapat mendeteksi keberadaan dan lokasi kegiatan *partial discharge* pada peralatan listrik. Misalkan sebuah peralatan listrik memiliki rongga udara kecil di insulasi karena degradasi berkepanjangan dan rongga dikenakan *partial discharge*. Kami ingin menguji *partial discharge* dan jadi kami menghubungkan satu set kapasitor kopling secara paralel untuk mengukur biaya yang disebabkan oleh debit parsial.

Dalam sistem isolasi dengan konfigurasi medan yang sangat berbeda atau dielektrik yang tidak homogen, maka kuat medan tembus dapat dicapai pada salah satu tempat pada waktu yang singkat tanpa mengakibatkan tembus sempurna. Pada kondisi tembus tak sempurna ini hanya sebagian isolasi antar elektroda

¹⁹www.wikipedia.org/wiki/Partial_discharge (diunduh tanggal 30 maret 2014)

yang dijembatani oleh peluahan, peluahan atau pelepasan tersebut dikenal dengan *Partial Discharge*.²⁰

Untuk mengetahui rangkaian tes pengujian PD dapat dilihat pada gambar 2.9 sebagai berikut :



Gambar 2.9 Rangkaian test pengujian *partial discharge*²¹

Elemen sirkuit pada gambar 2.9 sebagai berikut :

V_n adalah sumber tegangan

C_i adalah kapasitansi dari sistem isolasi

C_p kapasitansi dari rongga udara di isolasi karena degradasi

C_i' adalah kapasitansi dari sisa isolasi di sekitar rongga udara

C_k adalah kapasitansi kopleng kapasitor

M adalah sistem pengukuran terhubung dalam seri

Di beberapa Voltage awal, medan elektromagnetik yang cukup kuat untuk menjembatani rongga udara di isolasi dan *partial discharge* terjadi. Setelah runtuhnya celah udara, sisa isolasi di sekitar rongga (C_i) sekarang melihat tegangan penuh V_n dan oleh karena itu biaya di meningkat C_i' .

²⁰Dieker kind, pengantar teknik ekperimental tegangan tinggi, (Bandung : ITB, 1993), h.154

²¹ *ibid.*

Biaya tambahan ini harus disediakan oleh semua kapasitansi paralel di sekitarnya (misalnya dalam model ini C_i dan C_k) atau sumber tegangan (meskipun biasanya terlalu lambat untuk bereaksi). Jadi dalam situasi yang khas, kapasitansi C_i dan C_k debit pulsa singkat ke C_i untuk memberikan biaya tambahan. Namun demikian mengurangi tegangan di semua kapasitansi dan sumber tegangan V_n bereaksi dengan pengisian semua kapasitansi dalam sistem (termasuk rongga udara) kembali ke tegangan yang normal V_n .

Pengujian PD dilakukan dengan langsung mengukur pulsa pendek dibuang ke C_i oleh C_k kopling kapasitor. Dalam rangkaian ekuivalen, sistem pengukuran diwakili oleh kotak M tunggal, tetapi dalam prakteknya, ini termasuk perangkat kopling, kabel penghubung, alat pengukur, dll.

Sekarang jelas bahwa pulsa setiap diukur dengan sistem pengukuran tidak debit parsial yang sebenarnya, tetapi biaya jelas disebabkan oleh debit parsial nyata (yaitu karena C_k kopling kapasitor harus membantu memberikan biaya tambahan untuk C_i). Ini tidak mungkin untuk secara langsung mengukur debit parsial, tetapi biaya jelas dapat digunakan untuk menyimpulkan tingkat aktivitas debit parsial dalam sistem isolasi.²²

²²Ibid

2.1.8.5 Standar Pengujian *Partial Discharge*

Untuk pengujian *partial discharge* mengikuti standar SPLN 43-5-4 : 1995 yaitu menetapkan bahwa *partial discharge* yang terjadi tidak melebihi 5 pC, pengujian pelepasan muatan pada *jointing* kabel harus dilakukan pada setiap inti kabel dengan penerapan tegangan antara penghantar dan lapisan pelindung listrik.

2.1.8.6 Kondisi Pengujian *Partial Discharge*

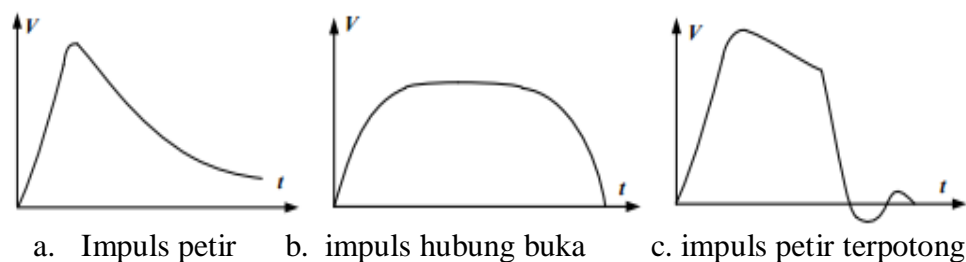
Tegangan pengenalan (U_0) ialah tegangan frekuensi kerja antara penghantar fase dan tanah atau lapisan logam. Tegangan pengenalan (U) ialah tegangan frekuensi kerja antara penghantar fase. Tegangan pengenalan maksimum (U_m) ialah nilai maksimum tegangan sistem tertinggi untuk mana kabel boleh digunakan. Pengujian ini menggunakan pada tegangan pengenalan 12/20 (24)kV.

Kondisi pengujian *partial discharge*, pengujian dilakukan pada tegangan $1,73U_0$ atau setara dengan tegangan (20kV) dengan mengupas kedua ujung kabel dan memberikan *heat shrink* untuk terminasi kabel sesuai ketentuan standar yang berlaku diantaranya IEC (*International Electrotechnic Commission*) 60502-4 :2005 dan standarisasi SPLN.

2.1.9 Tegangan Impuls

2.1.9.1 Pengertian Tegangan Impuls

Tegangan Impuls (*impulse voltage*) adalah tegangan yang naik dalam waktu singkat sekali kemudian disusul dengan penurunan yang relatif lambat menuju nol. Ada tiga bentuk tegangan impuls yang mungkin menerpa sistem tenaga listrik yaitu tegangan impuls petir yang disebabkan oleh sambaran petir (*lighting*), tegangan impuls hubung buka yang disebabkan oleh adanya operasi hubung-buka (*switching operation*) dan tegangan impuls petir terpotong. Bentuk gelombang dapat dilihat pada gambar 2.10



a. Impuls petir b. impuls hubung buka c. impuls petir terpotong

Gambar 2.10 Bentuk gelombang tegangan impuls

Tegangan impuls didefinisikan sebagai suatu gelombang yang berbentuk eksponensial ganda yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$V = V_0(e^{-at} - e^{-bt})$$

Dari Persamaan ini dapat dilihat bahwa bentuk gelombang impuls ditentukan oleh konstanta a dan b , sedangkan nilai konstanta a dan b ini ditentukan oleh nilai komponen rangkaian.

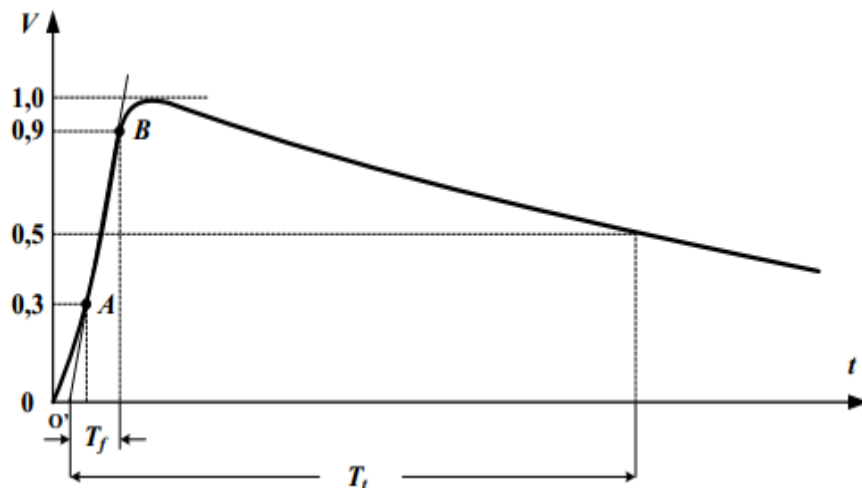
Ada beberapa definisi bentuk gelombang impuls yaitu :

1. Bentuk dan waktu gelombang impuls dapat diatur dengan mengubah nilai komponen rangkaian generator impuls.
2. Nilai puncak (*peak value*) merupakan nilai maksimum gelombang impuls.
3. Muka gelombang (*wave front*) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak .Waktu muka (T_f) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak gelombang.
4. Ekor gelombang (*wave tail*) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik puncak sampai akhir gelombang. Waktu ekor (T_t) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai setengah puncak pada ekor gelombang.

Penelitian menunjukkan bahwa pada tegangan impuls yang disebabkan oleh sambaran petir maupun yang disebabkan oleh proses hubung buka, waktu untuk mencapai puncak gelombang dan waktu penurunan tegangan sangat bervariasi sehingga untuk pengujian perlu ditetapkan bentuk standar tegangan impuls.

Suatu tegangan impuls dinyatakan dengan tiga besaran yaitu tegangan puncaknya (V_{maks}), waktu muka (T_f), dan waktu ekor (T_t). Menurut IEC waktu muka dan waktu ekor untuk tegangan impuls petir adalah

$$T_f \times T_t = 1,2 \times 50\mu s$$



Gambar 2.11 bentuk gelombang tegangan impuls berdasarkan standar IEC

Pada gambar 2.11 diatas menjelaskan titik acuan waktu untuk tegangan impuls petir standar tidak sama dengan titik nol sumbu waktu, tetapi titik O'. Cara menentukannya adalah sebagai berikut :

1. Dicari titik A pada muka gelombang yang menunjukkan tegangan impuls sama dengan 0,3 kali tegangan puncak V_{maks} ,
2. Dicari titik B pada muka gelombang yang menunjukkan tegangan impuls sama dengan 0,9 kali tegangan puncak V_{maks} ,
3. Dicari garis lurus dari titik B ke titik A hingga memotong sumbu waktu. Titik potong garis ini dengan sumbu waktu adalah titik acuan waktu impuls (O').

Suatu tegangan impuls dinyatakan dengan tiga besaran yaitu tegangan puncaknya (V_{maks}), waktu muka (T_f), dan waktu ekor (T_t). Khusus untuk tegangan impuls hubung buka, T_f diganti dengan T_d , yaitu lama berlangsungnya impuls hubung buka dengan nilai tegangan lebih besar daripada $0,9 V_{maks}$.

tegangan impuls petir berdasarkan standar IEC, penyimpangan waktu muka (T_f) yang ditolerir adalah $\pm 30\%$, sedang penyimpangan waktu ekor (T_t) yang ditolerir adalah $\pm 20\%$. Untuk tegangan impuls hubung buka, penyimpangan waktu muka (T_f) yang ditolerir adalah $\pm 20\%$, sedang penyimpangan waktu ekor (T_t) yang ditolerir adalah $\pm 60\%$.

Dengan demikian, waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t) berdasarkan standar IEC dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Tegangan impuls petir :

$$T_f \times T_t = 1,2 \pm 30\% \times 50 \pm 20\% \mu s$$

2. Tegangan impuls hubung buka : :

$$T_f \times T_t = 250 \pm 20\% \times 2500 \pm 60\% \mu s$$

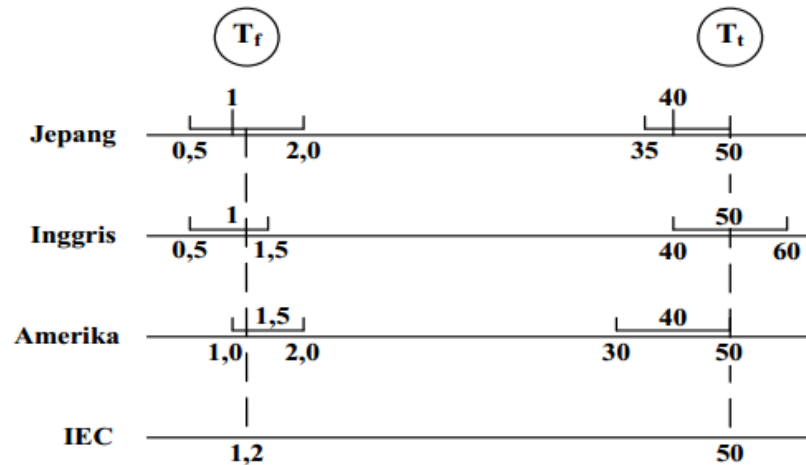
Standar bentuk gelombang impuls petir yang dipakai oleh beberapa Negara ditunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Standar tegangan impuls petir di beberapa negara

Standar	$T_f \times T_t$
Jepang	$1 \times 40\mu s$
Jerman dan Inggris	$1 \times 50\mu s$
Amerika	$1,5 \times 40\mu s$
IEC	$1,2 \times 50\mu s$

Nilai toleransi waktu muka dan waktu ekor gelombang untuk standar Jepang adalah $0,5 - 2 \mu s$ dan $35 - 50 \mu s$, standar Inggris $0,5-1,5 \mu s$ dan $40 - 60 \mu s$, sedangkan untuk standar

Amerika adalah 1,0 – 2,0 μ s dan 30 – 50 μ s, bahwa standar IEC merupakan kompromi antara standar-standar tegangan impuls berbagai Negara, dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini.



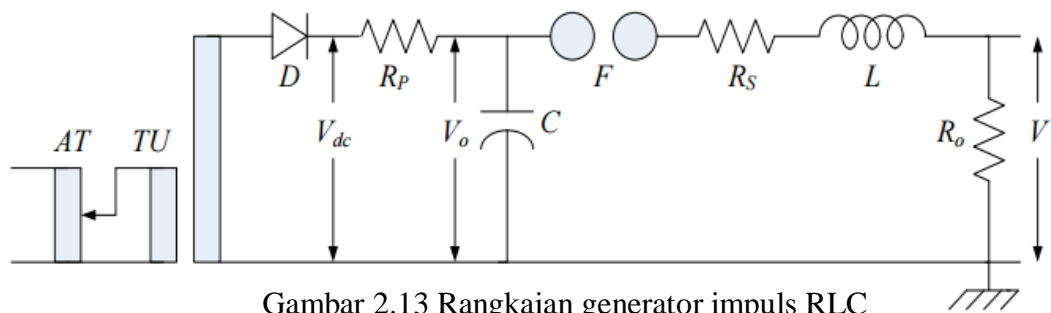
Gambar 2.12 Standar tegangan impuls waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t)

Tegangan impuls diperlukan dalam pengujian tegangan tinggi untuk mensimulasi terpaan akibat tegangan lebih dalam dan luar serta untuk meneliti mekanisme tembus. Umumnya tegangan impuls dibangkitkan dengan meluahkan muatan kapasitor tegangan tinggi (melalui sela) pada rangkaian resistor dan kapasitor. Untuk itu sering digunakan rangkaian pengali tegangan nilai puncak dari tegangan impuls dapat ditentukan dengan bantuan sela ukur atau dengan rangkaian elektronik yang dikombinasikan dengan pembagi tegangan. Alat ukur tegangan impuls yang terpenting adalah osciloskop sinar katode yang memungkinkan penentuan nilai-nilai sesaat melalui pembagi tegangan.²³

²³Dieker kind, Loc.cit., h.32

2.1.9.2 Generator Impuls

Generator Impuls adalah alat yang digunakan untuk pengujian tegangan impuls dimana generator impuls inilah yang berperan untuk membangkitkan tegangan tinggi impuls. Terdapat beberapa jenis generator impuls diantaranya generator impuls RLC, generator impuls RC dan generator Marx



Gambar 2.13 Rangkaian generator impuls RLC

Prinsip kerja generator impuls RLC ditunjukkan pada Gambar 2.13. Generator ini membutuhkan tegangan tinggi DC. Tegangan tinggi DC diperoleh dari penyearah tegangan tinggi DC yang tegangan keluarannya dapat diatur. Generator dilengkapi juga dengan sela picu F . Sumber tegangan tinggi DC, melalui resistor R_p mengisi kapasitor pemuat C . Misalkan tegangan kapasitor pemuat dibuat sebesar V_o .

Jika sela picu dioperasikan, maka sela elektroda F terhubung singkat dalam waktu yang singkat. Melalui sela picu ini, muatan kapasitor C dilepaskan ke rangkaian R_s , L , dan R_o . Nilai resistor R_p dibuat besar untuk menghambat muatan yang datang

dari sumber tegangan tinggi DC selama proses pelepasan muatan dari kapasitor C berlangsung. Karena pelepasan muatan dari kapasitor C berlangsung dalam waktu yang sangat singkat dan nilai resistor RP dibuat besar, maka muatan yang datang dari sumber tegangan DC dapat dianggap tidak ada.

2.1.9.3 Standar Pengujian Tegangan Impuls

Dalam pengujian tegangan impuls diberikan tegangan sebesar 125 kV dan akan menghasilkan polaritas positif dan polaritas negative, ini berdasarkan standar yang sering digunakan yaitu :

- 1) IEC (*International Elektrotechnic Commision*) 60502-4 :2005
- 2) SPLN 43-5-4 : 1995

2.2 Kerangka Berfikir

Jointing cable pada kabel XLPE 12/20 kV yang sudah dilakukan proses penyambungan sering sekali terjadi kegagalan jointing. Hal ini terjadi adanya stress impuls, stress tegangan bolak-balik dan insepisi pelepasan-pelepasan muatan parsial (*partial discharge*).

Tegangan impuls merupakan tegangan yang naik secara mendadak mencapai harga maksimum dan turun lagi mencapai setengah harga puncaknya dalam kurun waktu tertentu. Tegangan lebih ini dapat ditahan oleh suatu sistem hanya untuk waktu terbatas. Bila pada kabel terkena tegangan impuls yang sangat tinggi sehingga itu tembus maka biasanya

menyebabkan kegagalan dalam bahan isolasi terutama pada penyambungan kabel (*jointing cable*).

Untuk mengetahui baik buruknya suatu hasil produksi maka perlu suatu pengujian yang diatur oleh standarisasi tertentu yang menunjukkan bahwa suatu produk dapat dipakai dalam waktu yang cukup lama dan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Pada pengujian *jointing* kabel perlu didasari pada standarisasi pengujian yang biasa ditetapkan oleh SPLN dan IEC 60502:2005 (*International Electrotechnic Commission*).

Adapun salah satu pengujian listrik pada kabel TM dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV adalah pengujian ac voltage, tegangan impuls dan peluahan parsial (*partial discharge*). Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data aktual yang sudah dilakukan oleh pihak PT.PLN Puslitbang Ketenagalistrikan di Duren Tiga, Jakarta.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium milik Perusahaan Listrik Negara, yaitu Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan yang beralamat di Jalan Duren Tiga Jakarta 12760. Waktu Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan di PT.PLN (persero) Puslitbang.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian tentang analisa pengujian *jointing cable* dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge*. Berdasarkan jenis pengujian ini, penulis mengambil metode eksperimen dan mengamati pada saat proses pengujian yang dilakukan oleh pihak PT.PLN Puslitbang. Penelitian ini dilakukan untuk mengambil data dari hasil pengujian *jointing* pada kabel tegangan menengah 20 kV.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian analisa pengujian *jointing cable* dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge* (suatu studi laboratorium PT.PLN (persero) Puslitbang) yaitu :

3.3.1 Eksperimen lapangan

Eksperimen lapangan dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Selain itu, peneliti juga mengamati apa yang dikerjakan oleh pembimbing dilaboratorium, mendengarkan apa yang diucapkan, dan mencatat data yang diperoleh selama melakukan eksperimen, dan berpartisipasi secara aktif dalam aktivitas yang diteliti di laboratorium PT.PLN Puslitbang Ketenagalistrikan Duren Tiga Jakarta.

3.3.2 Wawancara

Pengumpulan data melalui wawancara dilakukan dengan cara tanya jawab pada pembimbing lapangan mengenai hal-hal yang berhubungan pengujian *jointing cable*.

3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya :

1. Melakukan wawancara dan diskusi dengan staff kantor pihak PT.PLN (persero) Puslitbang Ketenagalistrikan Duren Tiga Jakarta.
2. Mencari data proses sambungan kabel (*Jointing cable*)
3. Melakukan survey ke laboratorium di gedung 3 dan gedung 4.
4. Melakukan pengamatan langsung ketika pihak PT.PLN (persero) Puslitbang Ketenagalistrikan sedang menguji *jointing cable* di ruang laboratorium.

5. Mengadakan diskusi dengan staf ahli di bagian lapangan mengenai mekanisme *jointing cable*.
6. Upaya PT.PLN (persero) Puslitbang dalam mengatasi kendala-kendala yang terjadi pada *jointing cable*.
7. Mencari buku referensi di perpustakaan UNJ dan PT.PLN (persero) Puslitbang serta mengambil bahan materi di internet.

3.5 Instrumen Penelitian

Instrumen dalam penelitian ini berupa seperangkat instrumen pengujian yang terdapat dalam laboratorium antara lain :

1. Impuls Voltage Generator
2. Mikro Ampere Meter DC
3. Osciloscop
4. Barometer
5. HV/AC test
6. Conductivity meter
7. Insulation resistance meter
8. Voltmeter
9. *Patsial discharge* test set
10. Master calibrator
11. Meger Meter

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan sambungan kabel

1. Atur kedudukan kedua ujung kabel yang akan disambungkan hingga masing-masing ujung saling melewati. Buat tanda garis di tengah bagian tumpang tindih dan potong kedua kabel dititik inti.
2. Bersihkan jaket kabel dari kotoran yang menempel dengan cairan + lap pembersih. Kupas jaket kabel A dan B sesuai dengan ukuran.

3.6.2 Pelaksanaan sambungan kabel

Dalam pelaksanaan sambungan kabel TM 20 kV harus dilakukan beberapa tahap dalam proses penyambungan kabel (*jointing cable*), langkah-langkahnya sebagai berikut :

1) Penempatan selongsong / Tubing

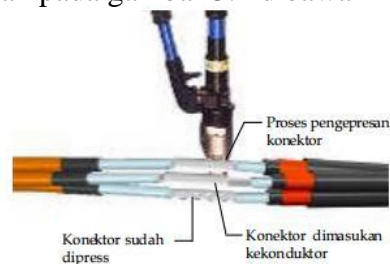
Masukkan selongsong pengendali stress (hitam), selongsong isolasi (merah), selongsong isolasi semikonduktif (merah/hitam) kemasing-masing bagian inti kabel yang telah dikupas lebih panjang (selongsong sudah diset dari pabrik) dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Penempatan selongsong

2) Pemasangan Konektor

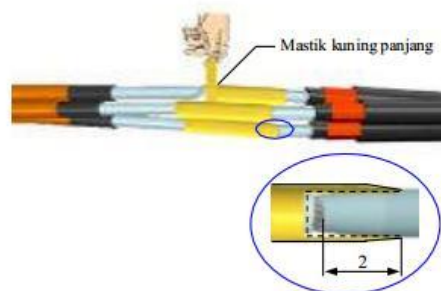
Pasangkan konektor menghubungkan kedua ujung konduktor kabel, kemudian dipress dengan menggunakan *hydraulic crimping tools*. Disarankan memakai alat press system lonjok (*deep indent*) untuk konduktor aluminium atau jenis beragonal untuk konduktor tembaga. Setelah selesai bersihkan isolasi kabel dengan dipress lap dan cairan pembersih, perhatikan pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Pemasangan konektor

3) Minyak Silikon dan Mastik Merah Pendek

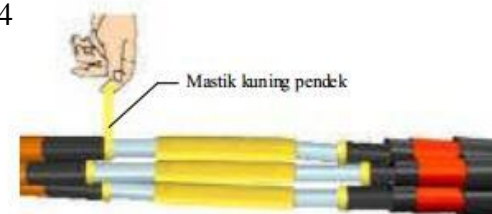
Lepas kertas pada mastic kuning panjang kemudian lilitkan mastic tersebut, langkah pertama yaitu mengisi celah antar konektor dan bagian lubang hasil pengepresan, berikutnya lilitkan mastic ini di atas permukaan konektor dengan kedudukan sejauh 2 cm dari kedua ujung konektor, dimulai dari ujung kiri ke ujung kanan. Harus diupayakan ketebalan akhir sama dengan isolasi kabel, dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Pemasangan minyak silikon dan mastik merah

4) Pita Mastik Kuning Pendek

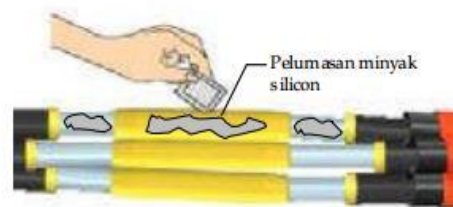
Lilitkan pita mastik kuning pendek pada masing-masing ujung potongan semi-konduktif kabel, tidak perlu tebal, mulai dari 1 cm sebelum ujung semi-konduktif kabel hingga 1,5 cm melewati ujung semi konduktif kabel, dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Pemasangan pita mastik kuning

5) Minyak Silikon

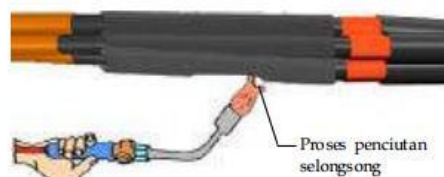
Lumasi isolasi kabel dan seluruh permukaan mastik kuning dengan minyak silicon, dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Pemakaian minyak silikon

6) Selongsong Pengendali Stress (hitam)

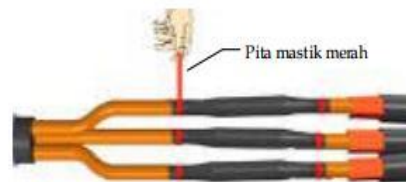
Geser selongsong pengendali stress (hitam) hingga menutupi pita mastik merah, lalu ciutkan dari tengah secara rata keujung-ujungnya. Kemudian lilitkan satu kali pita mastik merah pada ujung-ujung selongsong pengendali stress yang sudah diciutkan, dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Pemasangan selongsong pengendali stress

7) Pita Mastik Pendek

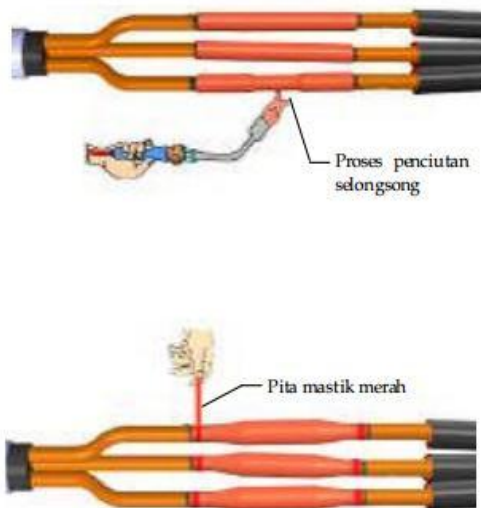
Lilitkan pada masing-masing ujung potongan semi konduktif kabel, tidak perlu tebal, mulai dari posisi 1 cm sebelum ujung semi konduktif kabel hingga 1,5 cm melewati ujung semi konduktif kabel, dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Pemasangan pita mastik pendek

8) Selongsong Isolasi (merah)

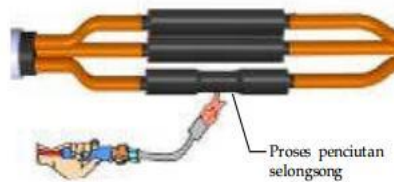
Geser selongsong isolasi dalam (merah) menutupi selongsong pengendali stress lalu ciutkan dari tengah secara rata keujung-ujungnya. Kemudian lilitkan satu kali pita mastik merah pada ujung-ujung selongsong pengendali stress yang sudah diciutkan, perhatikan pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Pemakaian selongsong isolasi

9) Selongsong Isolasi Semi-Konduktif (merah/hitam)

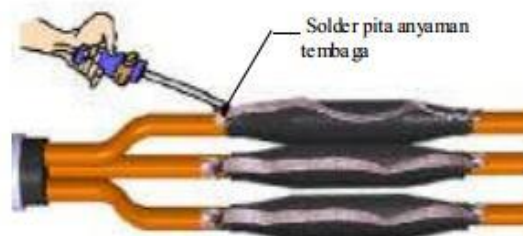
Gesekan selongsong isolasi semi-konduktif menutupi selongsong isolasi dalam lalu ciutkan dari tengah secara merata. Lakukan hal yang sama pada phasa-phasa yang lainnya, dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Pemasangan selongsong isolasi semi-konduktif

10) Kabel dengan Tape Shield

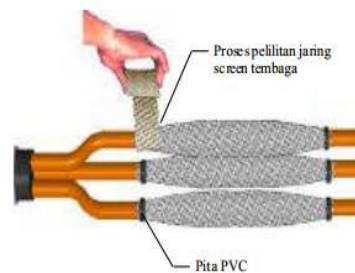
Solderkan pita anyaman tembaga lapis timah pada screen tembaga, pastikan proses solder dilakukan secara sempurna sehingga pita anyaman tembaga menempel pada screen tembaga menempel pada screen tembaga kabel, dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Kabel dengan tape shield

11) Jaring Screen Tembaga

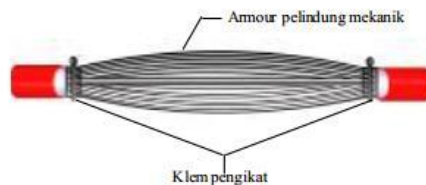
Lilitkan jaring screen tembaga yang tersedia, proses pelilitan dilakukan tumpang tindih menutupi komponen sebelumnya. Ikatlah kedua ujung screen tembaga dengan pita PVC, dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Jaring screen tembaga

12) Armour Pelindung Mekanik

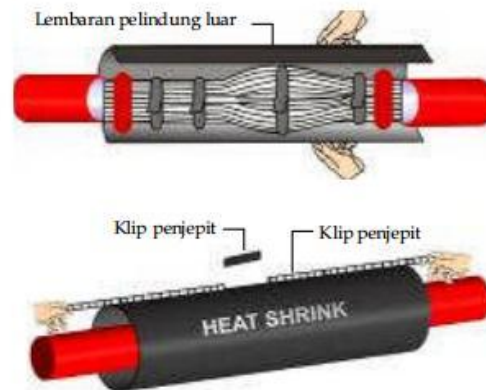
Pasang armour pelindung mekanik menutupi sambungan kabel dengan alumunium berada pada bagian dalam. Ujung-ujungnya harus diposisi tumpang tindih dengan armour kabel. Ikat ujung-ujungnya dengan klem pengikat armour, dapat dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Armour pelindung mekanik

13) Lembaran Pelindung Luar

Selubungkan lembaran pelindung luar kemudian jepit dengan kanal penjepit rel yang tersedia dan pasang klip penyambung kanal, dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Pemasangan lembaran pelindung luar

14) Tahap Akhir Instalasi

Ciutkan lembaran pelindung luar kabel yang terpasang. Penciutan dari tengah kemudian perlahan secara merata.

Biarkan sambungan dingin hingga mencapai temperatur yang sama dengan temperatur sekitarnya, Hasil akhir dari tahap sambungan kabel dapat dilihat pada gambar 3.14



Gambar 3.14 Tahap akhir (*finishing*)

3.6.3 Persiapan Pelaksanaan Pengujian

1. Mencatat spesifikasi kabel yang sudah dilakukan proses sambungan kabel (*Jointing cable*) dengan menggunakan beberapa jenis bahan *jointing cable*.
2. Siapkan alat ukur untuk pengujian dan pastikan dalam keadaan baik serta dapat dipakai.
3. Siapkan peralatan tegangan tinggi yang digunakan untuk proses pengujian *jointing cable* di ruang laboratorium seperti pada gambar 3.15 (*Parial Discharge test set*), gambar 3.16 (Generator impuls), dan gambar 3.17 Meger Meter (alat untuk pembaca tahanan pada kabel)



Gambar 3.15 *partial discharge test set*



Gambar3.16 Generator Impuls



Gambar 3.17 Meger Meter
(Alat untuk pembaca tahanan pada kabel)

3.5.1 Pelaksanaan Pengujian

Tes pengujian sambungan kabel (*Jointing cable*) pada kabel TM 20 kV memiliki beberapa tahap pengujian. Tegangan yang diberikan menggunakan tegangan pengenalan atau (U_0) sebesar 12 kV, misalnya kabel diberi tegangan sebesar $2,5U_0$ berarti 2,5 dikali 12kV senilai 30kV tegangan yang diberikan pada kabel itu. Ada beberapa tahap dalam proses pelaksanaan pengujian *jointing cable* dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 pelaksanaan pengujian

No.	Test Pengujian	Requirements (IEC)	Requirements (SPLN)
1.	AC Voltage	4,5 U_0 selama 5 menit	2,5 U_0 selama 15menit
2.	Partial Discharge	10 pC max at 1,73 U_0	10 pC max at 1,5 U_0
3.	TeganganImpuls	10 kali impulse	10 kali impulse
4.	Partial Discharge and ambient temperature	10 pC max at 1,73 U_0	10 pC max at 1,5 U_0

3.7 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini digunakan standar pengujian SPLN 43-5-4 : 1995 dan IEC 60502-4 : 2005. Penerapan pengujian yang dilakukan pada penelitian tentang *jointing cable* dengan menggunakan pengujian tegangan impuls dan *partial discharge* :

1. Pengujian AC Voltage dilakukan untuk mengetahui kondisi kabel sedang mengalami kondisi normal atau kondisi baik. Hasil di catat di tabel 3.2

Tabel 3.2 Pengujian AC Voltage

No.sampel	Inti (Core)	Hasil uji	Arus bocor (mA)
2.1.A	1		
	2		
	3		
2.1.B	1		
	2		
	3		

2. Pengujian *partial discharge* pada sambungan kabel (*jointing cable*) sebelum diberi tegangan impuls, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *partial discharge* terjadi. Hasil penelitian dicatat di tabel 3.3

Tabel 3.3 Pengujian Lepas parsial (*Partial Discharge*)

Sebelum di beritegangan

No. sampel	Inti (Core)	Lepas parsial pada 20 kV (pC)			
		Pada suhu Ruang	Persyaratan Standar	Pada θt	Persyaratan Standar
2.1.A	1				
	2				
	3				
2.1.B	1				
	2				
	3				

3. Pengujian tegangan impuls, yaitu 10 kali impuls positif dan 10 kali impuls negatif terhadap *jointing cable*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah tegangan impuls yang diberikan mengakibatkan tembus pada bahan material isolasi *jointing cable*. Hasil dicatat di tabel 3.4

Tabel 3.4 pengujian Tegangan Impuls

Polaritas	Bentuk Gelombang		
	Waktu muka (μ s)	Waktu ekor (μ s)	over shout (%)
Positif			
Negatif			
Kriteria			

4. Pengujian *partial discharge* pada sambungan kabel (*jointing cable*) sesudah diberi tegangan impuls, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *partial discharge* terjadi. Hasil pengujian dicatat di tabel 3.5

Tabel 3.5 Pengujian Lepas parsial (*Partial Discharge*)

Sesudah di beri tegangan

No. sampel	Inti (Core)	Lepas parsial pada 20 kV (pC)			
		Pada suhu Ruang	Persyaratan Standar	Pada θ t	Persyaratan Standar
2.1.A	1				
	2				
	3				
2.1.B	1				
	2				
	3				

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Data-data yang telah diperoleh dari hasil pengujian *Jointing cable* dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV menggunakan tegangan impuls dan *partial discharge* terhadap kabel tegangan menengah XLPE yang dilakukan di laboratorium PT.PLN (Persero) Puslitbang Ketenagalistrikan, Duren Tiga Jakarta.

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian diambil dari 2 Merek bahan sambungan kabel dari pabrikan yaitu : Merek 3M dan Raychem. Selubung tabung untuk sambungan kabel bentuknya berbeda tetapi fungsi kegunaan dari bahan tersebut sama. Pengujian lepasan parsial berupa nilai *partial discharge* dalam satuan milivolt (mV) atau picocoulumb (pC), sedangkan untuk data-data pengujian tegangan impuls yang diberi tegangan 2,5U_o (30kV) adalah untuk melihat kondisi isolasi dari bahan material *Jointing cable* terjadi tembus atau tidak. Pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4. Berikut adalah data-data yang telah diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium PT.PLN Puslitbang Ketenagalistrikan, Duren Tiga Jakarta.

Berdasarkan teknik pengambilan data pada penelitian ini digunakan standar pengujian SPLN 43-5-4 : 1995 dan IEC 60502-4 : 2005. Ada beberapa tahapan dalam pengujian yang dilakukan di ruang laboratorium yaitu :

1. Tahap pertama, Pengujian AC voltage dilakukan untuk mengetahui kondisi kabel sedang mengalami kondisi normal atau tidak baik.

Pengujian ini dilakukan pada kabel dengan tipe NA2XSEYBY dengan Sambungan lurus (berisolasi XLPE) dengan tegangan pengenalan 12/20 (24) kV.

Merek : 3M, Tipe QS 2000E-93 – AS 620-3

Cable size : 50 – 300 mm²

Tegangan uji : 2,5U_o sebesar (30 kV-AC)

selama : 15 menit

Dari data-data pengukuran hasil pengujian AC voltage dapat dilihat pada lampiran 4 di tabel 1 terdapat inti kabel (fase 1, fase 2, dan fase 3). Memiliki nilai-nilai ketahanan dan tingkat arus bocor pada masing-masing inti kabel. Pengujian ini dimaksudkan agar diketahui kondisi dari sambungan kabel (*Jointing cable*) itu akan tahan terhadap tegangan yang diberikan atau tidak. Hasil pengukuran pada tabel 1 diperoleh arus bocor sebesar 30mA di setiap inti kabel pada sampel 2.1.A dan 2.1.B, hal ini menyatakan bahwa tingkat ketahanan pada *jointing cable* tersebut masih dalam kategori dibawah standar yang sudah ditetapkan oleh standar IEC 60502-4 : 2005.

2. Tahap kedua, Pengujian *partial discharge* dilakukan pada setiap inti kabel sebelum diberi tegangan impuls, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *partial discharge* yang terjadi pada bahan isolasi sambungan kabel (*Jointing cable*) dengan diberi tegangan uji sebesar $1,73U_0$ setara tegangan 20kV. Hasil pengujian pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Lepas Parsial (*Partial Discharge*)

(Sebelum dilakukan pengujian)

No. Sampel	Inti (Core)	Lepas parsial pada 20 kV			
		Terukur Pada suhu Ruang (pC)	Standar IEC (pC)	Terukur Pada θt (pC)	Standar IEC (pC)
2.1.A	1	4,2	≤ 10	-	-
	2	1.5		-	
	3	1.5		-	
2.1.B	1	2.5	≤ 10	-	-
	2	1.9		-	
	3	1.9		-	

Ket: No.sampel 2.1.A dan 2.1.B mengacu pada standarisasi IEC 60502-4: 2005

Dari data pengukuran pada tabel 4.1 diatas terdapat 2 sampel yaitu 2.1.A dan 2.1.B, memiliki inti kabel (phase 1, phase 2, phase 3), nilai-nilai pengukuran pada suhu ruang, dan pengukuran pada θt dengan satuan picocoulumb (pC), dan juga disertai nilai standar dari IEC yaitu $\leq 10pC$. Pengujian ini dimaksudkan agar diperoleh nilai pengukuran pada suhu ruang di masing-masing inti kabel pada sampel 2.1.A dan 2.1.B sebelum proses *partial discharge* dan disesuaikan dengan standar IEC.

3. Tahap ketiga, Pengujian tegangan impuls, yaitu 10 kali tegangan impuls polaritas positif dan polaritas negatif pada setiap inti kabel dengan keadaan suhu konduktor 30 °C dan tegangan uji 125 kV, 1,2/50 μ s.

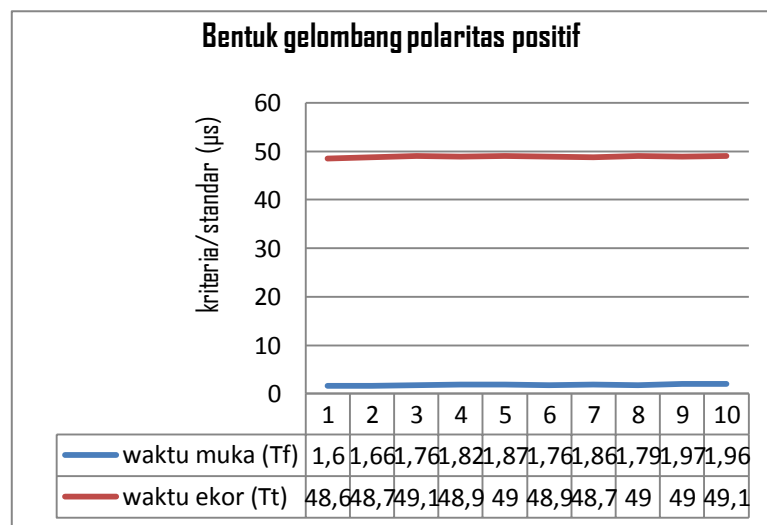
3.1 Polaritas Positif

Dari tabel 4.2 pengujian tegangan impuls dilihat dari 10 kali pengukuran diperoleh polaritas positif pada waktu muka sebesar 1,81 μ s, menurut kriteria/standar IEC 1 s/d 5 μ s masih dalam keadaan baik. Nilai pengukuran dari polaritas positif pada waktu ekor diperoleh sebesar 48,90 μ s, menurut kriteria/standar IEC 40 s/d 60 μ s masih dalam keadaan baik.

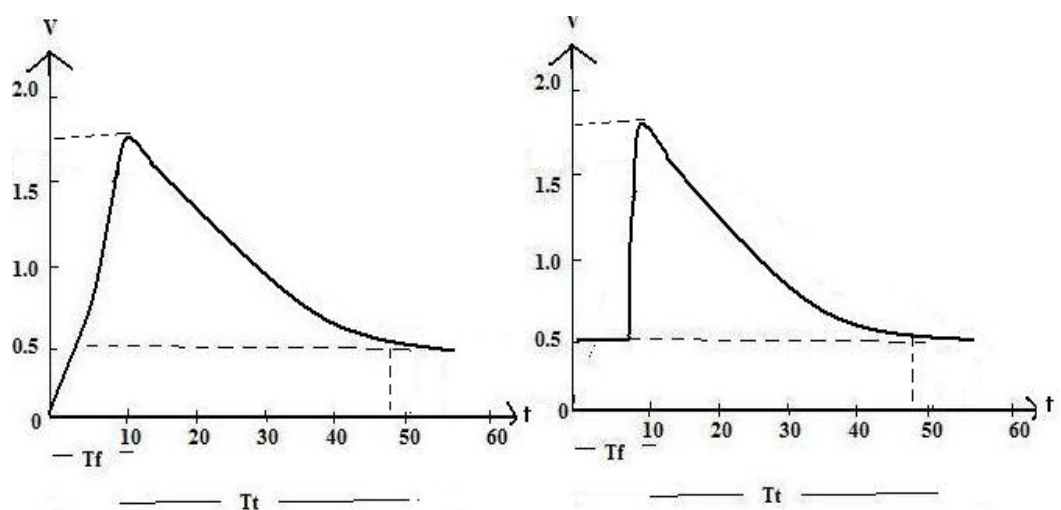
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Impuls pada polaritas positif

Tembakan Ke	Polaritas positif	Bentuk Gelombang			Rata- rata	Kriteria/ Standar
		V/div x μ s/div	Tegangan pada oscilloscope	Hasil terukur		
1	Waktu Muka (Tf) (μ s)	0.2 x 1	0,87	1,60	1,81	1 s/d 5
2			0,89	1,66		
3			0,92	1,76		
4			0,90	1,82		
5			0,93	1,87		
6			0,96	1,76		
7			0,96	1,86		
8			0,97	1,79		
9			0,95	1,97		
10			0,97	1,96		
1	Waktu Ekor (Tt) (μ s)	0.2 x 10	1,06	48,57	48.90	40 s/d 60
2			1,08	48,72		
3			1,10	49,10		
4			1,07	48,94		
5			1,08	49,02		
6			1,06	48,86		
7			1,08	48,72		
8			1,10	49,03		
9			1,07	48,96		
10			1,08	49,10		

Bila di tinjau dari polaritas positif pada waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t), dari hasil 10 kali penerapan tegangan impuls pada *jointing cable* dapat digambarkan ke suatu garfik dalam bentuk gelombang polaritas positif pada gambar 4.1 dan bentuk gelombang dari hasil osciloscop pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik polaritas positif waktu muka dan waktu ekor



Gambar 4.2 bentuk gelombang Polaritas Positif pada waktu muka (T_f) kiri dan waktu ekor (T_t) kanan

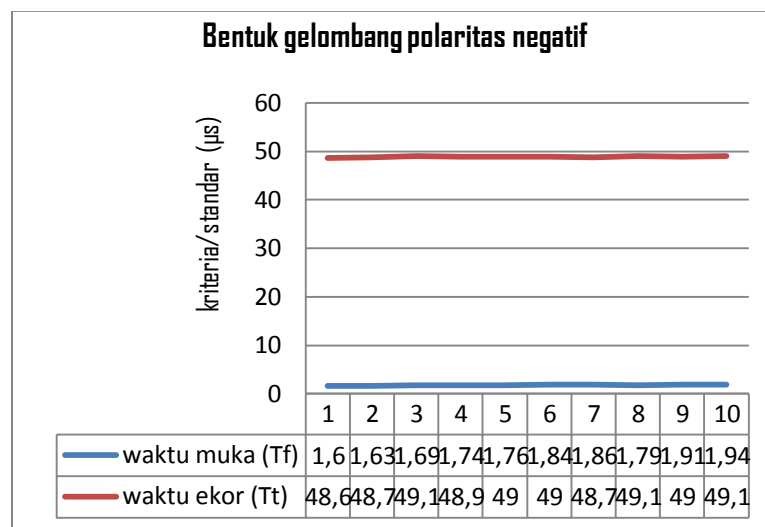
3.2 Polaritas Negatif

Dari tabel 4.3 pengujian tegangan impuls dilihat dari 10 kali pengukuran diperoleh polaritas positif pada waktu muka sebesar 1,78 μs , menurut kriteria/standar IEC 1 s/d 5 μs masih dalam keadaan baik. Nilai pengukuran dari polaritas positif pada waktu ekor diperoleh sebesar 48,92 μs , menurut kriteria/standar IEC 40 s/d 60 μs masih dalam kategori standar IEC dan layak uji.

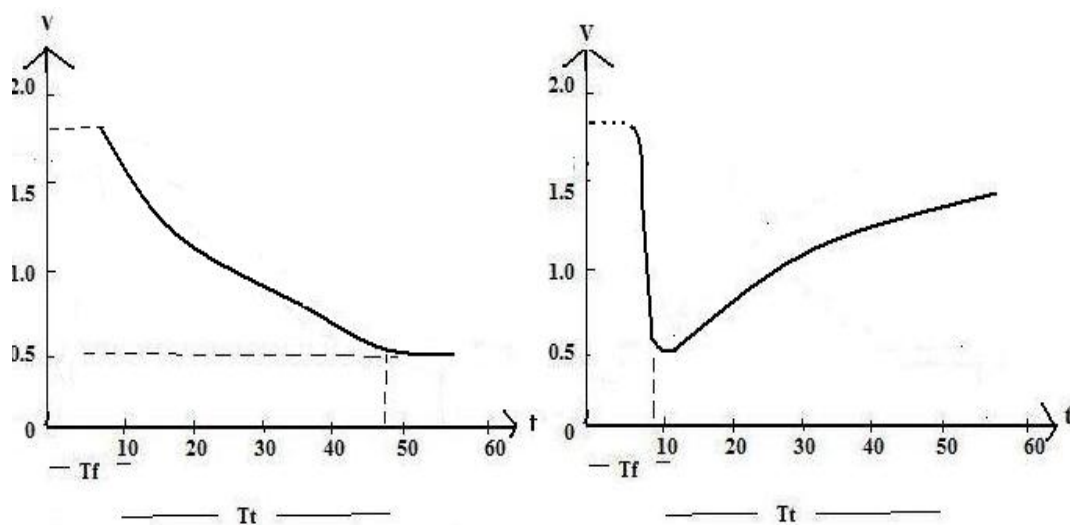
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Impuls pada polaritas negatif

Tembakan Ke	Polaritas negatif	Bentuk Gelombang			Rata- rata	kriteria/ standar
		V/div x $\mu\text{s}/\text{div}$	Tegangan pada oscilloscope	Hasil terukur		
1	Waktu muka (Tf) (μs)	0.2 x 1	0,88	1,60	1.78	1 s/d 5
2			0,92	1,63		
3			0,94	1,69		
4			0,92	1,74		
5			0,91	1,76		
6			0,96	1,84		
7			0,95	1,86		
8			0,97	1,79		
9			0,98	1,91		
10			0,99	1,94		
1	Waktu ekor (Tt) (μs)	0.2 x 10	1,06	48,62	48.92	40 s/d 60
2			1,08	48,74		
3			1,07	49,10		
4			1,07	48,90		
5			1,06	48,96		
6			1,08	48,98		
7			1,08	48,72		
8			1,09	49,06		
9			1,08	48,98		
10			1,06	49,10		

Bila di tinjau dari polaritas negatif pada waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t), dari hasil 10 kali penerapan tegangan impuls pada *jointing cable* dapat digambarkan ke suatu garfik dalam bentuk gelombang polaritas positif pada gambar 4.3 dan bentuk gelombang dari hasil osciloscop pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik polaritas negatif pada waktu muka dan waktu ekor



Gambar 4.4 bentuk gelombang polaritas negatif pada waktu muka (T_f) kiri dan waktu ekor (T_t) kanan

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tegangan Impuls

No.sampel	Inti (core)	Polaritas	Keterangan Hasil uji
2.1.A	1	Positif	Tahan uji
	2		Tahan uji
	3		Tahan uji
2.1.B	1	Negatif	Tahan uji
	2		Tahan uji
	3		Tahan uji

Dari data-data pengujian tegangan impuls dari tabel 4.2, 4.3 dan tabel 4.4 terdapat nilai-nilai pengukuran di setiap inti kabel (phase 1, phase 2, phase 3), nilai polaritas positif dan nilai polaritas negatif pada waktu muka dan waktu ekor, dan nilai kriteria/standar dari IEC. Dari tabel 4.4 terdapat 2 sampel yaitu 2.1.A dan 2.1.B, dapat disimpulkan bahwa pengujian tegangan impuls yang dibandingkan dengan kriteria/standar IEC dan ditinjau dari bentuk gelombang polaritasnya di kategorikan masih dalam keadaan baik.

4. Tahap keempat, Pengujian *partial discharge* (PD) sesudah diberi tegangan impuls, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *partial discharge* setelah diberi tegangan impuls pada sambungan kabel (*Jointing cable*). Hal ini dimaksudkan agar terlihat kondisi bahan sambungan yang sudah terpasang pada kabel 20kV dalam kondisi layak uji atau tidak. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Lepas Parsial (*Partial Discharge*)

(Sesudah dilakukan pengujian)

No. Sampel	Inti (Core)	Lepas parsial pada 20 kV			
		Pada suhu Ruang (pC)	Standar IEC (pC)	Pada θt (pC)	Standar IEC (pC)
2.1.A	1	4,1	≤ 10	1,9	≤ 10
	2	3,7		7,3	
	3	2,7		5,5	
2.1.B	1	3,2	≤ 10	2,9	≤ 10
	2	2,8		7,7	
	3	5,4		5,7	

Catatan : θt adalah suhu maksimum konduktor kabel pada operasi normal $\pm 5K$ samapi 10K

Dari data-data pengujian PD sesudah diberi tegangan impuls pada tabel 4.5 diatas terdapat nilai pengukuran pada setiap inti kabel (phase 1, phase 2, phase 3), pada suhu ruang, dan terukur pada θt serta nilai standar IEC yaitu $\leq 10pC$. Pada pengujian ini setiap inti kabel diberi tegangan sebesar 20kV pada saat proses PD, ini akan menghasilkan nilai pengukuran pada suhu ruang dan pada θt dalam satuan picocoulumb (pC), kemudian

hasil tersebut dibandingkan dengan standar yang sudah ada agar diketahui tingkat ketahanan pada bahan isolasi sambungan (*jointing*) itu layak untuk di pakai dan lulus uji. Semua tahap-tahap proses *jointing cable* harus terpacu pada standarisasi SPLN dan IEC.

4.2 Pembahasan dan Analisa

Pada pengujian AC voltage diberi tegangan sebesar $2,5U_0$ setara 30kV dengan durasi waktu 15 menit dalam pengujian, kondisi temperatur pada konduktor harus didinginkan terlebih dahulu sesuai dengan suhu ruang. Hasil pengujian yang diperoleh pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 1 di lampiran 4, pada nomer sampel 2.1.A diperoleh arus bocor sebesar 30 mA pada setiap inti kabel dan nomer sampel 2.1.B lain juga diperoleh sebesar 30mA pada setiap inti kabel. Kebocoran sebesar 30 mA, dikategorikan dalam keadaan baik.

Pada pengujian *Partial Discharge* sebelum diberi tegangan impuls dengan tegangan $1,73 U_0$ atau sebesar 20 kV. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1, untuk pengukuran *partial discharge* pengujian ini dilakukan dengan 2 sampel yaitu nomer sampel 2.1.A dan 2.1.B, mulai terukur dengan nilai *partial discharge* pada nomer sampel 2,1.A inti 1 (4,2 pC), inti 2 (1,5 pC) dan inti 3 (1,5 pC) dan nomer sampel 2,1.B inti 1 (2,5 pC), inti 2 (1,9 pC) dan inti 3 (1,9 pC). Nilai *partial discharge* yang terjadi pada 2 sampel tersebut masih memenuhi persyaratan standar IEC yaitu dibawah 10pC. Hal ini

menjelaskan bahwa masih dalam kategori baik dan layak uji untuk ke tahap pengujian berikutnya.

Pada pengujian tegangan impuls kondisi kabel harus memiliki temperatur konduktor sekitar $\pm 100^{\circ}\text{C}$. Pengujian tegangan impuls diterapkan sebanyak 10 kali penerapan, bahan isolasi pada sambungan *jointing cable* harus dalam kondisi normal atau tidak terjadi tembus. Hal demikian dapat dilihat dari hasil pengujian pada tabel 4.2, 4.3 dan tabel 4.4. Hasil pengujian menjelaskan bentuk gelombang yang dihasilkan polaritas positif pada waktu muka $1,81 \mu\text{s}$ dan polaritas positif pada waktu ekor $48,90 \mu\text{s}$ dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada pengujian tegangan impuls negatif sebanyak 10 kali dapat dilihat dari hasil pengujian pada tabel 4.4 dan hasil pengujian yang dihasilkan polaritas negatif pada waktu muka $1,78 \mu\text{s}$ serta polaritas negatif pada waktu ekor $48,92 \mu\text{s}$ dan dapat dilihat pada gambar 4.4. Hasil yang diperoleh menandakan kondisi ini masih dalam keadaan baik yang dibandingkan dengan kriteria/standar polaritas pada waktu muka sebesar 1 s/d $5 \mu\text{s}$ dan pada waktu ekor sebesar 40 s/d $60 \mu\text{s}$.

Pada pengujian *Partial Discharge* sebelum diberi tegangan impuls dengan tegangan $1,73 U_0$ atau sebesar 20 kV. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.5, untuk pengukuran *partial discharge* pengujian ini dilakukan dengan 2 sampel yaitu nomer sampel 2.1.A dan 2.1.B, pada pengujian ini *partial discharge* mulai terukur dengan nilai *partial discharge* pada nomer sampel 2,1 A inti 1 ($4,1 \text{ pC}$), inti 2 ($3,7 \text{ pC}$) dan inti 3 ($2,7 \text{ pC}$) dan nomer sampel 2,1 B inti 1 ($3,2 \text{ pC}$), inti 2 ($2,8 \text{ pC}$) dan inti 3 ($5,4 \text{ pC}$).

Pada kondisi θt nilai *partial discharge* pada nomer sampel 2.1.A inti 1 (1,9 pC), inti 2 (7,3 pC) dan inti 3 (5,5 pC) sedangkan nomer sampel 2.1.B inti 1 (2,9 pC), inti 2 (7,7 pC) dan inti 3 (5,7 pC). Nilai *partial discharge* yang terjadi pada 2 sampel tersebut masih memenuhi persyaratan standar IEC yaitu dibawah 10 pC dan memenuhi persyaratan SPLN juga masih dibawah 5pC. Semua tahap proses pengujian *jointing cable* yang sudah dilakukan dan semua hasilnya memenuhi syarat dari standar yang dipakai dalam proses pengujian. Maka dari itu penulis mengambil kesimpulan bahwa bahan isolasi selubung tabung dari pabrikan yang di ujikan dalam proses pengujian jointing kabel di kategorikan layak uji dan pakai, sehingga pihak pabrik yang menjual produk itu dapat mendistribusikan kepada para konsumen yang membutuhkan dalam proses *jointing cable*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut :

Proses pengujian *Jointing cable* dengan Sambungan lurus untuk tipe kabel NA2XSEYBY berisolasi XLPE dengan tegangan pengenal 12/20 (24)kV. Merek : 3M, Tipe QS 2000E- 93-AS 620-3 dengan ukuran kabel 50-300 mm² pada proses pengujian tegangan AC voltage diberi tegangan 30kV (2,5U₀) selama 15 menit, hasil uji kabel mengalami ketahanan isolasi pada *jointing*. Pada proses pengujian *partial discharge* sebelum dan sesudah diberi tegangan uji sebesar 1,73 U₀ setara 20kV, hasil uji tidak mengalami tembus (*breakdown*) pada bahan isolasi *jointing cable* dan pengujian tegangan impuls sebanyak 10 kali penerapan yang diberikan pada kabel *jointing* memiliki polaritas positif dan negatif yang menghasilkan bentuk gelombang pada waktu muka dan waktu ekor, hasil uji memenuhi persyaratan standar IEC maupun SPLN ini berarti layak uji dan pakai.

5.2 Saran

Sering sekali terjadi gangguan kabel TM 20 kV setelah dilakukan penyambungan kabel di lapangan, ini disebabkan kesalahan saat melakukan proses penyambungan kabel yang dilakukan oleh para jointer bukan dari

pihak pabrikan sehingga tidak rapih dan bersih. Ketika kabel bertegangan menengah 20kV sedang mengalami masalah pada titik-titik tertentu dan harus dilakukan perbaikan pada kabel tersebut. Langkah yang harus dilakukan oleh para jointer (pelaksana penyambungan kabel) adalah mengganti kabel yang sedang mengalami gangguan di titik tersebut. Agar tidak mengeluarkan biaya yang sangat mahal maka dari itu hanya diganti setengah kabel atau pada titik kabel yang mengalami gangguan. Proses itu harus melakukan pemotongan kabel pada titik gangguan dan proses tersebut dinamakan *Jointing cable*. Kabel TM dengan isolasi XLPE yang sudah dilakukan proses penyambungan dengan menggunakan bahan material isolasi dari merk 3M atau Raychem dan harus dilakukan proses test pengujian ac voltage, *partial discharge*, dan tegangan impuls agar ketahanan dari bahan sambungan kabel yang sudah terpasang pada titik gangguan itu bisa bertahan lama pada waktu yang lama. Proses ini hanya dilakukan oleh para Jointer dari pabrikan yang memiliki sertifikat handal dan dibantu oleh pihak PLN yang melakukan proses pengujian tegangan tinggi serta hasil pengujian itu disesuaikan dengan standar SPLN dan IEC. Hal ini harus dilakukan agar dikemudian hari tidak terjadi masalah atau gangguan pada titik jointing. Semoga saran dari penulis ini bisa diterapkan oleh para pihak yang akan melakukan proses *jointing cable* di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Cold shrink
http://id..wikipedia.org/wiki/cold_shrink (diunduh tanggal 26 Maret 2014)
- Anonim. EPDM rubber
http://id.wikipedia.org/wiki/EPDM_rubber (diunduh tanggal 26 Maret 2014)
- Anonim. Kabel
<http://id.wikipedia.org/wiki/Kabel> (diunduh tanggal 26 Maret 2014)
- Anonim. *Modul diklat* PT. PLN (Persero) ; Jakarta
- Anonim *Standar IEC 60502-4 : 2005*
- Anonim. Partial Discharge
http://id.wikipedia.org/wiki/Partial_discharge (diunduh tanggal 6 Maret 2014)
- Istiany, Ari, dkk. 2012. *Pedoman skripsi karya inovatif dan komprehensif*, Jakarta : UNJ
- Kind, Dieter. 1993. *pengantar teknik ekperimental tegangan tinggi*, Bandung: ITB.
- Munandar, Aris. dkk. 2008. *Investigasi Penyebab Gangguan dan Kaji Ulang Spesifikasi Jointing SKTM 20 kV*, Jakarta: PT. PLN (Persero) Litbang.
- Munandar, Aris. 2008. *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta: PT.Pradnya paramita.
- PLN.1995. *kabel tanah inti tiga Berperisai xlpe dan berselubung pe/pvc dengan atau tanpa perisai tegangan pengenalan 3,6/6 (7,2) kV s/d 12/20 (24) kV*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Sofiarto, Buyung, dkk. 2008. *Studi asesmen kondisi kabel 20 kV*, Jakarta: PT PLN(Persero).
- Tobing, Bonggas. 2012. *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Medan: Erlangga.

Lampiran 1

Daftar Pertanyaan untuk Instruktur Penelitian

1. Cara apa saja yang dipakai untuk proses penyambungan kabel (*jointing cable*) ?
Ada beberapa cara yang digunakan diantaranya : dengan cara isolasi pita, cara *heat shrink* atau penyusutan panas, dan *cold shrink*.
2. Standarisasi apa yang dipakai dalam proses pengujian *jointing* tersebut ?
Standarisasi dari PLN yaitu SPLN dan ada lagi dari pabrikan yaitu IEC 60502
3. Kendala apa saja yang terjadi pada saat pengujian itu dilakukan dalam ruangan laboratorium ?
Pernah terjadi kendala seperti *breakdown* atau kegagalan *jointing*, isolasi dari selubung tabung *jointing*nya terjadi tembus/retak pada saat diberi tegangan, sehingga hasil uji tidak sesuai dengan ketentuan standar yang ada. Apa bila selubung tabung itu gagal harus dilakukan berkali-kali pengujian agar dinyatakan layak uji pada produk itu.
4. Dalam proses pengujian di laboratorium tahap-tahap apa saja yang dilakukan oleh pihak PLN Litbang ?
Proses pengujian yang dikerjakan oleh kami sebagai pelaksana dari pihak PLN (Persero) Puslitbang diantaranya : Tahap pengujian AC Voltage, pengujian *Partial Discharge*, dan pengujian Tegangan Implus. Sedangkan untuk proses penyambungan kabel dilakukan oleh pihak-pihak *jointer* yang memiliki sertifikat handal dari pabrikan karena mereka yang mengerti dalam proses itu..

Lampiran 2

Foto Dokumentasi



Gambar 2.1 Tegangan Tinggi AC volatge



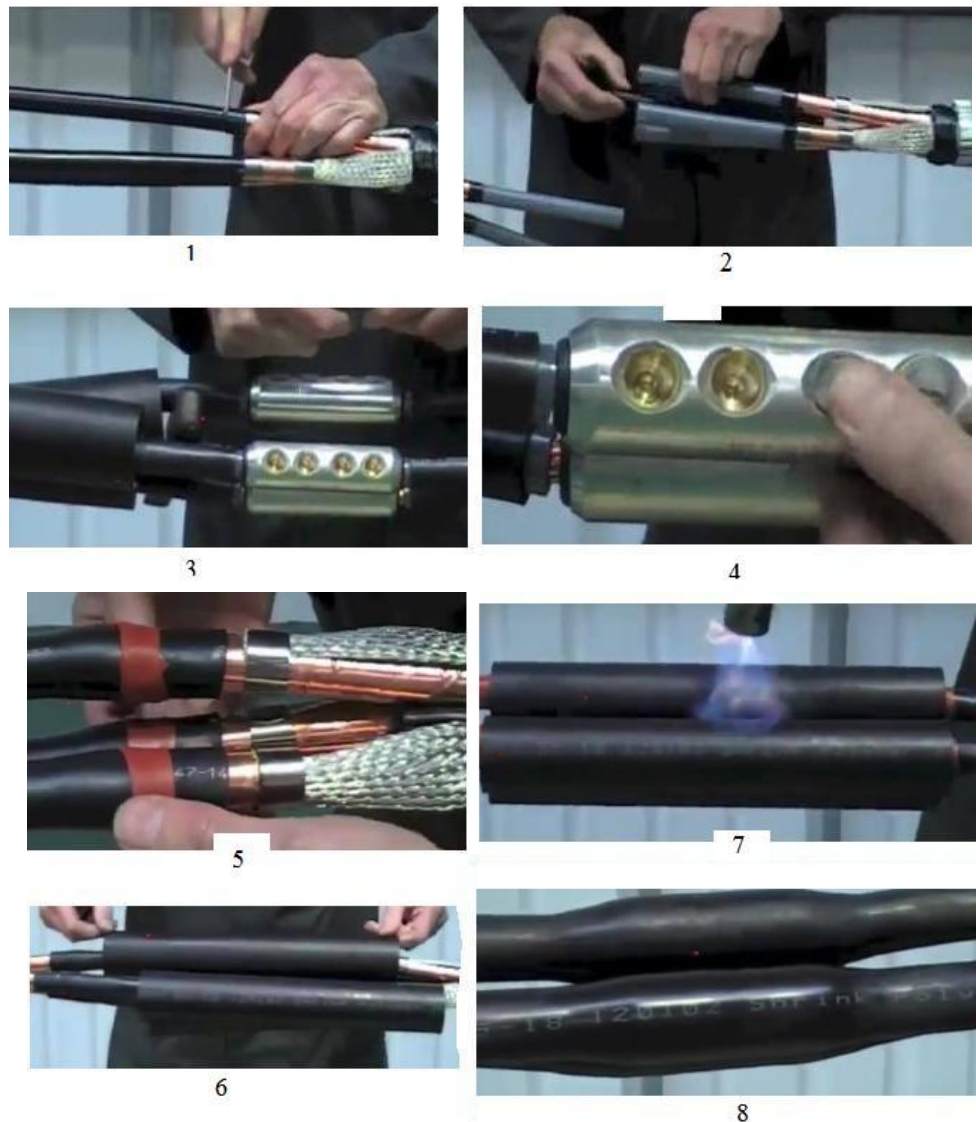
Gambar 2.2 Alat Generator Impuls



Gambar2.3 Tes set Partial Discharge di laboratorium Gdg.4



Gambar 2.4 Osciloscop DL6054 di laboratorium Gdg.3



Gambar 2.5 Tahap-tahap dalam sambungan kabel dengan *heat shrink*



Gambar 2.6 Tes pengujian kabel di lab.3



Gambar 2.7 contoh kabel jointing

Lampiran 3

Spesifikasi *Jointing cable*

Sambungan lurus (*straight connection*) dengan kabel tipe NA2XSEYBY

Untuk kabel (isolasi XLPE) dengan tegangan pengenalan 12/20 (24) kV.

Tegangan pengenalan (U_0)	= 12 kV
Standar yang dipakai	= IEC 60502 dan SPLN
Merek/Type	= 3M, Tipe QS 2000E-93 – AS 620-3
Ukuran kabel (<i>cable size</i>)	= 50 – 300 mm ²
Pengujian AC voltage	
Tegangan uji	= 2.5 U_0 (30 kV-AC)
Durasi waktu	= 15 menit
Pengujian Lepas Parsial (<i>Partrial Discharge</i>)	
Tegangan uji	= 1.73 U_0 (20 kV)
Pengujian Tegangan Impuls	
Suhu konduktor	= 30 °C
Tegangan uji	= 125 kV
Standar tegangan impuls IEC	= 1,2/50 μ s
Jumlah penerapan	= 10 kali impuls setiap polaritas

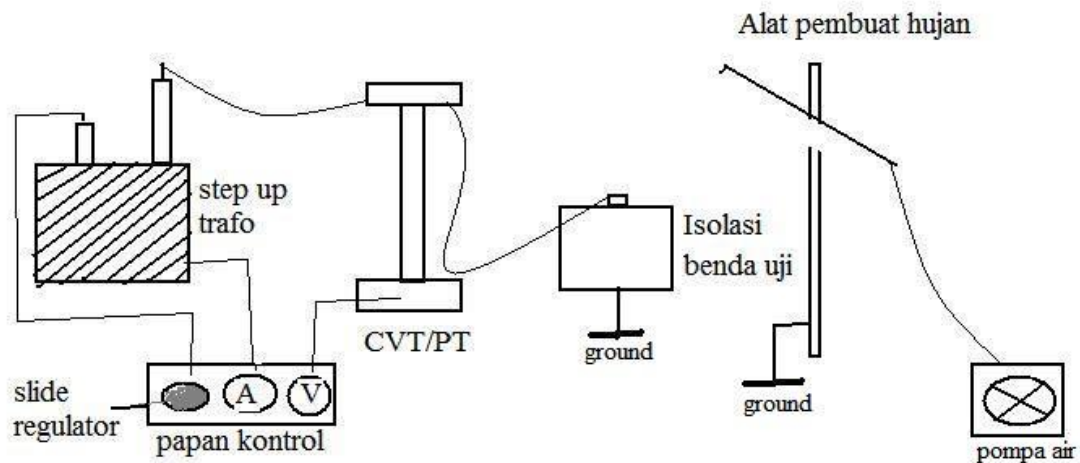


Diagram rangkaian pengujian tegangan tinggi AC

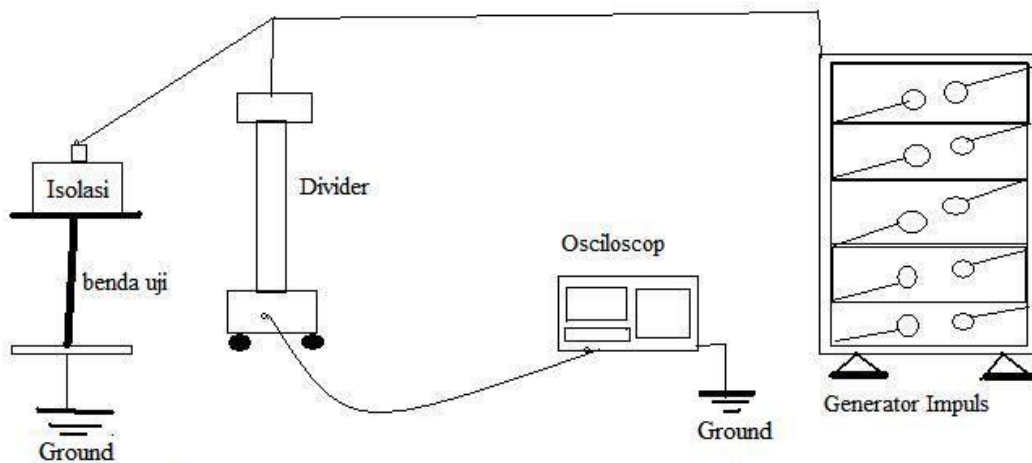


Diagram rangkaian pengujian tegangan impuls

Lampiran 4

Tabel 1 Hasil Pengujian AC voltage

Tegangan uji : 2,5U_o sebesar (30 kV-AC)

Durasi waktu : 15 menit

No. Sampel	Inti (Core)	Hasil uji	Arus bocor (mA)
2.1.A	1	Tahan uji	30
	2	Tahan uji	30
	3	Tahan uji	30
2.1.B	1	Tahan uji	30
	2	Tahan uji	30
	4	Tahan uji	30

Keterangan: No.sampel 2.1.A dan 2.1.B mengacu pada standarisasi IEC 60502-4: 2005

Tabel 2 Hasil Pengujian Tegangan Impuls pada bentuk gelombang

Suhu konduktor : 30 °C

Tegangan uji : 125 kV, 1,2/50 μs

Jumlah penerapan : 10 kali impuls setiap polaritas

Polaritas	Bentuk Gelombang		
	Waktu muka (μs)	Waktu ekor (μs)	over shout (%)
Positif	1.81	48.90	0
Negatif	1.78	48,92	0
Kriteria	1 s/d 5	40 s/d 60	≤ 5

Catatan : θ_t adalah suhu maksimum konduktor kabel pada operasi normal $\pm 5K$ sampai 10K

Lampiran 9

No.	Macam pengujian	Metode uji	Taraf uji
1	Resistans penghantar	SPLN 39	J, C, R, K
2	Pengujian tegangan frekuensi kerja 2.5 U/5 menit	SPLN 39	R, C
3	Pengujian lepasan parsial pada tegangan 1.5 U _o	Publ.IEC 270	J, R, C
4	Pengujian tekuk disusul oleh pengujian lepasan parsial	SPLN 39 Publ.IEC 270	J
5	Faktor rugi dielektrik ($\tan \delta$) sebagai fungsi dari tegangan *)	SPLN 39	J, K
6	Pengukuran kapasitansi *)	SPLN 39	J, R, C
7	Faktor rugi dielektrik ($\tan \delta$) sebagai fungsi dari suhu *)	SPLN 39	J
8	Pengujian siklus panas disusul pengujian lepasan parsial	SPLN 39 dan Publ.IEC 270	J
9	Uji ketahanan terhadap tegangan impulse dan disusul dengan pengujian tegangan AC 2.5 U _o	SPLN 39 dan Publ.IEC 270	J
10	Uji tegangan tinggi 340 kV selama 4 jam	SPLN 39	J, K
11	Pengujian tegangan frekuensi kerja 6 kV selama 1 menit untuk selubung luar antara lapisan logam pelindung listrik dan air	SPLN 39	J, K

*). Untuk kabel dengan tegangan pengenal > (6/10k V).