

ANALISIS DAN RESIKO PARTIAL DISCHARGE PADA KABEL TEGANGAN MENENGAH

Firman Jurjani

Analyst Assesment Kabel Haleyora Power

Jurusan Teknik Elektro Program Magister Sekolah Tinggi Teknik PLN

Email: firmanrnr@gmail.com

ABSTRAK

Pada sistem distribusi khususnya di Jakarta saat ini hampir secara keseluruhan menggunakan kabel tanah untuk sistem tegangan menengahnya atau biasa disebut SKTM (saluran kabel tegangan menengah). Umur kabel yang terpasang rata-rata sudah diatas 20 tahun sehingga pada tahun 2013-2015 total gangguan yang disebabkan oleh SKTM adalah 10273 kasus dengan rata-rata 3000 kasus per tahun yang disebabkan oleh gangguan eksternal dan internal. Hal ini tentu merupakan sebuah tantangan untuk mengurangi jumlah gangguan sehingga bisa meningkatkan sistem distribusi. Pada dasarnya untuk menghindari kegagalan pada sebuah peralatan diperlukan adanya perawatan secara berkala yang sesuai dengan umur peralatan. Untuk gangguan internal pada kabel bawah tanah biasanya disebabkan oleh aktifitas partial discharge. OWTS (Oscillating Wave Test System) dapat merekam aktifitas partial discharge pada kabel dengan memberikan tegangan DAC (Damped Alternating Current) pada sistem kabel. Untuk dapat meningkatkan kualitas distribusi maka perlu untuk mengetahui resiko-resiko terjadinya kegalan berdasarkan kondisi aktifitas PD (Partial Discharge) pada sistem kabel.

KATA KUNCI: OWTS, DAC, SKTM , PD

In the distribution system, especially in Jakarta today almost as a whole using ground cable for medium voltage systems or so-called SKTM (medium voltage cable system). Age cables that on average are more than 20 years so that by the year 2013 to 2015 the total interference caused by SKTM is 10273 cases with an average of 3000 cases per year are caused by external and internal failure. This certainly is a challenge to reduce the amount of interference so as to improve the distribution system. Basically to avoid the failure of a piece of equipment is needed for regular maintenance in accordance with the age of the equipment. For internal failure in underground cables typically caused by partial discharge activity. OWTS (Oscillating Wave Test System) can record partial discharge activity on cable by applying a voltage DAC (damped Alternating Current) on the cable system. In order to improve the quality of disttribution it is necessary to know the risks of failure based on activity PD (Partial Discharge) on the cable system.

KEY WORDS: OWTS, DAC, SKTM , PD

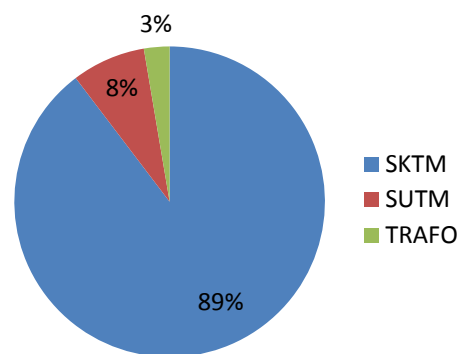
1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Tabel I. Data Gangguan

Gangguan	2013	2014	2015	Total
SKTM	3992	3451	2830	10273
SUTM	218	308	354	880
TRAFO	23	185	97	305

Diagram 1. Total Gangguan



Dari data pada tabel diatas dapat dilihat hampir 90% gangguan di provinsi DKI Jakarta adalah SKTM dengan lama gangguan rata-rata diatas dari 5 menit dengan total gangguan sampai 2015 adalah 10273 kali. Hal ini tentu membuat kerugian karena jumlah kwh terjual berkurang. Periode dari 2013 sampai 2015 jumlah gangguan SKTM mengalami penurunan namun tetap masih sangat banyak total gangguan dalam 1 tahun. Gangguan tersebut meliputi gangguan internal dan external.

Untuk gangguan internal rata-rata disebabkan oleh kecacatan didalam kabel atau disambungan kabel yang bisa menyebabkan partial discharge didalam kabel. Aktifitas partial discharge didalam sistem kabel dapat menyebabkan kegagalan kabel. Kondisi ini tentu merupakan resiko pada sistem distribusi. Untuk dapat mengetahui resiko atau potensi kegagalan kabel maka diperlukan management resiko yang baik sehingga bisa meningkatkan kualitas sistem distribusi.

2. Landasan Teori

2.1 Stresses Kabel

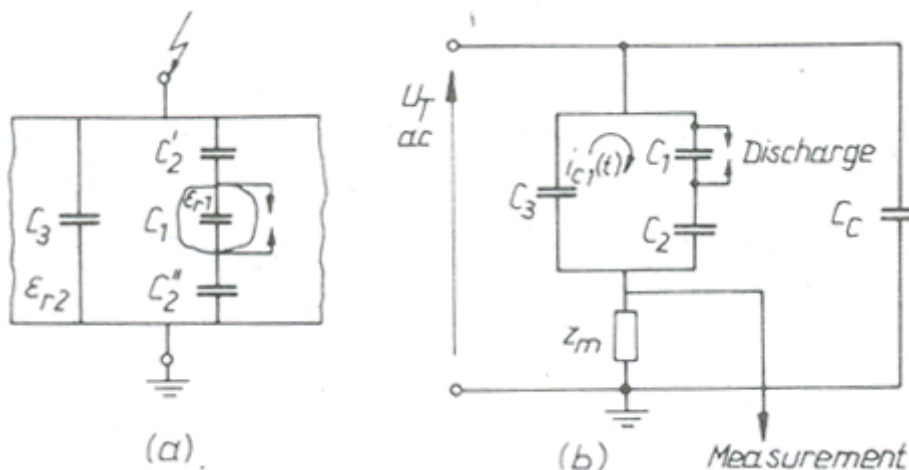
Pada umumnya ada 3 kategori yang menyebabkan kegagalan kabel, yaitu:

- a) **Operational Stresses** – Pada sistem kabel beban selalu berubah-ubah yang menyebabkan perubahan suhu dan hasil dari bergeser (transversal strengths) pada sistem kabel. Hasil dari tekanan axial pada sambungan kabel, accessories dapat bergeser dan menyebabkan meningkatnya stresses di dalam kabel. Kemungkinan dapat terjadi pada

instalasi sambungan kabel. Dan juga perubahan beban dan arus hubung singkat didalam sistem kabel dapat menyebabkan mechanical stress pada connectors pada joint kabel. Jika kabel mengalami mechanical stress dapat menyebabkan penurunan kemampuan dari connectors di joint kabel, hal ini akan meningkatkan suhu pada kabel. Selain itu perubahan beban harian dapat mengakibatkan kabel memuai dan menyusut.

- b) **Environmental Stresses** – kondisi lingkungan sangat mempengaruhi kondisi kabel yang dapat menyebabkan gangguan kabel. Kelembapan tanah, tanah yang berpolusi dan tekanan pada tanah beberapa contoh dari environmental stresses. Jika kabel berada di tanah yang lembab dapat menyebabkan mechanical stresses pada kabel tersebut, Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada pelindung dari air dan menyebabkan penurunan dari kualitas insulation.
- c) **Human Handling** – saat menyambung antar kabel dilakukan dilapangan hal ini dapat menyebabkan kegagalan kabel disebabkan adanya benda asing (debu atau kotoran) yang menempel di dalam sambungan kabel.

2.2 Partial Discharge



Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Rongga Pada Kabel

Dengan menggunakan analisis sederhana, dimana

$$C = Q \times V$$

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

Dengan,

C = Kapasitansi bahan dielektrik

Q = Muatan yang mengalir pada bahan dielektrik

V = Tegangan yang diberikan pada bahan dielektrik

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

Sebagai contoh, suatu kabel dengan suatu isolasi berdiameter d yang memiliki void yang terletak di tengah, dengan bentuk void berupa bola dengan berdiameter t . Secara sederhana dapat kita gambarkan rangkaian pengganti dengan kondisi tersebut, seperti dibawah ini.

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

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

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

$$C_3 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d - t}$$

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

$$U_{C1} = \frac{c_2}{c_2 + c_1} \cdot U_T$$

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

$$\Delta U_{C1} = \frac{c_2}{c_2 + c_1} \cdot U_{C1}$$

Dengan asumsi jika tegangan jatuh pada sampe pengujian adalah ΔU_T maka

$$\Delta U_T = U_T \frac{C_2^2}{(c_3 + c_2)(c_2 + c_1)} \cdot U_{C1}$$

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

$$q_{c1} = \Delta U_{C1} \left[C_1 + \frac{c_2 \cdot c_3}{c_2 + c_3} \right]$$

$$q = U_T \frac{C_2^2}{(c_3 + c_2)(c_2 + c_1)} \left[C_1 + \frac{c_2 \cdot c_3}{c_2 + c_3} \right]$$

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

2.3 Literatur Review

Berdasarkan hasil uji lab pada tesis “Pengaruh Internal Partial Discharge Kabel Terhadap Kegagalan Isolasi” oleh Ir. Renvile Sapulete yang melakukan pengujian terhadap kabel dengan melubangi kabel tersebut dengan mata bor dan diberikan tegangan uji untuk mengetahui pelepasan

muatan didalam kabel. Hasil dari uji tersebut besar rongga berbanding lurus dengan besarnya muatan partial discharge. Hasil uji lab sebagai berikut:

Tabel 2. Dengan Tegangan Uji 18 kV

KEDALAMAN RONGGA (mm)	DIAMETER RONGGA (mm)		
	1	2	2.5
2	75 pC	93 pC	175 pC
4	90 pC	112 PC	213 pC
5	116 pC	128 pC	275 pC

Tabel 3. Dengan Tegangan Uji 28 kV

KEDALAMAN RONGGA (mm)	DIAMETER RONGGA (mm)
	5
2	264 pC
4	573 pC
5	812 pC

Pada penelitian “Studi Asesmen Kondisi Kabel 20 kV” yang dilakukan PULSTIBANG oleh Buyung Sofiaro Munir, M.Sc, Elpis Sinamble, M.Sc, Satyagraha Abdul Kadir, S.T. , Nurul Fauziah, S.T. yang dimana pada penelitian ini berfokus pada tegangan awal yang menyebabkan partial discharge (PDIV) dan tegangan hilangnya partial discharge (PDEV) pada sistem kabel.

- *Jika PDIV diamati lebih rendah dari tegangan nominal, itu berarti selama operasi normal PD aktif dalam kabel. Analisis PD lebih lanjut untuk sistem kabel tersebut harus dilakukan untuk menganalisa lokasi PD.*
- *Jika PDIV hanya di atas tegangan nominal dan PDEV lebih rendah dari tegangan nominal, maka adanya tegangan lebih dalam sistem kabel akan memicu PD dan PD akan tetap aktif dalam sistem kabel walaupun tegangan kembali normal. Ini berarti PD akan mempercepat proses penuaan dari sistem kabel tersebut di lokasi dimana PD terjadi. Analisis PD lebih lanjut untuk sistem kabel tersebut harus dilakukan untuk menganalisa lokasi PD.*
- *Jika PDIV dan PDEV lebih tinggi dari tegangan nominal, maka PD hanya akan muncul ketika ada tegangan lebih dalam sistem kabel. PD akan hilang ketika tegangan sistem kembali ke tegangan nominal*

2.4 OWTS dan Tegangan Damped AC 20-300 Hz (DAC)

Oscillating Wave Test System (OWTS) adalah salah satu metode off-line PD diagnostic. Sistem ini membangkitkan, mengukur dan menentukan lokasi PD pada kabel. Dalam metode ini, tegangan damped AC (DAC) digunakan untuk memberikan tegangan pada sistem kabel pada frekuensi 50-1.5 kHz. OWTS terdiri dari 2 unit utama :

- OWTS Analyzer unit
- OWTS Coil Unit

OWTS analyzer unit terdiri dari HV supply dan data processing dan control unit. HV supply digunakan untuk menghasilkan tegangan yang akan diberikan ke sistem kabel dengan menggunakan damped AC (DAC) voltage. Data processing dan control unit digunakan untuk memproses data pengukuran dan mengontrol seluruh proses pengukuran. OWTS coil unit terdiri dari HV Coil, HV divider, dan coupling capacitor. HV Coil berfungsi sebagai external inductor, HV divider digunakan untuk pengukuran tegangan dan coupling capacitor digunakan untuk menciptakan sirkit tertutup untuk pelepasan muatan.



Gambar 2. Alat OWTS

Untuk membangkitkan tegangan DAC, sistem kabel yang diuji dilewati arus DC selama beberapa detik hingga mencapai level tegangan yang diinginkan. Waktu pengisian bergantung pada kapasitansi dan tegangan kabel seperti yang dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{ch} = \frac{U_{test} \cdot C}{I_{load}}$$

Dimana I_{load} adalah beban arus maksimum dari DC suplai. Pada kasus ini, daya yang dibutuhkan sedikit karena kabel discharge dengan DC dan waktu pengisian relative pendek. Setelah penuh, DC suplai dilepas kemudian kabel dihubungkan ke inductor ini udara dalam waktu kurang dari 1 μ s. Dengan metode ini maka loop RLC terbentuk dan tegangan osilasi (damped AC voltage) terjadi. Tegangan DAC ini dapat menyebabkan timbulnya PD di dalam kabel yang dihasilkan karena adanya cacat dalam kabel. Frekuensi dari tegangan isolasi saat pengujian adalah frekuensi resonansi dari losses circuit.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi dua tahap yaitu:

- a) Uji Lapangan
- b) Analisis Data

Secara keseluruhan penelitian ini menggunakan OWTS sebagai alat pendeteksi Partial Discharge dan software analisis PD.

3.1 Uji Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengujian langsung pada kabel-kabel yang telah lama beroperasi. Pengujian ini dibutuhkan data-data pendukung yang valid seperti jenis kabel, panjang kabel, lokasi jointing (sambungan kabel). Tegangan yang diberikan pada pengujian ini adalah $0xU_0$, $0.5xU_0$, $0.7xU_0$, $1xU_0$, $1.5xU_0$, $1.7xU_0$ dengan nilai $U_0 = 11.5 \text{ kV}$ ini bertujuan agar dapat melihat aktifitas PD pada sistem kabel. Pengujian ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu:

- Masukan data-data pendukung
- Lakukan kalibrasi alat terhadap kabel yang di uji
- Lakukan tegangan uji

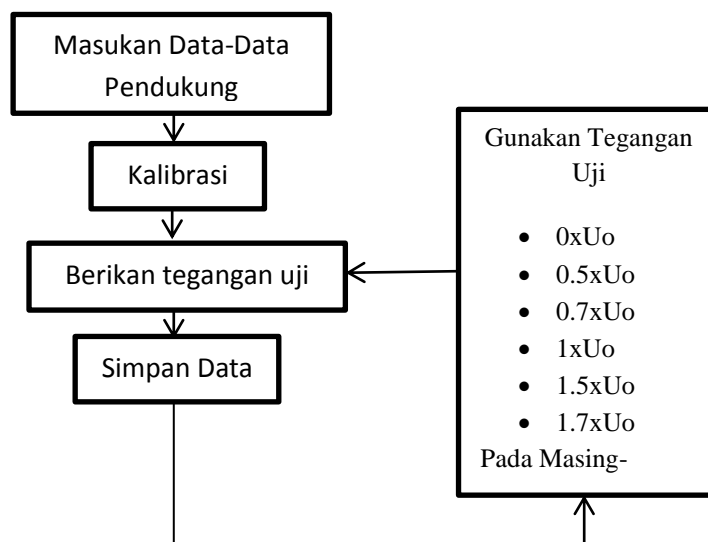


Diagram 2. Proses Pengujian Di Lapangan

3.2 Analisis Data

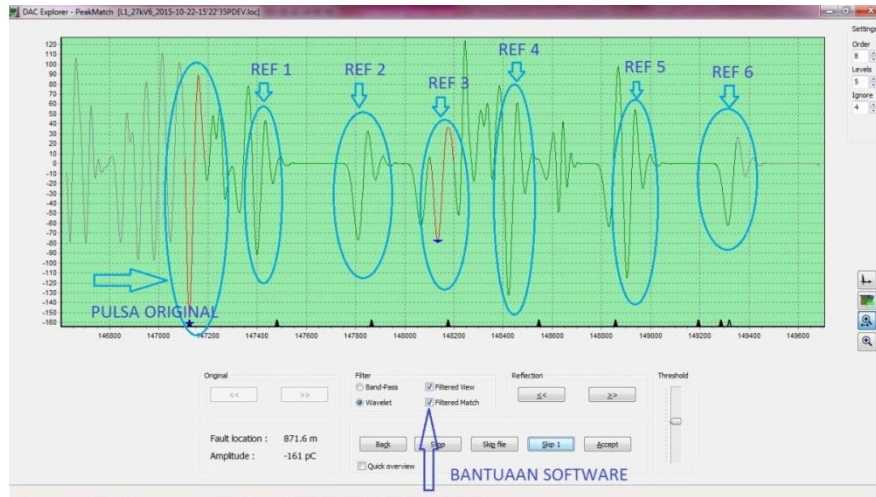
Analisis Data terbagi menjadi dua tahap yaitu:

- Pemetaan PD
- Analisis Pemetaan PD pada fungsi lokasi

3.2.1 Pemetaan PD

Pada tahap ini dilakukan representasi dari kejadian PD di sepanjang sistem kabel. Pemetaan PD berisi semua data pengukuran Partial Discharge serta lokasi PD berasal dari sistem kabel. Titik lemah di isolasi dari komponen yang berbeda dapat dilihat jelas dalam pemetaan PD ini dan

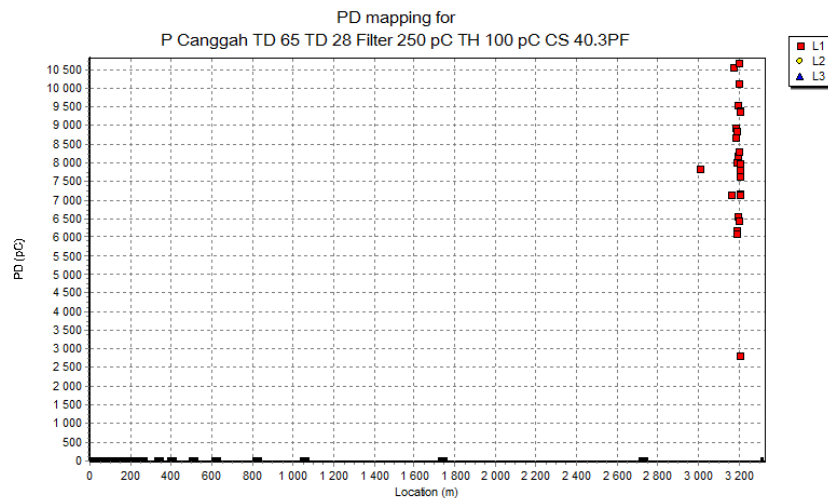
penilaian komponen secara cepat dapat dibuat. Menganalisis lokasi PD membutuhkan seleksi yang akurat dari pencocokan pulsa asli dan pulsa refleksi. Pada proses ini sangatlah sulit dikarenakan pulsa refleksi dapat terjadi lebih dari satu oleh karena itu penentuannya dibantu oleh software.



Gambar 3. Pemetaan PD

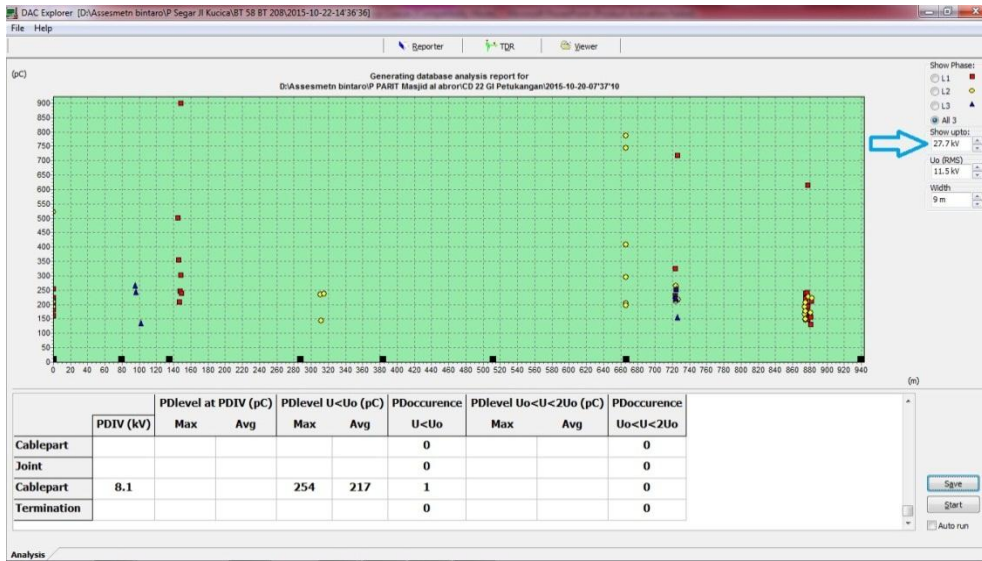
3.2.2 Analisis Pemetaan PD pada fungsi lokasi

Setelah melakukan pemetaan PD maka didapatkan data besarnya pelepasan muatan pada suatu titik.



Gambar 4. Lokasi PD dan besar muatan

Untuk data tegangan awal aktifnya PD dapat digunakan analysis software dengan hasil sebagai berikut

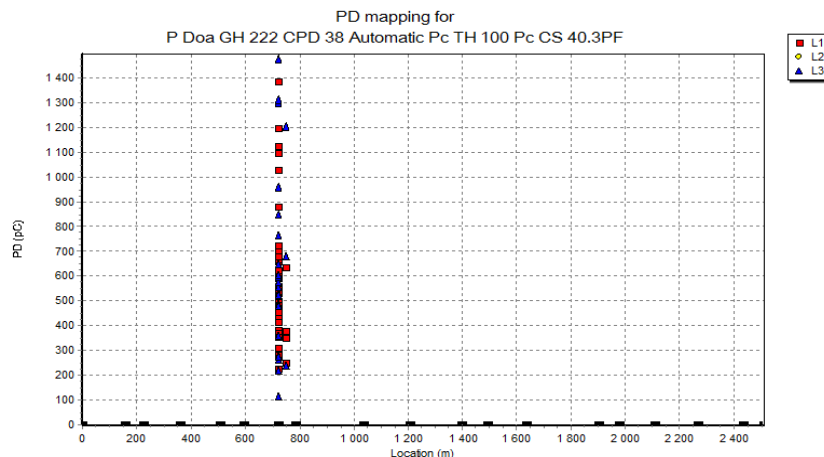


Gambar 5. Analisis Tegangan Awal Aktif PD

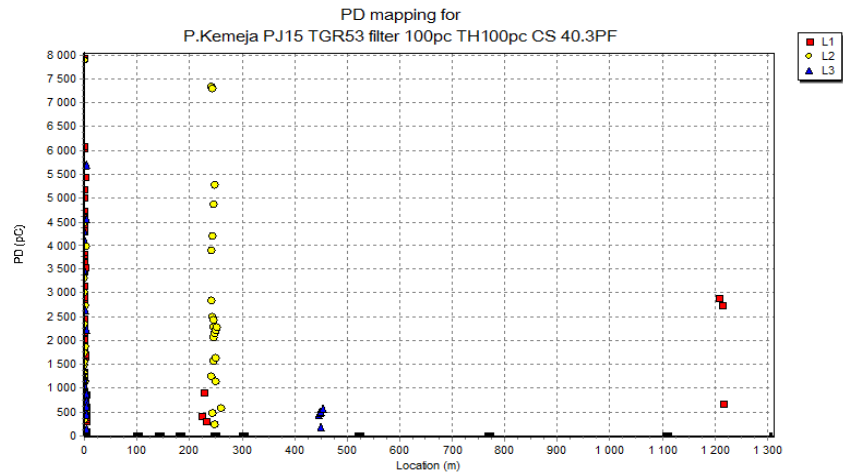
4. Hasil Penelitian

Tabel 4. Segment Uji

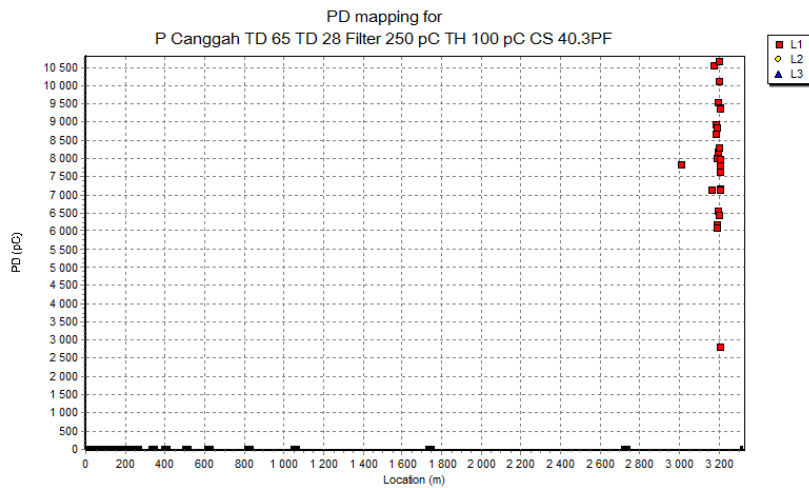
Penyulang	Segment		PDIV (kV)			PD Level Tegangan 1.7xUo (pC)			Tanggal Pengujian	Tanggal Kegagalan Kabel
	Gardu	Ke Gardu	L1	L2	L3	L1	L2	L3		
DOA	GH 222	CPD 38	25	16.6	16.6	1384	302	2073	13-Aug-2015	4-Sep-2015
KEMEJA	PJ 15	TGR 53	16	16.2	16.2	7928	7879	5687	9-Sep-2015	-
CANGGAH	TD 65	TD 28 E	24	-	-	10659	-	-	30-Oct-2015	15-Dec-2015
KEMEJA	PJ 30	PJ 53	-	25	16.6		3124	456	3-Aug-2015	5-Aug-2015
ANGSA	GH 31	MP 199	11	16.2	24.3	10972	10204	3560	5-Oct-2015	-



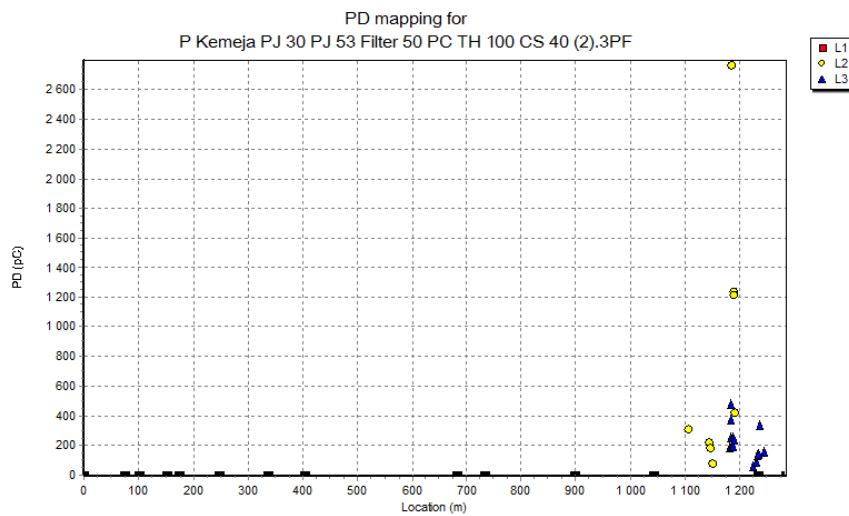
Gambar 6. Penyulang Doa Gardu Hubung 222 ke Arah Gardu CPD 38



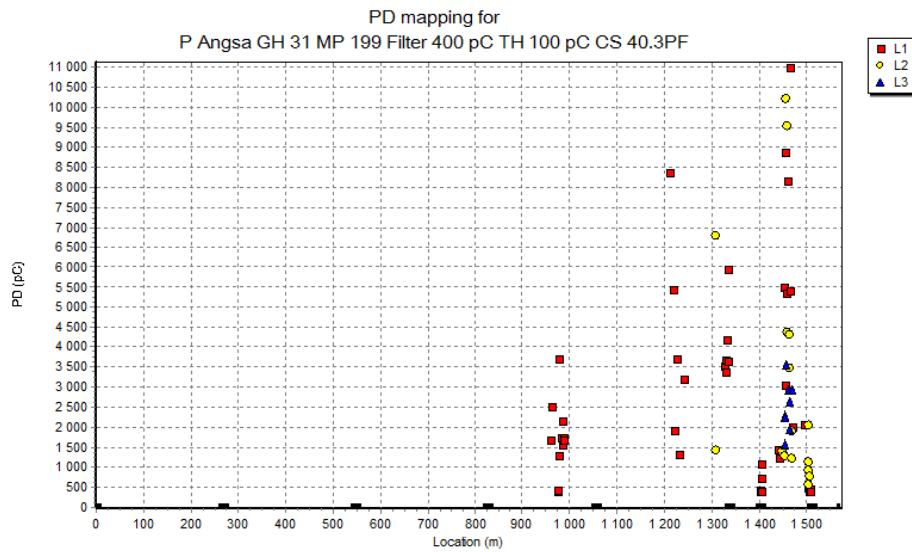
Gambar 7. Penyulang Kemeja Gardu PJ 15 ke Arah Gardu TGR 53



Gambar 8. Penyulang Canggih Gardu TD 65 ke Arah TD 28



Gambar 9. Penyulang Kemeja Gardu PJ 30 ke Arah PJ Gardu 53



Gambar 10. Penyulang Angsa Gardu Hubung 31 ke Arah Gardu MP 199

5. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian maka dapat disimpulkan

- Semakin besar pelepasan muatan pada kabel maka semakin besar resiko akan terjadinya kegagalan kabel.
- Semakin kecil tegangan awal menyebabkan aktifitas PD maka resiko terjadinya kegagalan kabel semakin besar.

Berikut Peta resiko pada kabel

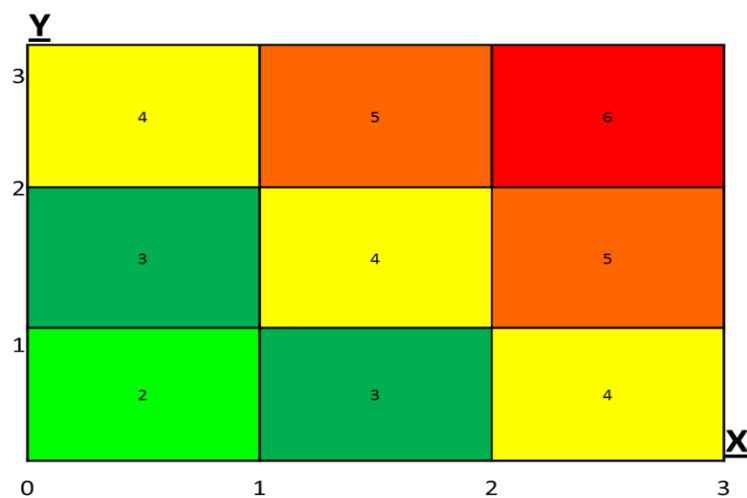
Tabel 5. Status Kabel Terhadap Tegangan Muncul PD

No	Category Sumbu X	Symbol	STATUS	POINT
1	PD Muncul Dibawah Tegangan Nominal	$X < U_0$	Buruk	3
2	PD Muncul Diatas Tegangan Nominal dan Dibawah Tegangan 20 kV	$U_0 < X < 20 \text{ kV}$	Cukup Buruk	2
3	PD Muncul Diatas Tegangan 20 kV	$20 \text{ kV} < X$	Baik	1

Tabel 6. Status Kabel Terhadap Besar Pelepasan Muatan

No	Category Sumbu Y	Symbol	STATUS	POINT
1	Besar Muatan PD Diatas 1000 pC	$Y > 1000 \text{ pC}$	Buruk	3
2	Besar Muatan PD Diantara 500 pC Sampai 1000 pC	$500 \text{ pC} < Y < 1000 \text{ pC}$	Cukup Buruk	2
3	Besar Muatan PD Dibawah Dari 500 pC	$Y < 500 \text{ pC}$	Baik	1

Gambar 11. Matriks Resiko Kondisi Kabel



Tabel 7. Status Kondisi dan Resiko Kabel Terhadap Pelepasan Muatan Dan Tegangan

No	Point	Resiko Kegagalan Kabel	STATUS	Warna
1	6	Sangat Tinggi	Sangat Buruk	
2	5	Tinggi	Buruk	
3	4	Waspada	Cukup Buruk	
4	3	Rendah	Cukup Baik	
5	2	Sangat Rendah	Baik	

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ravish P.Y. Mehairjan BSc, “ Application of Statistical Life Data Analysis for Cable Joints in MV Distributin Networks”, Thesis Magister Program Delft University of Techonology, 2010.
- [2] Renvile Sapulete, “ Pengaruh Internal Partial Discharge Kabel Terhadap Kegagalan Isolasi”, Tesis Program Magister Universitas Indonesia, 1996.
- [3] Buyung Sofiarto Munir, Elpis Sinambela, Satyagraha Abdul Kadir, Nurul Fauziah, Haryo Lukito, “Studi Asesmen Kondisi Kabel 20 kV”, Laporan Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenaga Listrikan, 2010.
- [4] “DAC Test and Dianosis System 30/60 kV ”,User Manual Onsite High Voltage.
- [5] “IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with Damped Alternating Current (DAC) Voltage”, IEEE Power anda Energy Society, IEEE Std 404.4TM, 2015
- [6] “ High - Voltage test techiques – Partial Discharge Measurement”, Internasional Standard, CEIIEC 60270, Third Edition, 2000-12.
- [7] “EXP 157 DAC Explorere Software”, User Manual Onsite High Voltage.
- [8] “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2013-2022”, PT PLN (Persero), 2013
- [9] http://210.210.142.132/apdjakarta/rekapitulasi_kali_ggn_tahun_ini.php
- [10] Aulia,Veni Dwiputri,”Pengujian Partial Discharge Low Density Polyethylene Pada Kondisi Ruang dengan Tegangan Operasi 20 kV”, Artike Penelitian Departemen Pendidikan Nasional Lembaga Penelitian Andalas, 2006
- [11] Winarko Ari.P, Abdul Syakur, Yuningtyastuti, “ Analisis Partial Dishcharge Pada Material Polimer Resin Epoksi Dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang”, Paper Universitas Diponegoro, 2009.
- [12] Pungkie Oktharia Hermawan,”Analisis Partial Discharge Pada Pengujian Kabel XLPE Tegangan Mengengah Satu Inti dan Tiga Inti”, Skripsi Universita Indonesia, 2012
- [13] Bimo Brilianta, Ir,”*Pelepasan Muatan Sebagian Pada Kabel XLPE*”, Skripsi Institut Sains dan Teknologi Nasional, 1993