

Analisis Pengaruh *Incoming Support Cable* Berbahan *Ferro Magnetic* Terhadap *Healthy Index Cable Medium Voltage Transformator I 150/20KV 60 MVA Gardu Induk*

Arief Marwanto¹ dan Ilham Sa'inal Nur Permadi²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya Km. 4, Semarang, Jawa Tengah 50112
e-mail: ilhamsainalnp@gmail.com; arief@unissula.ac.id

Abstrak— Penggunaan material *ferromagnetik* pada *support* kabel *incoming* untuk kabel power tegangan menengah sisi sekunder transformator 150/20 kV Gardu Induk memiliki peran penting secara mekanis dalam menunjang keamanan listrik panel *cubicle incoming*. Metode penelitian yang digunakan melibatkan pengukuran lapangan untuk mendeteksi temuan yang disebabkan oleh pemasangan *support* kabel serta analisis untuk mengevaluasi hubungan antara anomali hasil pengujian tersebut dengan degradasi kabel. Selain itu, perhitungan secara manual dan membandingkan hasil pengujian sebagai landasan utama kalkulasi seberapa besar pengaruh terhadap *healthy index* kabel power tegangan menengah. Data serta hasil perhitungan manual yang diperoleh dianalisis untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kerusakan isolasi kabel dan proses penuaan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan elektromagnetik yang dihasilkan kabel pendukung berbahan *ferromagnetik* secara signifikan mempercepat penurunan *healthy index* kabel. Penelitian ini berkontribusi dalam peningkatan sistem transmisi serta distribusi energi listrik yang andal. Temuan ini merekomendasikan penggunaan material alternatif atau metode instalasi tertentu untuk mengurangi dampak penurunan kualitas isolasi terhadap kabel. Dengan hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan serta optimasi desain instalasi kabel power tegangan menengah transformator daya 150/20 kV untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem transmisi listrik.

Kata kunci: *Gardu Induk, Ferromagnetik, Healthy Index, Kabel Tegangan Menengah*

Abstract—The use of *ferromagnetic* materials in the *incoming support cable* for medium-voltage power cables on the secondary side of a 150/20 kV transformer at the Substation plays a significant mechanical role in supporting the electrical safety of the *incoming cubicle panel*. This study employs field measurements to detect anomalies caused by the installation of the support cable and manual analysis to evaluate the relationship between the test anomalies and cable degradation. The test results are compared with manual calculations to quantify the extent of the electromagnetic field's influence on the *healthy index* of medium-voltage power cables. Data analysis reveals that the electromagnetic field generated by *ferromagnetic support cables* significantly accelerates the decline in insulation quality and the *healthy index* of the cables. This research provides an important contribution to the development of reliable and efficient energy distribution systems. The findings recommend the use of alternative materials or specific installation methods to mitigate the negative impact of electromagnetic fields on cables. These results are expected to serve as a reference for optimizing the design of medium-voltage power cable installations in 150/20 kV power transformers, thereby enhancing the reliability and efficiency of the electrical transmission system.

Keywords: *Substation, Ferromagnetic, Healthy Index, Medium-Voltage Cable*

I. PENDAHULUAN

Gardu Induk (GI) berkapasitas besar yaitu 220 MVA yang melayani transmisi dan distribusi dengan tegangan konfigurasi tegangan dengan level 150 kV, 70 kV dan 20 kV menyalurkan energi listrik ke kawasan industri Kilang Pertamina Blok Balongan dan seluruh wilayah kabupaten Indramayu di Jawa Barat, yang mendapatkan suplai tenaga listrik dari PLTU CEP Cirebon dan PLTU Indramayu

150kV. Salah satunya Transformator I 60 MVA 150/20 kV GI pada konfigurasi normal memiliki peran yang sangat vital untuk mesuplai pasokan listrik Gardu Induk sendiri dan daerah cakupannya yang begitu luas.

Pada bulan Oktober tahun 2022 dilakukan penggantian transformator daya 60 MVA yang statusnya menggantikan Transformator I Gardu Induk. Dalam penggantian tersebut tidak semua peralatan sisi primer dan sekunder dilakukan penggantian hanya unit transformator saja dan meliputi

kabel power sisi sekunder 20 kV saja. Hasil assesmen dari penggantian tersebut didapatkan hasil yang baik bahkan jauh dari batasan maksimum standard yang berlaku di PLN(Persero) sampai di waktu periodik setahun berikutnya. Prosentase pembebanan rata – rata pembebanan transformator 73% tersebut . Yang mana pada peran transformator tersebut selain memikul bebannya sendiri dalam konfigurasi normal juga sebagai *backup* ketika Transformator 3 GI sedang *maintenance*. Mengingat perannya begitu vital dan prosentase pembebanan begitu tinggi serta perkembangan beban kedepannya terus berkembang guna menunjang peforma pada November 2023 *Cubicle Incoming* 20 kV Transformator 1 GI dilakukan penggantian baru. Dan saat itu dilakukan supervisi serta asesmen peforma *incoming* baru didapatkanlah hasil normal dan siap beroperasi.[1] Sampailah pada bulan Maret 2024 saat ada *Inspection Level* 2 rutin *Partial Discharge* didapatkan hasil bahwasanya melebihi standard ambang batas normal. Dari situ dilakukanlah inspeksi secara menyeluruh dan didapatkan temuan lanjutan berupa *Hot Spot* pada *Incoming Support Cable Incoming*. [2] [3]

Temuan anomali kondisi kabel *Power Transformator* 1 GI berupa hasil pengukuran *Partial Discharge* dan *Hotspot* pada *Incoming Support Cable Incoming* yang berbahan *Ferro Magnetic* menimbulkan *Healthy Index* kabel power tersebut menurun dan menimbulkan potensi gangguan meluas dan penyaluran tenaga listrik terganggu.[4] Kontinuitas penyaluran energi listrik mencerminkan kemampuan suatu sistem tersebut handal dalam kondisi normal maupun gangguan. Oleh karena pentingnya suatu isolasi pada kabel power yang secara parameter diketahui ada keanehan dan memungkinkan penurunan isolasi yang berujung gangguan yang mungkin terjadi maka perlu adanya perencanaan perbaikan kondisi kabel power tersebut. [5][6]

Analisis keadaan dan kelayakan *Incoming Support Cable* diperlukan mengingat kabel tersebut mempunyai trending hasil asesmen yang bagus dan didukung umurnya sangat muda. Dimulai dari perhitungan manual *partial discharge* dan dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan metode *Transient Earth Voltage*. [7]

II. STUDI PUSTAKA

Penelitian terkait penginderaan panas kabel berisolasi XLPE dan dalam komponen materialnya ada *cooper screen* yang pada tiap pemasangan ternyata cukup bervariasi. Berdasarkan percobaan dan simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga, ditemukan bahwa pada kondisi tanah kering, pemasangan kabel dengan konfigurasi berjajar menghasilkan suhu kabel berisolasi yang lebih rendah dibandingkan pemasangan dengan pola *trefoil*. [8] Namun, pada pemasangan *trefoil*, ketiga kabel memiliki suhu kabel berisolasi yang seragam. Penggunaan *Duct Cable* pada pemasangan berjajar menyebabkan peningkatan suhu pada kabel disisi pinggir. Meskipun demikian ampacity kabel berisolasi juga mengalami peningkatan sebagai konsekuensinya. [9][10]

Penelitian serupa yang mengkaji cara menentukan jenis panel yang dapat mengurangi *partial discharge* (PD) pada sistem perlindungan pengumpan panel kabel tap-off box Juventus dan Manchester. [11] Penelitian ini memanfaatkan

Ultra TEV Plus 2 dan menggunakan dua metode, yaitu debit internal dan debit permukaan. [12] Hasil penelitian menunjukkan bahwa PD pada *feeder* Manchester lebih tinggi sebesar 6 dB dibandingkan *feeder* Juventus yang hanya 2 dB. Kabin *feeder* Juventus mulai beroperasi pada 1 Februari 2019, sedangkan kabin *feeder* Manchester mulai beroperasi pada 1 Februari 2021. [13]

Metode *Healthy Index* sebagai contoh kasusnya indikator kondisi itu sendiri memiliki nilai terukur, misalnya arus bocor kurang dari 1 Ampere, 1.000 M Ω /1kV untuk resistansi isolasi, dan seterusnya dijelaskan pada table dibawah. Langkah ini adalah untuk menerjemahkan nilai terukur ini ke dalam skor tertentu, yang memungkinkan indeks kesehatan dihitung. Bagian terpenting dalam langkah ini adalah tidak menutupi skor abnormal dengan jumlah skor normal. Misalnya, asumsikan bahwa indikator kondisi normal diberi skor "1" sedangkan indikator kondisi abnormal diberi skor "2" atau "3" tergantung pada kondisinya, lalu skor total dihitung dengan menjumlahkan setiap skor. Kemudian skor yang menunjukkan abnormalitas dapat ditutupi oleh sejumlah besar skor normal "1". [14]

Tabel 1. *Asset Health Indices* [15]

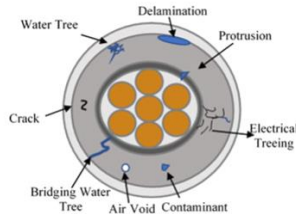
Kriteria	Analisis Kondisi Teknis					Keterangan Form
	Very Good	Good	Fair	Poor	Critical	
	1	3	10	30	100	
PD Kabel Power	<250 Pc		250-500 pC		>500 pC	IL 2
Tahanan Isolasi	> 5 G Ohm			2 G Ohm – 5 G Ohm	< 2 G Ohm	IL 3
Arus Bocor	<1 Ampere			>1 Ampere	> 2 Ampere	IL 2
IL 1 (Visual)	Baik			Berubah Warna Retak Rambut (Getas)		IL 1

XLPE adalah *polietilena* yang berikatan silang. Terkadang dilambangkan juga sebagai PEX atau XPE. [16] Ini adalah bentuk *polietilen*. Polietilen adalah bahan polimer. Monomer yang digunakan untuk membuat polimer ini adalah etilena. Rantai polimer polietilen diproduksi oleh polimerisasi tambahan monomer etilena. XLPE diproduksi dari rantai polimer polietilen dengan menambahkan agen pengikat silang. XLPE adalah alternatif yang baik untuk PVC. [17]



Gambar 1. *Cable Medium Voltage Type NA2XSXY* [18]

Rongga udara dalam kabel terbentuk selama proses pembuatan atau pemasangan akibat perbedaan koefisien muai bahan penyusun kabel. Perbedaan ini menyebabkan pemuaian serta penyusutan yang terjadi tidak merata, sehingga menciptakan celah udara di antara lapisan-lapisan kabel. Rongga udara ini memiliki kapasitas dielektrik yang lebih rendah dibandingkan bahan isolasi padat, sehingga menjadi titik lemah pada isolasi kabel. Akibatnya, medan listrik di dalam rongga dapat meningkat hingga melampaui kapasitas dielektrik tembus udara, yang berpotensi merusak isolasi kabel dan mengurangi kinerjanya.[8]



Gambar 2. Jenis-jenis Cacat Internal pada Kabel XLPE[13]

Kegagalan termal terjadi ketika panas yang dihasilkan melebihi panas yang dapat dibuang, menyebabkan kerusakan bahan. Mekanismenya mengikuti hukum konservasi energi, di mana panas yang dihasilkan sama dengan panas yang dibuang dan panas untuk meningkatkan suhu material. Whitehead menyatakan bahwa tegangan gagal thermal minimum V_m adalah : [19]

$$V_m = \int_{T_m}^{T_o} \left| \frac{sk}{a} \right| dt \quad (1)$$

Keterangan :

- V_m : Tegangan gagal thermal minimum (V)
- T_o : Suhu pada permukaan bahan (atau dalam hal ini sama dengan suhu keliling) ($^{\circ}\text{C}$)
- T_m : Suhu kritis dimana bahan gagal ($^{\circ}\text{C}$)
- k : Konduktivitas thermal ($\text{J} / \text{m.s } ^{\circ}\text{C}$)

Arus bocor adalah arus yang mengalir melalui atau menembus isolasi akibat rongga pada bahan isolasi yang terjadi saat pembuatan atau instalasi. Besarnya arus bocor dipengaruhi oleh tahanan isolasi dan panjang penghantar. [9][20][21]

$$I_b = \frac{V_m}{R} \quad (2)$$

Keterangan:

- I_b : Arus bocor (A)
- V_m : Tegangan Gagal Thermal Minimum (V)
- R : Resistansi Panas (ohm)

Sedangkan, untuk turunan rumus *Resistance* didapatkan dari persamaan berikut:

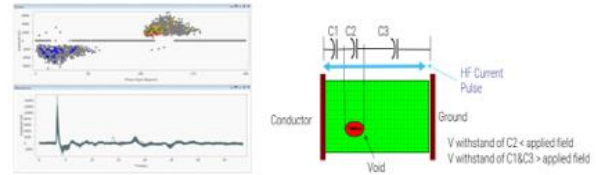
$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (3)$$

Keterangan:

- ρ : Hambatan Jenis (Ωm)
- L : Panjang Penghantar (m)
- A : Luas Penampang Penghantar (m^2)
- R : Hambatan Penghantar (Ω)

Partial discharge adalah pelepasan listrik parsial pada bahan isolasi akibat medan listrik tinggi yang melebihi kekuatan dielektrik lokal, terjadi pada rongga, permukaan, jointing, atau terminasi.[22] Fenomena ini menyebabkan

rugi daya dan degradasi isolasi karena energi listrik terdisipasi sebagai panas atau pelepasan ke bumi.[23]



Gambar 3. Partial Discharge[24]

Rumus yang digunakan untuk menghitung *partial discharge* merupakan rumus penguatan tegangan sebagai berikut: [25]

$$\text{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (4)$$

III. METODE

Metode penelitian kuantitatif, data yang dikumpulkan melalui studi lapangan, studi literatur dan observasi langsung terhadap objek penelitian kemudian dilakukan analisis menggunakan perhitungan.

A. Obyek Penelitian

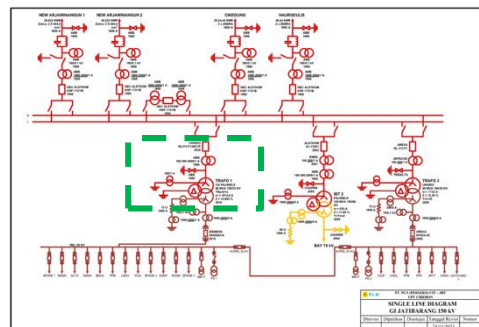
Waktu pelaksanaan pengumpulan data dilakukan di Unit Gardu Induk. Sedangkan obyek pengujian Arus Bocor, *Hotspot Incoming Support Cable*, *Partial Discharge*, dan Tahanan Isolasi dilakukan dimasing – masing waktu periodenya.

Lokasi yang menjadi obyek penelitian yaitu Gardu Induk PT. PLN (Persero) Indonesia. Peta geografis Gardu Induk 150 kV berada pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Peta geografis Gardu Induk 150 kV

Single Line Diagram (SLD) merupakan sebuah diagram yang menggambarkan komponen – komponen instalasi listrik yang diwakilkan oleh simbol – simbol yang saling berhubungan. Pengujian Arus Bocor, *Hotspot Incoming Support Cable*, *Partial Discharge*, dan Tahanan Isolasi. Gambar *single line diagram* dapat diamati pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Single Line Diagram TRF #1 GI

B. Metode Pengambilan Data

Pada penyusunan laporan ini, metode penelitian yang digunakan adalah:

1) Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan teori-teori yang menjadi dasar penelitian. Studi tersebut mencakup pemahaman tentang teori, konsep, dan metode yang relevan untuk membangun kerangka berpikir yang logis dan terstruktur. Sumber literatur dapat berupa buku, karya ilmiah, jurnal, artikel di internet, serta media massa yang mendukung penulisan laporan ini.

2) Metode Observasi

Melakukan observasi langsung terhadap objek yang menjadi fokus penelitian yaitu *Cable Power Medium Voltage Transformer* I 150/20 kV 60 MVA dengan tujuan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi peralatan yang menjadi obyek penelitian secara lebih rinci sehingga dapat dilakukan analisis mendalam hasil pengujian dan keadaan visual anomali tersebut.

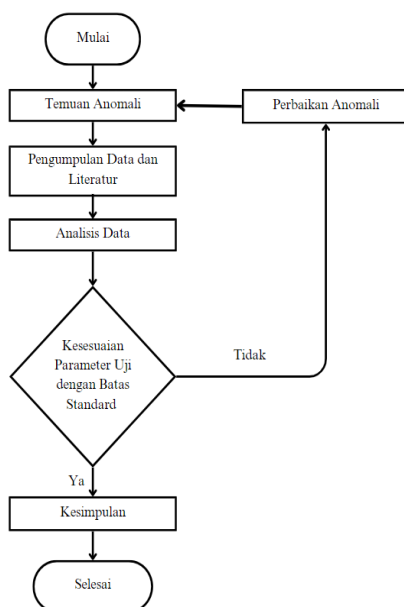
3) Pengumpulan Data

Beragam data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang didapat dari PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi Gardu Induk, melalui wawancara dan observasi secara langsung. Data – data yang diambil meliputi *Singgle Line Diagram* Gardu Induk, *Trending Arus Bocor*, *Trending Hotspot Incoming Support Cable*, *Trending Partial Discharge*, dan *Trending Tahanan Isolasi*.

4) Metode Analisis

Metode analisis yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan analisis penghitungan manual dan data hasil dari pengujian. Setelah melakukan analisis perhitungan manual dibandingkan dengan *trending* hasil pengujian keseluruhan.

Sekaligus memastikan pemasangan secara mekanikal baik komponen utama maupun pendukung pada panel *cubicle incoming* Transformator 1 GI telah sesuai dengan fungsi dan bekerja yang dikehendaki yang mengacu pada standar PLN dan IEC.[26]



Gambar 6. Flowchart Penulisan Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengupas pengujian arus bocor dan *partial discharge* kabel *medium voltage* yang dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan metode tegangan gagal thermal minimum dan *Transient Earth Voltage*. Hasilnya digunakan untuk menghitung skor *healthy index* serta parameter uji lain guna mengevaluasi kondisi kabel *power transformer* 1 di GI.

A. Hasil Pengujian dan Perhitungan Arus Bocor Cable Medium Voltage Transformator 1 GI 150 kV

Perhitungan manual tegangan gagal thermal minimum dibandingkan dengan pengujian arus bocor *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R 1

NO.	METADATA	
1	Merk	Jembo Cable
2	Hasil Pengukuran Arus Bocor	0,046 A
3	Panjang Kabel	22 m
4	Luas Penampang Kabel	630 mm ²
5	Luas Penampang <i>Cooper Tape Screen</i>	145,6 mm ²
6	Suhu Thermovisi <i>Clamp Dutch</i> Kabel	48,9 °C
7	Suhu Thermovisi PVC Outher	27 °C

Detail Spesifikasi teknik untuk kabel tegangan 20 kV fasa R nomor 1 Transformator 1 GI yaitu panjang 22 meters dengan *cooper tape screen* 145,6 x 10⁻⁶ m². Jika diketahui besar hambatan jenis aluminium 2,65 x 10⁻⁸, untuk menghitung tahanan penghantar digunakan rumus (3) sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (3)$$

$$R = \frac{2,65 \times 10^{-8} \times 22}{145,6 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,080082 \, \Omega$$

Dengan demikian, tahanan penghantar kabel tersebut sebesar bernilai 0,080082 Ω.

Untuk menghitung nilai arus bocor pada kabel tanah terlebih dahulu diperlukan nilai tegangan gagal thermal (Vm). Sebagai contoh, jika digunakan sampel saat suhu PVC Outher kabel tegangan 20 kV fasa R 1 sebesar 27 °C, suhu kritis kabel 120 °C, konduktivitas thermal sebesar 200 J/ms°C dan konduktivitas listrik sebesar 3,8 x 10⁷ (Ωm)⁻¹ dapat dihitung nilai tegangan gagal thermal dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$V_m = \int_{T_m}^{T_o} \left| \frac{(sk)}{a} \right| dt \quad (1)$$

$$V_m = \int_{120}^{27} \left| \frac{(8 \times 200)}{3,8 \times 10^7} \right| dt$$

$$V_m = \int_{120}^{27} |0,0000421| dt$$

$$V_m = |(0,0000421 \times 27) - (0,0000421 \times 120)|$$

$$V_m = 0,0039153 \text{ V}$$

Dengan demikian didapatkan untuk tegangan gagal thermal kabel tegangan saat suhu kabel 27 °C sebesar $V_m = 0,0039153 \text{ V}$. Setelah mendapatkan nilai tegangan gagal thermal kabel tanah, maka untuk arus bocor kabel tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

$$I_b = \frac{V_m}{R} \quad (2)$$

$$I_b = \frac{0,0039153}{0,080082}$$

$$I_b = 0,048890 \text{ A}$$

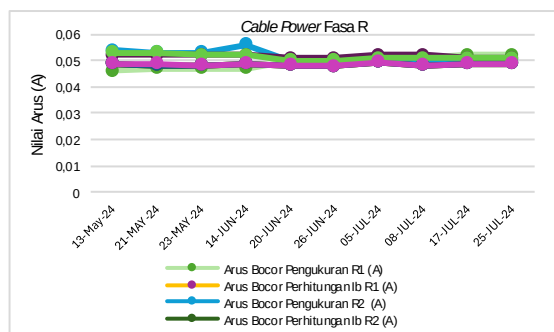
Maka diperoleh besar arus bocor kabel tegangan 20 kV fasa R nomor 1 sebesar 0,048890 A. Hasil pengukuran dan pemantauan arus bocor pada kabel tegangan 20 kV fasa R nomor 1 *Transformer* 1 GI dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Pengukuran Arus Bocor *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R

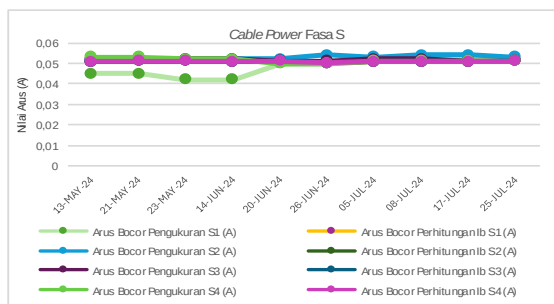
No	Tgl	Pengukuran I_b (A)	Suhu Clamp Dutch Kabel (°C)	Suhu Kabel (°C)
1	13/05/24	0,046	48,9	27
2	21/05/24	0,047	40	28
3	21/05/24	0,047	43,7	28

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Arus Bocor *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R

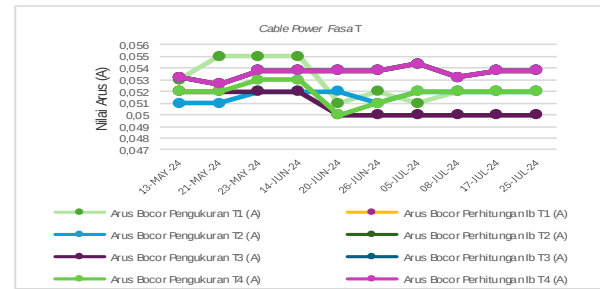
No	Tgl	Tegangan Thermal V_m (Volt)	Perhitungan I_b (A)	Error (%)
1	13/05/24	0,0039153	0,048890882	6,2845
2	21/05/24	0,0038732	0,048365173	2,9046
3	21/05/24	0,0038732	0,048365173	2,9046



Gambar 7. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Arus Bocor *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R



Gambar 8. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Arus Bocor *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa S



Gambar 9. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Arus Bocor *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa T

Hasil perhitungan manual arus bocor pada kabel Medium Voltage Transformer 1 GI 150 kV menunjukkan deviasi terbesar sebesar 21,95% pada Fasa S Core 1 berdasarkan pengukuran periode 14 Juni 2024. Meskipun demikian, sebagian besar deviasi antara hasil pengukuran dan perhitungan berada di bawah 5%. Berdasarkan asesmen lanjutan, kondisi kabel dinyatakan baik dengan nilai arus bocor Fasa S Core 1 sebesar 0,042 A (hasil pengukuran) dan 0,05121 A (hasil perhitungan), yang masih jauh di bawah batas standar kategori buruk ($> 1 \text{ A}$) dan kritis ($> 2 \text{ A}$).

B. Hasil Pengujian dan Perhitungan Partial Discharge *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV

Setelah dilakukan pengukuran *partial discharge* dengan metode *Transient Earth Voltage* pada komponen *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R 1 diperoleh hasil data seperti pada tabel 5 di bawah.

Tabel 5. Hasil Uji Partial Discharge *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R 1

NO.	METADATA
1.	Nomor Core Cable R 1
2.	Nama Aset Kabel Power
3.	Merk Jembo Cable
4.	Hasil trending pengukuran dengan metode TEV (18/03/2024) 58 dB
5.	PPC (Pulse per cycle) 4,44

Dari hasil tabel 5, terlihat bahwa hasil pengukuran pada komponen box kabel dengan metode *transient earth voltage* adalah 58 dB dengan nilai *pulse per cycle* yaitu 4,44.



Gambar 10. Pattern Partial Discharge *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R 1

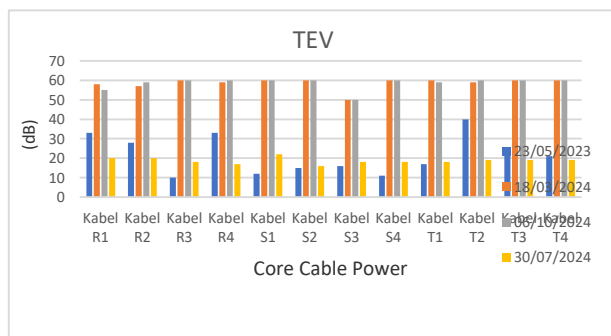
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R 1 pada komponen box kabel terdapat *likely high level internal partial discharge* karena berada di $> 30 \text{ dB}$ dan nilai PPC diantara 0,5 – 6.

Pada pengujian *partial discharge* dengan metode *transient earth voltage* tidak hanya diperoleh hasil dalam bentuk angka saja, namun terdapat *pattern* TEV (Internal PD). Berdasarkan standar pabrikan, hasil seperti gambar 4.1

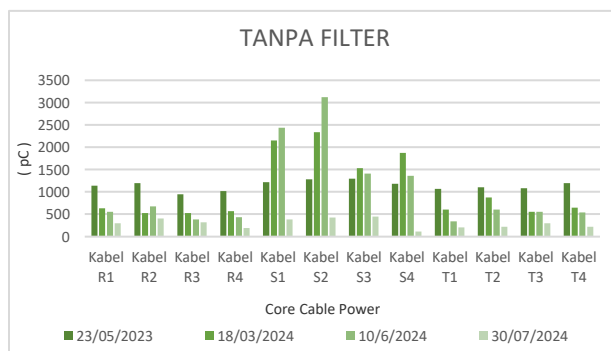
diatas termasuk kategori *likely high level internal* dan dapat diinterpretasikan bahwa *Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV Fasa R 1 memerlukan perhatian segera namun tetap dilakukan pengecekan secara berkala dengan tinjauan visual temuan anomali *Hot Spot Thermovision* pada *Cable Duct Incoming Support*.

Berikut merupakan persamaan (4) dengan menggunakan rumus penguatan tegangan.

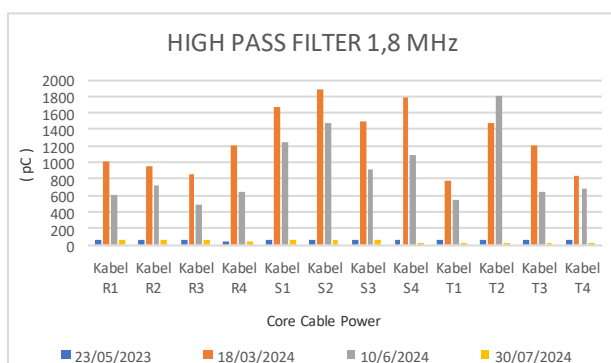
$$\begin{aligned} \text{PPdB} &= 20 \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \\ 58 \text{ dB} &= 20 \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \\ \frac{58 \text{ dB}}{20} &= \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \\ 2,9 \text{ dB} &= \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \\ \text{PPdB} &= 20 \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \\ &= 20 \times 2,9 \text{ dB} \\ &= 58 \text{ dB} \end{aligned}$$



Gambar 11. *Trending Hasil Pengukuran Partial Discharge Metode TEV Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV



Gambar 12. *Trending Hasil Pengukuran Partial Discharge Metode Ultrasound Tanpa Filter Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV



Gambar 13. *Trending Hasil Pengukuran Partial Discharge Metode Ultrasound Tanpa Filter Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV

Hasil perhitungan partial discharge pada kabel Medium Voltage Transformer 1 GI 150 kV menunjukkan bahwa semua fasa dan core kabel termasuk dalam kategori kemungkinan partial discharge tingkat tinggi. Kondisi ini memerlukan penanganan segera karena mengindikasikan adanya logam mengambang atau koneksi yang tidak baik.

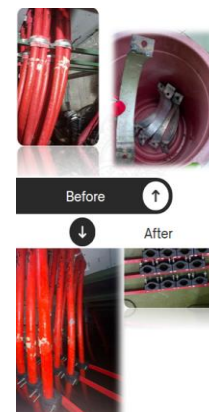
C. Formulasi *Healthy Index Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV

Proses pemberian bobot dalam *Healthy Index Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV menetapkan nilai relatif untuk setiap parameter yang dievaluasi dengan mempertimbangkan urgensi dan signifikansinya. Parameter kritis, seperti kondisi visual *Thermovision Cable Dutch* dan kondisi dielektrik diberikan bobot yang lebih tinggi untuk menekankan pentingnya parameter tersebut dalam menentukan kondisi keseluruhan. Bobot-bobot ini diintegrasikan ke dalam perhitungan *Healthy Index* untuk memberikan evaluasi yang komprehensif terhadap *Cable Medium Voltage*, tingkat keparahan masalah yang teridentifikasi.

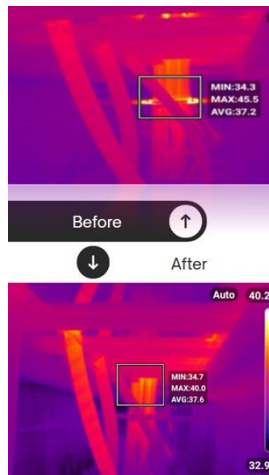
Tabel 6. Perhitungan Total Score *Healthy Index Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV

Health y Index	Hasil Perhitungan Scoring											
	R1	R2	R3	R4	S1	S2	S3	S4	T1	T2	T3	T4
HI Cable Sebelum Perbaikan	11 2	11 2	11 2	11 2	10 5	10 5	10 5	10 5	10 5	10 5	10 5	10 5
HI Cable Setelah Perbaikan	15	15	15	6	15	15	15	6	6	6	15	6

Tabel 6. menunjukan bahwa pada temuan awal status keseluruhan parameter *healthy index* sebelum perbaikan atau saat ditemukan anomali poinnya sebesar > 100 yang mana berada dalam kondisi buruk. Komparasi hasil uji *partial discharge* dengan hasil *thermovision* yang saling berhubungan menjadi titik diketemukannya sumber masalah yang terjadi. Penggantian material dan struktur *incoming support cable* dengan berbahan *non ferro magnetic* dan non konduktif berkontribusi sangat signifikan secara keseluruhan meningkatkan *healthy index Cable Medium Voltage Transformer* 1 GI 150 kV dari kategori buruk menjadi baik bahkan sangat baik. Sehingga, penurunan kualitas isolasi yang telah terjadi bisa diselesaikan penyebabnya dan tidak sampai merusak kualitas isolasinya.



Gambar 14. *Evidence Temuan dan Perbaikan Anomali*



Gambar 15. Evidence Thermovision Sebelum dan Perbaikan Anomali

V. KESIMPULAN

Hasil analisis dan perhitungan manual terhadap *health index* pada *cable medium voltage Transformer* 1 di GI 150 kV menunjukkan beberapa temuan penting. Meskipun sebagian besar deviasi antara pengukuran dan perhitungan arus bocor berada di bawah 5%, ditemukan satu deviasi terbesar sebesar 21,95% pada Fasa S Core 1, yang masih tergolong dalam kondisi baik. Namun, hasil pengukuran *partial discharge* menunjukkan tingkat risiko tinggi di semua fasa dan core kabel, yang memerlukan tindak lanjut segera untuk mencegah potensi kerusakan lebih lanjut.

Korelasi juga ditemukan antara hasil pengukuran *partial discharge* dan *thermovision*, yang mengidentifikasi adanya *hotspot* pada clamp kabel di *incoming cable duct support*. Solusi penggantian material *clamp* dan struktur pendukung dengan bahan *non-ferromagnetik* dan non-konduktif terbukti signifikan dalam meningkatkan *health index* kabel dari kondisi buruk menjadi baik hingga sangat baik. Pemilihan material ini efektif mencegah arus eddy atau looping yang dapat merusak isolasi kabel akibat panas berlebih.

Dengan demikian, kualitas dan material pendukung kabel memiliki pengaruh besar terhadap kesehatan kabel secara keseluruhan, di mana penggunaan material yang tidak tepat dapat menurunkan kondisi kabel dari baik menjadi buruk bahkan kritis.

VI. REFERENSI

- [1] S. S. ve T. A.S, *Medium-Voltage Switchgear Type 8BT2 Extendable Truck-Type Circuit-Breaker Switchgear up to 36kV Metal-Enclosed, Indoor Installation, LSC 2B PM, Single Busbar, Air-Insulated INSTALLATION AND OPERATING INSTRUCTIONS About these Instructions*. 2019.
- [2] Thirumurthy, P. V. Satheesh Kumar, K. P. Meena, G. K. Raja, and R. Arunjothi, "Failure Analysis of Medium Voltage Single Bonded Cable System," *Proc. 2021 5th Int. Conf. Cond. Assess. Tech. Electr. Syst. CATCON 2021*, pp. 28–31, 2021.
- [3] Fluke, "TiS55+/TiS75+ Thermal Imager Users Manual," Everett, U.S.A., 2020.
- [4] B. Kusumo and A. R. Hakim, "Analisis Pendeteksian Dini Arus Bocor Kabel Power 20 KV pada Transformator 1 150/20 di GIS Gandaria," *J. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 53–62, 2022.
- [5] A. Azimuddin and S. S. Refaat, "Analysis of Mechanical Stress Degradation of Medium Voltage Cable Insulation," *2022 23rd Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2022*, no. December, pp. 1–6, 2022.
- [6] J. Reinert, A. Brockmeyer, and R. W. A. A. De Doncker, "Calculation of losses in ferro- and ferrimagnetic materials based on the modified Steinmetz equation," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 37, no. 4, pp. 1055–1061, 2001.
- [7] X. Wan, H. Song, L. Luo, Z. Li, G. Sheng, and X. Jiang, "Pattern Recognition of Partial Discharge Image Based on One-dimensional Convolutional Neural Network," *2018 Cond. Monit. Diagnosis, C. 2018 - Proc.*, 2018.
- [8] Y. P. Sijabat, "Analisis Termal Terhadap Kabel Bawah Tanah Pada Saluran Distribusi 20 KV Menggunakan Finite Element Method Untuk Mengetahui Pengaruh Kondisi Termal Terhadap Ampacity Kabel," p. 97, 2017.
- [9] A. Ghaderi Baayeh and M. Kleemann, "Estimating grounding resistance of medium voltage cables using measured sheaths current," *2023 4th Int. Conf. Smart Grid Metrol. SMAGRIMET 2023*, pp. 1–5, 2023.
- [10] A. A. Al-Dulaimi, M. T. Guneser, and A. A. Hameed, "Investigation of Thermal Modeling for Underground Cable Ampacity under Different Conditions of Distances and Depths," *ISMSIT 2021 - 5th Int. Symp. Multidiscip. Stud. Innov. Technol. Proc.*, pp. 654–659, 2021.
- [11] A. P. Melati, Z. O. Prabandaru, and J. Karim, "Case Study of Internal Partial Discharge in Medium Voltage Power Cable Failure at Rangkasbitung Baru 150kV Substation," *Proc. 2023 4th Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2023*, pp. 449–454, 2023.
- [12] J. S. B. E. W. Platts, *UltraTEV® Plus² Operating Manual*. 2022.
- [13] N. Rosle, N. A. Muhamad, M. N. K. H. Rohani, and M. K. M. Jamil, "Partial Discharges Classification Methods in XLPE Cable: A Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 133258–133273, 2021.
- [14] S. Rhoads, J. White, and T. Mcgrail, "Developing and Using Justifiable Asset Health Indices for Tactical and Strategic Risk Management," 201AD.
- [15] A. N. Jahromi, P. K. Pattabi, and S. Lo, "Advanced Diagnostic Testing of Medium Voltage Utility Cable Systems," *CIGRE Canada Conf. Expo*, pp. 1–8, 2021.
- [16] Y. Liu, R. Lian, J. Chen, X. Gao, B. Ouyang, and W. Li, "The Formation Mechanism of White Substances on Water-blocking Buffer Layer of HV XLPE Cables," *7th IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl. ICHVE 2020 - Proc.*, pp. 1–4, 2020.
- [17] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, "Kabel daya dengan insulasi terekstrusi dan lengkapannya untuk voltase pengenalan dari 1 kV sampai dengan 30 kV," vol. 2, p. 80, 2009.
- [18] S. Intimandiri, *Product Catalogue Sutrado Cable*. Bogor: www.sutrakabel.com, 2021.
- [19] A. Sofwan, A. Multi, R. Soleman, S. Sugianto, and A. K. Septian, "Leak Current Monitoring System on the Ground Cables Medium Voltage Transformer 150/20 kV," *MATEC Web Conf.*, vol. 218, pp. 1–9, 2018.
- [20] Kyoritsu, "Manual Book Kyoritsu Model 2010."
- [21] Kyoritsu, "Manual Book INSTR-KEW3125_en."
- [22] I. Novemsa, "Analisis Keandalan Konduktor Kabin Output Feeder Menggunakan Partial Discharge Meter di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Lengat," 2022.
- [23] P. O. Hermawan, "Analisis Partial Discharge Pada Pengujian Kabel

- XLPE Tegangan Menengah Satu Inti Dan Tiga Inti,” pp. 1–50, 2050.
- [24] K. W. G. H. HIGINBOTHAM;, “Medium Voltage Asset Failure Investigations,” pp. 1–11, 2019.
- [25] R. S. SIPAHUTAR and JURUSAN, “PENDETEKSIAN DAN IDENTIFIKASI JENIS PARTIAL DISCHARGE DENGAN METODE ANALISA POLA PHASE RESOLVED PARTIAL DISCHARGE (PRPD),” *Pharmacogn. Mag.*, vol. 75, no. 17, pp. 399–405, 2021.
- [26] C. International, E. Commission, V. Deshpande, C. Power, and O. No, “IEC 62271-200,” *Order A J. Theory Ordered Sets Its Appl.*, vol. 1997, pp. 1–25, 2004.