



Analisis Kondisi Transformator Tenaga dan Rekomendasi Tindak Lanjut Berbasis Health Index

I Made Gusmara Nusaman^{*}, Musa Partahi Marbun

Institut Teknologi PLN, DKI Jakarta, Indonesia

Email: ^{1,*}gusmara2210040@itpln.ac.id, ²musa@itpln.ac.id

Email Penulis Korespondensi: gusmara2210040@itpln.ac.id

Abstrak—Transformator merupakan peralatan utama dalam sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi menyesuaikan level tegangan sesuai kebutuhan sistem. Seiring waktu operasi, kinerja transformator dapat menurun akibat faktor usia, pembebanan, dan frekuensi gangguan, sehingga berpotensi menurunkan keandalan pasokan listrik. Penelitian ini dilakukan pada 22 unit transformator 150 kV tipe GIS berkapasitas 60 MVA yang berada di 8 GIS tersebar dengan metode analisis berbasis Health Index. Hasil penerapan Health Index menunjukkan bahwa 19 unit transformator (86,36%) berada pada kategori Good - Very Good, sedangkan 3 unit (13,64%) berada pada kategori Caution - Very Poor. Validasi dilakukan pada sampel yang mewakili kategori Very Good, Poor, dan Very Poor, dan menunjukkan kesesuaian yang baik antara nilai Health Index dengan hasil Inside Check, pengujian laboratorium, serta riwayat operasional dan pengujian lanjutan. Analisis korelasi memperlihatkan hubungan negatif yang kuat antara Health Index dan usia operasi dengan $r = -0,821$, menandakan bahwa penambahan usia operasi berkontribusi signifikan terhadap penurunan nilai Health Index. Dari hasil analisis tersebut, direkomendasikan tiga tindak lanjut, yaitu pengoperasian normal, operasi dengan pemantauan intensif dan berkala, serta penggantian transformator yang merupakan representasi dari tingkat kesehatan transformator pada keseluruhan sampel.

Kata Kunci: Health Index; Korelasi; Transformator

Abstract—Transformers are essential equipment in electric power transmission systems that function to adjust voltage levels according to system requirements. Over the course of operation, transformer performance may degrade due to aging, loading conditions, and the frequency of disturbances, which can potentially reduce the reliability of power supply. This study examined 22 units of 150 kV GIS-type power transformers with a capacity of 60 MVA located across 8 GIS substations, using a Health Index-based analysis method. The application of the Health Index showed that 19 transformers (86.36%) were in the Good-Very Good category, while 3 units (13.64%) were in the Caution-Very Poor category. Validation was carried out on samples representing the Very Good, Poor, and Very Poor categories, and it demonstrated strong agreement between the Health Index values and the results of inside check, laboratory tests, as well as operational history and further in-depth testing. Correlation analysis indicated a strong negative relationship between the Health Index and transformer operating age ($r = -0.821$), suggesting that increasing operation age significantly contributes to a decrease in the Health Index value. Based on the analysis, three follow-up actions are recommended: normal operation, operation with intensive and periodic monitoring, and transformer replacement, representing the overall health levels of the transformers in the study sample.

Keywords: Health Index; Correlation; Transformer

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem transmisi tenaga listrik yang berperan penting dalam mengatur level tegangan agar sesuai dengan kebutuhan sistem dan karakteristik beban. (Wajid et al., 2023a) Keandalan transformator sangat menentukan kontinuitas penyaluran energi listrik, terutama pada sistem dengan tingkat konsumsi tinggi seperti wilayah perkotaan. Seiring dengan bertambahnya usia operasi, peningkatan beban, serta frekuensi gangguan yang terjadi, performa transformator cenderung mengalami penurunan yang berdampak pada risiko kegagalan sistem (Epiwardi et al., 2021). Kondisi ini menjadikan evaluasi kesehatan transformator sebagai aspek krusial dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan (Ipriansyah et al., 2024). Salah satu pendekatan yang berkembang dalam evaluasi kondisi transformator adalah metode *Health Index*. Metode ini mengintegrasikan berbagai parameter hasil pengujian, seperti karakteristik minyak isolasi, *Dissolved Gas Analysis* (DGA), serta pengujian Furan untuk menilai degradasi isolasi kertas. Pendekatan ini memungkinkan kondisi transformator direpresentasikan dalam bentuk indeks kuantitatif yang lebih mudah diinterpretasikan dalam pengambilan keputusan pemeliharaan. Dengan demikian, metode ini tidak hanya berfungsi sebagai alat diagnosis, tetapi juga sebagai dasar dalam perencanaan strategi pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) (Jahromi et al., 2009). Meskipun demikian, dalam praktiknya masih terdapat berbagai permasalahan yang menghambat optimalisasi penerapan metode *Health Index*. Salah satu masalah utama adalah belum adanya standar pembobotan parameter yang bersifat universal, sehingga hasil penilaian dapat berbeda antar penelitian maupun antar institusi. Selain itu, keterbatasan integrasi antara data pengujian dengan data historis pemeliharaan sering kali menyebabkan interpretasi kondisi transformator menjadi kurang komprehensif. Permasalahan lainnya adalah minimnya validasi hasil *Health Index* terhadap kondisi aktual di lapangan, sehingga akurasi metode ini dalam merepresentasikan kondisi nyata transformator masih perlu ditingkatkan (Zuroida et al., 2025).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji penggunaan metode *Health Index* dalam penilaian kondisi transformator, namun masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yang perlu dikaji lebih lanjut. Penelitian oleh (Rosma et al., 2025) mengembangkan pendekatan *Health Index* untuk manajemen aset transformator, namun masih berfokus pada aspek konseptual tanpa validasi lapangan yang mendalam. Selanjutnya (Sirait et al., 2024a) menekankan



pentingnya pemilihan fitur dalam meningkatkan akurasi diagnosis, tetapi belum mengintegrasikan faktor usia operasi secara eksplisit dalam model penilaian. Penelitian oleh (Sirait et al., 2024b) telah menerapkan metode *Health Index* pada transformator, namun terbatas pada analisis parameter tanpa mengkaji hubungan korelatif dengan faktor operasional. Sementara itu, (Wajid et al., 2023b) mengembangkan analisis laju penurunan *Health Index*, namun belum mengaitkannya dengan validasi berbasis inspeksi internal (*inside check*) dan data historis pemeliharaan.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, terdapat setidaknya empat kesenjangan utama. Pertama, kurangnya integrasi antara nilai *Health Index* dengan data validasi lapangan seperti *inside check* dan histori pemeliharaan. Kedua, keterbatasan analisis hubungan antara *Health Index* dengan usia operasi transformator secara kuantitatif. Ketiga, belum optimalnya penerapan metode ini pada transformator tipe GIS yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan transformator konvensional. Keempat, masih minimnya penelitian yang menghasilkan rekomendasi tindak lanjut yang spesifik dan aplikatif berdasarkan kategori kondisi transformator (Triyatne & Aribowo, 2025). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis kondisi 22 unit transformator 150 kV tipe GIS berkapasitas 60 MVA yang tersebar pada 8 lokasi gardu induk di wilayah kerja PT PLN (Persero) UPT Gandul. Wilayah ini merupakan area strategis dengan tingkat kebutuhan energi listrik yang tinggi, sehingga keandalan transformator menjadi faktor yang sangat penting. Analisis dilakukan menggunakan metode *Health Index* untuk memperoleh gambaran kondisi transformator secara kuantitatif, yang kemudian divalidasi menggunakan data histori pemeliharaan, wawancara dengan pengelola aset, serta hasil *inside check* dan pengujian lanjutan lainnya (Lestari et al., 2020).

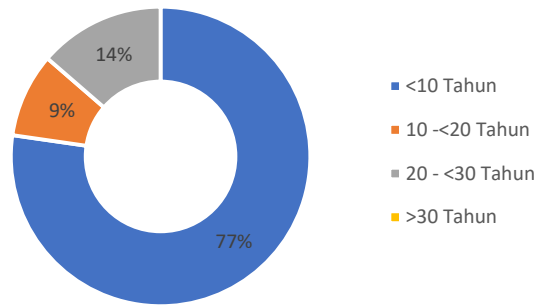
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi 22 unit transformator 150 kV tipe GIS (*Gas Insulated Switchgear*) berkapasitas 60 MVA yang tersebar pada 8 lokasi GIS 150 kV di wilayah kerja PT PLN (Persero) UPT Gandul, yang merupakan salah satu unit strategis dengan peran vital dalam menjaga keandalan sistem kelistrikan di sebagian wilayah Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Depok, dan Tangerang Selatan. Analisis kondisi transformator pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Health Index* untuk memperoleh gambaran tingkat kesehatan transformator secara kuantitatif. *Health Index* tersebut selanjutnya divalidasi dengan menggunakan data histori pemeliharaan, wawancara pengelola aset, *inside check* serta hasil pengujian lain guna memastikan kesesuaian antara nilai *Health Indeks* dan kondisi aktual peralatan. Selanjutnya dilakukan analisis korelasi antara nilai *Health Index* dengan usia operasi transformator untuk melihat kecenderungan kondisi transformator seiring bertambahnya usia operasi (Rahmadani et al., 2022). Berdasarkan keseluruhan proses tersebut, maka dapat dibuat suatu rekomendasi tindak lanjut yang paling sesuai untuk setiap kategori kondisi sehingga diharapkan mampu meningkatkan keandalan transformator, mengoptimalkan strategi pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*), serta mendukung pengambilan keputusan pengelolaan aset yang lebih tepat dan berkelanjutan (Kautsar, 2024). Selain itu, penelitian ini juga menganalisis hubungan antara nilai *Health Index* dengan usia operasi transformator menggunakan pendekatan korelasi statistik. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola degradasi kondisi transformator seiring waktu, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pemeliharaan jangka panjang. Dengan pendekatan ini, penelitian tidak hanya memberikan gambaran kondisi saat ini, tetapi juga memberikan insight terhadap tren penurunan performa transformator (Muhamad Sadewa & Endi Permata, 2024).

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada beberapa aspek penting. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan metode *Health Index* dengan proses validasi berbasis data lapangan secara komprehensif, sehingga meningkatkan akurasi dalam merepresentasikan kondisi aktual transformator. Kedua, penelitian ini memberikan analisis korelasi antara *Health Index* dan usia operasi, yang dapat menjadi dasar dalam pengembangan model prediksi umur sisa (*remaining life prediction*). Ketiga, penelitian ini memperluas penerapan metode *Health Index* pada transformator tipe GIS yang masih relatif terbatas dalam kajian sebelumnya. Keempat, penelitian ini menghasilkan rekomendasi tindak lanjut yang spesifik berdasarkan kategori kondisi transformator, mulai dari operasi normal, pemantauan intensif, hingga penggantian peralatan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan strategi pemeliharaan berbasis kondisi, meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan aset transformator secara lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Populasi Transformator

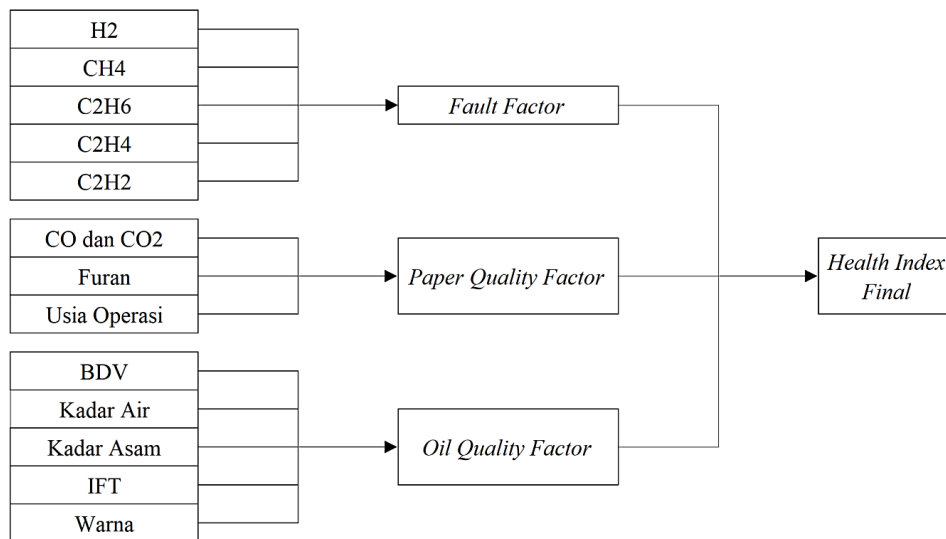
Gambar 1 merupakan data sebaran populasi 22 unit transformator di 8 GIS 150 kV tersebar di wilayah kerja UPT Gandul dan sebagian besar transformator memiliki usia yang relatif muda dengan usia operasi dibawah 10 tahun sebanyak 17 unit atau 77% dari total populasi yang akan dianalisa. Selain itu terdapat usia transformator kategori tua sejumlah 3 unit atau setara 14% dari total populasi dan 2 unit transformator atau 9% dari total populasi berada pada rentang usia operasi 10 – 20 tahun.



Gambar 1. Populasi Transformator berdasarkan Usia Operasi

2.2 Metode Health Index

Tujuan utama dari penentuan *Health Index* Transformator adalah untuk mengevaluasi kondisi peralatan berdasarkan beragam kriteria degradasi yang berlangsung secara kumulatif, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai sisa umur operasional transformator (Benhmed et al., 2018). Data-data yang diperlukan dalam perhitungan *Health Index* antara lain hasil uji DGA representative dari *Fault Factor*, hasil uji Furan dan Usia operasi representatif dari *Paper Quality Factor*, serta hasil uji Karakteristik Minyak representatif dari *Oil Quality Factor*. Hasil perhitungan masing-masing faktor selanjutnya digunakan sebagai data penyusun *Health Index Final*. Rincian desain perhitungan *Health Index* ditampilkan pada Gambar 2 berikut (Tamma et al., 2021):



Gambar 2. Desain perhitungan Health Index Transformator Tenaga

Pembobotan parameter dalam metode *Health Index* ditetapkan untuk merepresentasikan kontribusi relatif setiap parameter terhadap tingkat kesehatan transformator tenaga secara menyeluruh. Parameter penilaian dikelompokkan ke dalam tiga faktor utama, yaitu *Fault Factor*, *Paper Quality Factor*, dan *Oil Quality Factor*. Penentuan bobot dilakukan berdasarkan kombinasi pendapat ahli, pengalaman operasional di lapangan, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan, sehingga bobot yang dihasilkan mampu menggambarkan sensitivitas setiap parameter terhadap penurunan nilai *Health Index*.

Tabel 1. Bobot Faktor dan Parameter

Factor	Parameter	Weighting Parameter	Weighting Factor
Fault Factor	H2	0,125	0,348
	CH4	0,1875	
	C2H6	0,1875	
	C2H4	0,1875	
	C2H2	0,3125	
Paper Quality Factor	CO dan CO2	0,171	0,436
	2FAL	0,234	
	Usia Operasi	0,214	
Oil	BDV	0,169	0,216



Factor	Parameter	Weighting Parameter	Weighting Factor
Quality Factor	Kadar Air	0,108	
	Kadar Asam	0,139	
	IFT	0,124	
	Warna	0,114	

Dalam proses perhitungan *Health Index* Transformator, setiap parameter terlebih dahulu ditentukan nilainya dengan mengacu pada batas yang telah ditetapkan oleh standar internasional. Setelah semua nilai parameter diperoleh, keseluruhannya dijumlahkan untuk menghasilkan nilai akhir dari *Health Index* Transformator. Adapun parameter-parameter yang digunakan yaitu hasil analisa DGA, Hasil *pengujian Furan* dan pengujian karakteristik minyak transformator. Persamaan untuk mencari nilai dari setiap parameter adalah sebagai berikut (Hernanda et al., 2015):

$$HI_{factor} = \frac{\sum_{i=1}^n si \times wi}{\sum_{i=1}^n wi} \tag{1}$$

HI_{factor} merupakan indeks kesehatan yang merepresentasikan kondisi setiap parameter berdasarkan hasil pengukuran tertentu. Nilai ini diperoleh dari kombinasi antara skor parameter (si) sebagai representasi tingkat pencapaian, dan faktor bobot parameter (wi) yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif, sehingga menghasilkan evaluasi yang lebih proporsional, objektif, dan komprehensif terhadap kondisi keseluruhan sistem. Perhitungan akhir *Health Index* dilakukan dengan mengalikan faktor *Health Index* ($HIFj$) dengan bobot masing-masing faktor (Kj). Nilai hasil perkalian tersebut kemudian dibagi dengan skor maksimum dan dikonversi ke skala 0 hingga 100. Dalam menentukan nilai $HIFj$, hasil evaluasi setiap parameter yang dinyatakan dalam kategori 0, 1, 2, 3, dan 4 dengan rincian sesuai Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Skor Faktor dari setiap Health Index Faktor

Skor Faktor	Kode	Kondisi	Health Index Faktor
4	A	Sangat Baik	< 1.2
3	B	Baik	$1.2 \leq x < 1.5$
2	C	Waspada	$1.5 \leq x < 2$
1	D	Buruk	$2 \leq x < 3$
0	E	Sangat Buruk	≥ 3

Untuk mencari nilai akhir dari *Health Index* Transformator maka dapat menggunakan persamaan berikut:

$$HI_{final} = \frac{\sum_{j=1}^n Kj \times HIFj}{\sum_{j=1}^n Kj} \times 100\% \tag{2}$$

Hasil perhitungan akhir akan membagi nilai ke dalam indeks angka dari 0 sampai dengan 100 dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. Penilaian Akhir Health Index Transformator

HI	Kondisi	Prediksi Usia
85 - 100	<i>Very Good</i>	> 15 Tahun
70 - 85	<i>Good</i>	> 10 Tahun
50 - 70	<i>Caution</i>	Sampai 10 Tahun
30 - 50	<i>Poor</i>	< 3 Tahun
0 - 30	<i>Very Poor</i>	

2.3 Metode Validasi dengan Interpretasi DGA

2.3.1 Metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG)

Pengujian DGA dilakukan pada sampel minyak isolasi yang diambil dari transformator, selanjutnya gas-gas terlarut yang teridentifikasi dilakukan ekstraksi, pemisahan, identifikasi dan dilakukan perhitungan terhadap kuantitasnya dalam satuan ppm (*part per million*). Standar acuan yang digunakan dalam pengujian DGA adalah IEEE C57.104 tahun 2008 (Committee of the IEEE Power Engineering Society, 2006). Dalam standar tersebut beberapa metode dikemukakan seperti metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), Ratio Roger, Segitiga Duval, dan Ratio Doernenburg (Siswanto et al., 2022).

Tabel 1. Standar Batasan Nilai DGA

Dissolve Key Gas Concentration Limits [μL/L (ppm)]	Skor			
	1	2	3	4
Hydrogen (H ₂)	100	101-700	701-1800	>1800
Methane (CH ₄)	120	121-400	401-1000	>1000
Acetylene (C ₂ H ₂)	1	2-9	10-35	>35

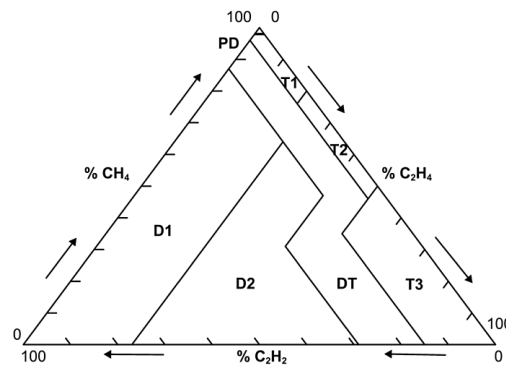
Dissolve Key Gas Concentration Limits [µL/L (ppm)]	Skor			
	1	2	3	4
Ethylene (C ₂ H ₄)	50	51-100	101-200	>200
Ethane (C ₂ H ₆)	65	66-100	101-150	>150
Carbonmonoxide (CO)	350	351-570	571-1400	>1400
Carbondioxide (CO ₂)	2500	2500-4000	4001-10000	>10000
TDCG	720	721-1920	1921-4630	>4630

Untuk menghitung TDCG maka dapat menggunakan persamaan berikut:

$$TDCG = H_2 + CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4 + C_2H_6 + CO \tag{3}$$

2.3.2 Metode Segitiga Duval

Segitiga Duval hanya menggunakan 3 buah gas dalam perhitungannya, yaitu metana, etilena dan asetilena (Silalahi, n.d.).



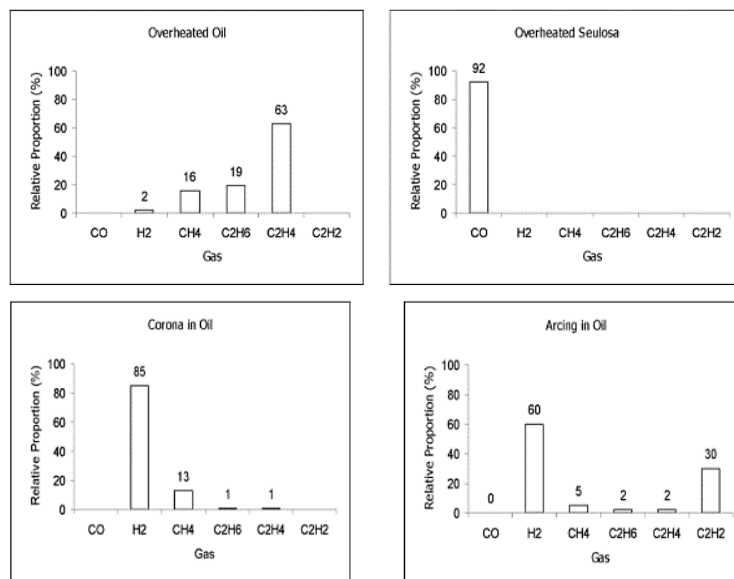
Gambar 4. Diagram Segitiga Duval

Metoda perhitungan persentasi relatif, digunakan pada Segitiga Duval adalah mengacu kepada hasil pengujian DGA, bila (C₂H₂) = x, (C₂H₄) = y, (CH₄) = z, dalam µL/L (ppm), pertama hitung penjumlahan (x + y + z), lalu hitung persentase relatif setiap gas:

$$\%C_2H_2 = 100x/(x + y + z); \%C_2H_4 = 100y/(x + y + z); \%CH_4 = 100z/(x + y + z) \tag{4}$$

2.3.2 Metode Key Gas

Metode *Key Gas* adalah salah satu teknik interpretasi hasil DGA di mana fokus diberikan pada konsentrasi individu dari beberapa gas kunci yang terbentuk akibat degradasi minyak isolasi dan kertas isolasi dalam transformator. Metode ini menyimpulkan bahwa jika salah satu dari gas kunci tersebut berada di atas batasan tertentu, maka dapat digunakan sebagai indikasi adanya kondisi fault pada transformator, contohnya terjadi pemanasan berlebih, arcing, dan partial discharge. (Fauzan et al., 2024)

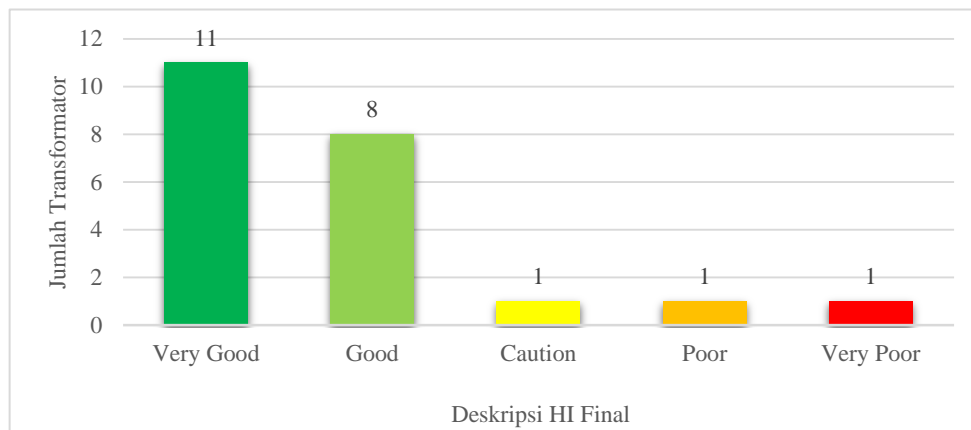


Gambar 5. Pola Kemunculan Gas pada Metode Key Gas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *Health Index* Transformator

Perhitungan *Health Index* dilakukan secara bertahap dimulai dari menghitung nilai *Health Index* dari masing-masing faktor yaitu *Fault Factor*, *Paper Quality Factor* dan *Oil Quality Factor*. Setelah diperoleh nilai *Health Index* masing-masing faktor kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *Health Index Final* untuk 22 unit transformator di 8 GIS 150 kV. Pada transformator GIS, dilakukan penilaian *health index* berdasarkan jenis sampel pengujian yaitu *Bottom Maintank* dan *Tubular*. Dengan menggunakan *Worst Case Rule* yaitu kondisi transformator ditentukan oleh kondisi terburuk dari komponen yang dinilai maka berikut *Health Index Final* untuk keseluruhan transformator.



Gambar 6. Health Index Final Transformator

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa hasil perhitungan *Health Index final* menunjukkan bahwa sebanyak 19 unit transformator atau sebesar 86,36% transformator berada pada kategori *Good* dan *Very Good*. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa sebagian besar transformator masih berada dalam kondisi aman dan andal untuk operasi. Namun demikian, terdapat sebanyak 3 unit transformator atau sebesar 13,64% transformator tenaga yang termasuk dalam kategori *Caution*, *Poor* dan *Very Poor*. Transformator pada kategori ini menunjukkan kondisi yang membutuhkan pemantauan secara intensif dan inspeksi lanjutan guna menentukan tindakan korektif yang tepat.

3.2 Validasi *Health Index* Kategori *Poor* dan *Very Poor*

Validasi lanjutan pada 2 unit transformator dengan kategori *Poor* dan *Very Poor* yaitu dengan melakukan analisa DGA menggunakan metode interpretasi TDCG, *Key Gas* dan Segitiga Duval, serta dilakukan *shutdown measurement test* transformator dan apabila menunjukkan adanya anomali maka dilanjutkan dengan *inside check* transformator.

Tabel 5. Interpretasi hasil Uji DGA

Lokasi		Interpretasi DGA		
		TDCG	Key Gas	Segitiga Duval
GIS 150 kV Bintaro	TRF#1 150/20kV	Kondisi 2	Dominan CO	T3
GIS 150 kV Kemang	TRF#3 150/20kV	Kondisi 1	Dominan CO	D2

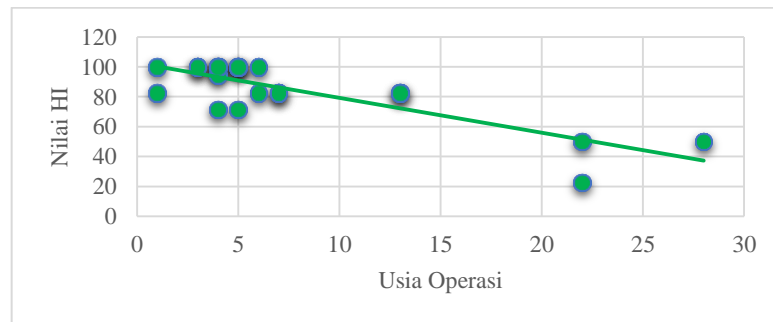
Tabel 6. Shutdown Measurement Test dan Inside Check

Lokasi	Hasil Uji				<i>Inside Check</i>
	RDC	Tan Delta	Tahanan Isolasi	SFRA	
TRF#1 150/20kV GIS 150 kV Bintaro	Baik	Buruk Tan Delta Belitan Sekunder >1%	Baik	Anomali: sisi primer Pada Region 1 <i>Core Influence</i> (< 2 kHz), terlihat grafik fasa T yang ditandai dengan warna biru memiliki pola yang berbeda dengan fasa R dan S.	1. Korosi pada beberapa bagian sambungan 2. Kertas Isolasi robek dan kering 3. Deformasi Core Yoke
TRF#3 150/20kV GIS 150 kV Kemang	Baik	Baik	Baik	Anomali: sisi primer Pada Region 1 <i>Core Influence</i> (< 2 kHz), dan Region 4 <i>Earthing lead influence</i> (> 1 MHz), terlihat grafik fasa T yang ditandai dengan warna biru memiliki pola yang berbeda dengan fasa R dan S.	1. Adanya bercak discharge (treeing) pada pertinak magnetik shunt winding Primer Fasa T 2. Ditemukan material clamp winding sisi

Lokasi	Hasil Uji				Inside Check
	RDC	Tan Delta	Tahanan Isolasi	SFRA	
					primer terlepas 3. Indikasi hotspot dan mengakibatkan terjadi peluahan Material

TRF#1 150/20 kV (GIS 150 kV Bintaro) menunjukkan TDCG Kondisi 2 dengan gas dominan CO (indikasi degradasi termal isolasi kertas) dan Duval zona T3 (gangguan termal suhu tinggi), hasil *Shutdown Measurement Test* : tan delta buruk (belitan sekunder >1%) serta SFRA anomali Region 1 di sisi primer (fasa T berbeda). Temuan *inside check* memperkuat adanya masalah internal: korosi sambungan, kertas isolasi robek/kering, dan deformasi *core yoke* (degradasi mekanik dan isolasi). Sedangkan TRF#3 150/20 kV (GIS 150 kV Kemang) berada pada TDCG Kondisi 1 dengan gas dominan CO (indikasi degradasi termal isolasi kertas), namun Duval zona D2 mengindikasikan gangguan listrik berenergi tinggi (*arcing*). hasil *Shutdown Measurement Test* : SFRA anomali Region 1 dan Region 4 di sisi primer (fasa T berbeda). *Inside check* ditemukan jejak *discharge (treeing)* pada *shunt winding* fasa T, *clamp winding* terlepas, serta indikasi *hotspot*/peluahan material.

3.3 Korelasi HI Dengan Usia Operasi



Gambar 7. Korelasi Health Index dengan Usia Operasi Transformator

Grafik *Scatter plot* tersebut menampilkan Pola yang menunjukkan adanya korelasi negatif, di mana semakin lama transformator beroperasi, semakin rendah nilai *Health Index* yang dimilikinya. Transformator dengan usia operasi kurang dari 10 tahun umumnya menunjukkan nilai *Health Index* yang tinggi, berada pada kisaran 80–100, yang mencerminkan kondisi transformator yang masih baik. Sebaliknya, transformator yang telah beroperasi lebih dari 20 tahun cenderung memiliki nilai *Health Index* yang lebih rendah.

Tabel 7. Korelasi Health Index dengan Usia Operasi Transformator

	Usia	Skor HI Final
Usia	1	
Skor HI Final	-0,821	1

Tabel 7 merupakan hasil *running corellation* pada 22 unit transformator dengan menggunakan *tools data analysis* yang ada pada aplikasi Microsoft excel. Dalam penelitian ini, nilai koefisien korelasi Pearson sebesar $r = -0,821$ yang menunjukkan bahwa usia operasi memiliki hubungan yang kuat terhadap tingkat kesehatan transformator.

3.4 Rekomendasi tindak lanjut

Berdasarkan hasil perhitungan *Health Index Final*, sebanyak 19 unit transformator berada pada kategori *Good* dan *Very Good* dapat dioperasikan normal, sebanyak 1 unit transformator dengan kategori *Caution* dapat dioperasikan kembali namun perlu dilakukan pemantauan intensif dan berkala serta sebanyak 2 unit transformator dengan kategori *poor* dan *very poor* direkomendasikan untuk segera dilakukan penggantian.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Health Index pada penelitian ini mampu memberikan gambaran kondisi transformator secara menyeluruh. Hasil penilaian menunjukkan bahwa sebanyak 19 unit transformator atau sekitar 86,36% berada pada kategori *Good* dan *Very Good*, yang menunjukkan bahwa sebagian besar transformator masih dalam kondisi operasional yang baik. Sementara itu, terdapat 3 unit transformator atau sebesar 13,64% yang termasuk dalam kategori *Caution*, *Poor*, dan *Very Poor*, sehingga memerlukan perhatian dan penanganan lebih lanjut dalam pengoperasiannya. Proses validasi Health Index dilakukan dengan mengambil beberapa sampel transformator yang mewakili kategori *Very Good*, *Poor*, dan *Very Poor*. Hasil validasi menunjukkan adanya



kesesuaian antara nilai Health Index dengan hasil inside check, pengujian laboratorium, serta riwayat operasional transformator yang didukung oleh pengujian lanjutan secara lebih mendalam. Temuan ini mengindikasikan bahwa nilai Health Index yang diperoleh dalam penelitian ini mampu merepresentasikan kondisi aktual transformator dengan tingkat akurasi yang baik. Selain itu, hasil analisis juga menunjukkan adanya korelasi negatif yang kuat antara nilai Health Index dan usia operasi transformator dengan nilai koefisien korelasi sebesar $r = -0,821$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama usia operasi transformator, maka nilai Health Index cenderung mengalami penurunan. Dengan demikian, faktor usia operasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kondisi kesehatan transformator. Berdasarkan hasil perhitungan Health Index, proses validasi kondisi, serta analisis korelasi yang telah dilakukan, diperoleh tiga rekomendasi tindakan terhadap kondisi transformator, yaitu pengoperasian normal, pengoperasian dengan pemantauan intensif dan berkala, serta penggantian transformator. Rekomendasi tersebut diberikan sebagai bentuk tindak lanjut yang merepresentasikan kondisi keseluruhan sampel transformator berdasarkan nilai Health Index yang diperoleh dalam penelitian ini.

REFERENCES

- Benhmed, K., Mooman, A., Younes, A., Shaban, K., & El-Hag, A. (2018). Feature Selection For Effective Health Index Diagnoses Of Power Transformers. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 33(6), 3223–3226. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2017.2762920>
- Committee Of The IEEE Power Engineering Society, T. (2006). *IEEE Std C57.14-2005, IEEE Guide For The Interpretation Of Gases Generated In Silicone-Immersed Transformers* (Vol. 2008, Number February).
- Epiwardi, Ruwahyoto, & Heri Sungkowo. (2021). Perencanaan Dan Analisis Kelayakan Investasi Proyek Pemasangan Kapasitor Bank Pada Instalasi Pemanfaatan Energi Listrik. *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, 9(1), 77–82. <https://doi.org/10.33795/Jtia.V9i1.16>
- Fauzan, A., Pharmadita, J., Habibie, A. S., Prayogo, H., Leksono, T. A., Gumilang, H., Purwoko, C., Bimbingan, D. L., Febriandi, F., Pratama, A., & Prasetyo, D. (2024). *Pedoman Pemeliharaan Transformator*. (0520), 1–145.
- Hernanda, I. G. N. S., Mulyana, A. C., Asfani, D. A., Negara, I. M. Y., & Fahmi, D. (2015). Application Of Health Index Method For Transformer Condition Assessment. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2015-Janua*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2014.7022433>
- Ipriansyah, I., Bustani, B., Susilo, R. A., Djalil, S., Qomaruddin, Q., & Arbain, A. (2024). Energize Distribution Transformer 1 At Electrical Engineering Workshop State Polytechnic Of Samarinda. *International Journal Of Current Science Research And Review*, 07(11). <https://doi.org/10.47191/Ijcsrr/V7-I11-32>
- Jahromi, A. N., Piercy, R., Cress, S., Service, J. R. R., & Fan, W. (2009). An Approach To Power Transformer Asset Management Using Health Index. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 25(2), 20–34. <https://doi.org/10.1109/MEI.2009.4802595>
- Kautsar, A. (2024). 20kv Cubicle Maintenance At PT PLN (Persero) APJ Banten Utara Rayon Prima Krakatau. *Fidelity: Jurnal Teknik Elektro*, 6(2), 41–48. <https://doi.org/10.52005/Fidelity.V6i2.226>
- Lestari, N., Suwanto, H., & Gunawan, R. (2020). Sistem Pemantauan Kubikel Tegangan Menengah Berbasis Internet Of Things. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 5(1), 37–42. <https://doi.org/10.32897/Infotronik.2020.5.1.5>
- Muhamad Sadewa, & Endi Permata. (2024). Analisis Desain Kubikel 20kv Untuk Peningkatan Efisiensi Dan Keandalan Sistem Distribusi Listrik. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(6), 116–129. <https://doi.org/10.61132/Venus.V2i6.633>
- Rahmadani, A., Windarko, N. A., & Raharja, L. P. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Serta Kendali Dua Heater Pada Kubikel 20 Kv Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(2), 219. <https://doi.org/10.24843/MITE.2022.V21i02.P09>
- Rosma, H. I., Ihsan, B., & Pikri, J. (2025). Transformer Health Condition Analysis Based On Health Index And Failure Method. *Jurnal Teknik Elektro*, 27(2), 121–130. <https://doi.org/10.24912/Tesla>
- Silalahi, D. (N.D.). *Dissolved Gas Anomaly In Healthy Transformer Oil: Internal Fault Detection Triggered By Abnormal Operation Noise*.
- Sirait, J., Nugroho, T. A., & Prayogi, S. (2024a). Studi Analisis Tahanan Isolasi Dan Estimasi Umur Transformator Menggunakan Metode Health Index Di PT PLN (Persero) UPT Cawang. *Techno.Com*, 23(3), 542–551. <https://doi.org/10.62411/Tc.V23i3.10896>
- Sirait, J., Nugroho, T. A., & Prayogi, S. (2024b). Studi Analisis Tahanan Isolasi Dan Estimasi Umur Transformator Menggunakan Metode Health Index Di PT PLN (Persero) UPT Cawang. *Agustus*, 23(3), 542–551.
- Siswanto, A., Rohman, A., Suprijadi, S., Baehaqi, M., & Arifudin, A. (2022). Analisis Karakteristik Minyak Transformator Menggunakan Pengujian Dissolved Gas Analysis (Dga) Pada Ibt 1 Gardu Induk. *Foristek*, 12(1), 30–42. <https://doi.org/10.54757/Fs.V12i1.142>
- Tamma, W. R., Prasojo, R. A., & Suwarno. (2021). High Voltage Power Transformer Condition Assessment Considering The Health Index Value And Its Decreasing Rate. *High Voltage*, 6(2), 314–327. <https://doi.org/10.1049/Hve2.12074>



- Triyatne, Y., & Aribowo, D. (2025). Analisis Keandalan Trafo 2000 Kva Dan Panel Kubikel 20 Kv Melalui Preventive Maintenance PT Surya Toto Indonesia Tbk. *JURNAL SURYA TEKNIKA*, 12(2), 299–308. <https://doi.org/10.37859/Jst.V12i2.10441>
- Wajid, A., Rehman, A. U., Iqbal, S., Pushkarna, M., Hussain, S. M., Kotb, H., Alharbi, M., & Zaitsev, I. (2023a). Comparative Performance Study Of Dissolved Gas Analysis (DGA) Methods For Identification Of Faults In Power Transformer. *International Journal Of Energy Research*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9960743>
- Wajid, A., Rehman, A. U., Iqbal, S., Pushkarna, M., Hussain, S. M., Kotb, H., Alharbi, M., & Zaitsev, I. (2023b). Comparative Performance Study Of Dissolved Gas Analysis (DGA) Methods For Identification Of Faults In Power Transformer. *International Journal Of Energy Research*, 2023, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/9960743>
- Zuroida, A., Galuh Prawetri Citra Handani, Hanifiyah Darna Fidya Amaral, Rohmanita Duanaputri, & Bayu Prasetyo. (2025). Evaluasi Kapasitas Genset Sebagai Sistem Back-Up Energi Listrik Di Gedung Sekretariat Daerah. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 12(1), 37–42. <https://doi.org/10.33795/Elposys.V12i1.6837>