

Analisis Prediksi Dan Kondisi Umur Transformator pada BAT GT 2.1 PLTGU Priok Menggunakan Metode Health Index

Ahmad Rosyiddin^{1*}, Badaruddin²

¹PT. Indonesia Power, Jakarta

²Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*ahmadrosyiddin23@gmail.com

Abstrak— Transformator merupakan salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Fungsi utama transformator adalah sebagai penyalur daya atau tegangan, serta mengubah level tegangan dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain. Transformator yang dilakukan penelitian merupakan transformator daya BAT GT 2.1 PLTGU Priok yang digunakan untuk step up tegangan dari keluaran generator menuju jaringan transmisi. Penelitian kondisi kesehatan dan prediksi umur transformator penting untuk dilakukan supaya diketahui bagaimana kondisi dan tindakan yang diperlukan pada transformator. Salah satu metode yang digunakan untuk analisa kondisi transformator adalah metode health index. Metode health index sendiri menggunakan 4 parameter pengujian transformator seperti parameter Dissolved Gas Analysis (DGA), kualitas minyak, furan dan kondisi tap changer. Dari hasil perhitungan total health index transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok nilai yang didapatkan adalah 82%. Berdasarkan nilai health index tersebut maka transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok berada dalam kondisi baik dan normal serta diperkirakan mampu beroperasi lebih dari 10 tahun.

Kata Kunci : DGA, Health Index, Kualitas Minyak, Furan, Tap Changer, Transformator

DOI: 10.22441/jte.2023.v14i2.006

I. PENDAHULUAN

Saat ini energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi industri dan perumahan. Salah satu peralatan yang berperan penting dalam proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit menuju konsumen adalah transformator daya. Peran transformator daya merupakan peralatan yang penting dan beroperasi secara terus- menerus. Oleh karena itu, penting untuk dilakukan monitoring dan pemantauan kondisi transformator daya supaya terhindar dari kerusakan dan kegagalan operasi serta menjaga umur transformator daya. [1]

Transformator memiliki berbagai macam komponen peralatan yang memerlukan pemeliharaan dan perawatan. Contoh komponen pada transformator seperti minyak transformator, tap changer, peralatan cooling baik kipas dan pompa, peralatan proteksi dan lain sebagainya. Ada beberapa jenis pemeliharaan yang dilakukan pada transformator seperti preventif maintenance (PM), Predictive Maintenance (PDM), dan Corrective Maintenance. Masing- masing jenis pemeliharaan tersebut memiliki fokus sendiri- sendiri baik dari

waktu dan bentuk pelaksanaan nya. Pemeliharaan pada transformator dilakukan untuk menghindari potensi gangguan yang timbul akibat kegagalan fungsi pada peralatan nya. Gangguan pada trafo dapat menyebabkan potensi bahaya yang besar seperti terjadinya ledakan pada transformator. Kegagalan pada transformator sehingga tidak dapat dioperasikan dapat mengganggu proses penyaluran energi listrik dari produsen menuju konsumen. [2]

PLTGU Priok merupakan pembangkit tenaga listrik yang berada di daerah Jakarta Utara memiliki fungsi untuk menyediakan pasokan tenaga listrik Jakarta dan sekitarnya serta menopang sistem kelistrikan JAMALI (Jawa, Madura, dan Bali). Pada PLTGU Priok untuk output tegangan dari generator sebelum disalurkan menuju jaringan transmisi melalui transformator daya untuk menaikkan tegangan dari 15,75 KV menjadi tegangan transmisi 150 KV. Transformator daya yang juga disebut transformator BAT GT 2.1 memiliki kapasitas 177 MVA. Tingginya permintaan energi listrik mengharuskan transformator daya BAT beroperasi secara terus- menerus. Pola pengoperasian tersebut tentunya memberikan dampak pada kondisi transformator daya seperti kondisi minyak isolasi dan muncul potensi gangguan pada transformator daya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk monitoring kondisi dari transformator ada metode “health index”.

Metode health index adalah metode yang dapat menggabungkan data hasil pengujian laboratorium, inspeksi lapangan, dan pengamatan operasi. Metode ini melakukan penilaian dengan pendekatan ilmiah secara objektif dan kumulatif. [3][4] Health index berguna untuk mendeteksi dan mengukur degradasi jangka panjang pada transformator yang dapat menyebabkan kegagalan operasi pada transformator. Health index adalah sebuah metode yang dapat menggabungkan data hasil pengujian laboratorium, inspeksi lapangan, dan pengamatan operasi. Metode ini melakukan penilaian dengan pendekatan ilmiah secara objektif dan kumulatif. Metode health index merupakan metode yang efektif untuk digunakan analisa kondisi dan prediksi umur transformator karena melibatkan beberapa pengujian yang dilakukan pada transformator. [5]

Pada penelitian ini digunakan data pengujian berupa (DGA, kualitas minyak, furan dan kondisi tap changer) dari transformator BAT GT 2.1. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi transformator, umur transformator dan

tindakan yang diperlukan dilakukan pada transformator daya tersebut. [6]

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian sebelumnya [1] melakukan penelitian dengan hasil hasil perhitungan diperoleh nilai akhir faktor historis sebesar 2,56 dan faktor kondisi sebesar 3,5. Nilai akhir *health index* transformator IBT-1 adalah 3,12. Berdasarkan nilai *health index*, transformator IBT-1 berada dalam kondisi bagus dan diperkirakan dapat beroperasi selama 11-15 tahun ke depan. Kemudian ada [2] melakukan penelitian yang hasilnya mengidentifikasi bahwa performa kondisi keseluruhan transformator di Gardu Induk Waru dalam kondisi bagus, dengan tindakan perawatan normal. Performa yang stabil ditunjukkan pada tahun 2016-2018 oleh transformator daya 7 sebesar 75%. Performa paling tinggi mencapai 95 % ditemukan pada transformator daya 5 di tahun 2018.

Berikutnya [3] melakukan ide untuk membangun alat yang dapat digunakan untuk menetapkan indeks kesehatan yang representatif untuk setiap transformator berdasarkan berbagai hasil tes transformator. Indeks kesehatan trafo yang diusulkan akan memberikan penilaian kondisi kesehatan trafo yang akan berguna untuk pemeliharaan, memastikan kinerja trafo yang optimal, peningkatan efisiensi dan juga peningkatan waktu hidup yang diharapkan. Berikutnya [4] menyatakan indeks kesehatan transformator dinyatakan dalam bentuk probabilitas, yang dapat dengan mudah memberikan pemahaman kepada staf tentang keadaan transformator dalam penggunaan praktis. Sebelum menghitung indeks kesehatan, perlu untuk mendapatkan statistik untuk lokasi kesalahan transformator dan faktor-faktor yang mempengaruhi lokasi ini sesuai dengan faktor-faktor seperti penggunaan transformator dan penyebab kesalahan dan untuk membuat diagram asiklik terarah. Dibandingkan dengan metode perhitungan indeks kesehatan sebelumnya, metode perhitungan indeks kesehatan berbasis probabilitas lebih mampu mempertimbangkan mekanisme kesalahan transformator, dan pemilihan kuantitas keadaan lebih sesuai dengan penggunaan transformator yang sebenarnya. Terakhir [5], mengemukakan penggunaan *Machine Learning* dengan menemukan bahwa mengurangi jumlah pengujian tidak memengaruhi keakuratan model prediksi ML, yang dianggap sebagai keuntungan signifikan dalam hal pengurangan biaya manajemen aset transformator (TAM).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Objek Penelitian

Priok Power Generation and O&M Services Unit (POMU) merupakan pembangkit tenaga listrik yang mengelola 14 unit dengan 8 unit PLTGU dan 6 PLTD dengan total kapasitas terpasang ± 2.736 MW. Masing- masing pembangkit yang dikelola dideskripsikan sebagai berikut PLTD Senayan berkapasitas 16,08 MW, PLTGU Blok 1-2 berkapasitas 1.180 MW, PLTGU milik PLN Blok 3 berkapasitas 740 MW, dan PLTGU milik PLN Blok 4 berkapasitas 800 MW.

PLTGU Priok sendiri merupakan salah satu bagian dari penyaluran kelistrikan untuk area Jabodetabek. Oleh karena itu, diharapkan PLTGU Priok senantiasa handal dan efisien dalam

memasok kebutuhan kelistrikan di wilayah Jakarta khususnya. Salah satu bagian terpenting dalam proses penyaluran kelistrikan adalah transformator. Transformator sendiri salah satu fungsinya adalah penaik tegangan dari output generator menjadi tegangan transmisi.



Gambar 1. Layout PLTGU Priok

B. Teknik Analisa Data

Dalam penelitian ini dilakukan teknik analisa data yang diperoleh kemudian di interpretasikan sehingga memberikan keterangan terhadap permasalahan yang diteliti.

Perhitungan performa masing- masing parameter

Penilaian performa masing- masing parameter untuk DGA, kualitas minyak [6] dan furan dengan menggunakan seperti persamaan 1.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^n (S_{max} \times W_i)} \times 100 \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1 maka keterangan untuk beberapa parameter sebagai berikut :

- n = Jumlah parameter
- S_i = Skor penilaian
- W_i = Bobot nilai
- S_{max} = Skor maksimum

Dissolved Gas Analysis (DGA)

Pengujian DGA test merupakan salah satu bentuk pemeliharaan yang dilakukan secara periodik. Fungsinya untuk mengetahui ketidaknormalan yang muncul pada transformator. Pada saat terjadi ketidaknormalan pada transformator, minyak isolasi sebagai rantai hidrokarbon akan terurai akibat besarnya ketidaknormalan dan akan membentuk gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar atau nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam transformator, apakah overheat, arcing atau corona. Uji DGA dilakukan pada sampel minyak yang diambil dari transformator, kemudian gas-gas terlarut (dissolved gas) tersebut diekstrak.

Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya, selanjutnya dihitung kuantitasnya (dalam satuan part per million – ppm). Analisis kondisi transformator berdasarkan hasil pengujian DGA,

setelah diketahui karakteristik dan jumlah dari gas-gas terlarut yang diperoleh dari sampel minyak, selanjutnya dilakukan analisis kondisi transformator. Ada beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE standard. C57-104.1991 dan IEC 60599, adalah Metode TDCG, key gas, roger's ratio, dan duval's triangle. Berikut ini merupakan tabel pembobotan skor untuk DGA.

Tabel 1. Faktor Skor dan Pembobotan Untuk DGA

| Gas | Skor (Si) | | | | | | Wi (Bobot) |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| H ₂ | ≤100 | 100-200 | 200-300 | 300-500 | 500-700 | >700 | 2 |
| CH ₄ | ≤75 | 75-125 | 125-200 | 200-400 | 400-600 | >600 | 3 |
| C ₂ H ₆ | ≤65 | 65-80 | 80-100 | 100-120 | 120-150 | >150 | 3 |
| C ₂ H ₄ | ≤50 | 50-80 | 80-100 | 100-150 | 150-200 | >200 | 3 |
| C ₂ H ₂ | ≤3 | 3-7 | 7-35 | 35-50 | 50-80 | >80 | 5 |
| CO | ≤350 | 350-700 | 700-900 | 900-1100 | 1100-1400 | >1400 | 1 |
| CO ₂ | ≤2500 | 2500-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-7000 | >7000 | 1 |

Berdasarkan Tabel 1 dimana skor (Si) bernilai satu mengidentifikasi bahwa bernilai baik dan nilai skor enam bernilai jelek. Hasil dari penilaian Tabel 2 yang sudah didapatkan kemudian dimasukkan kedalam Tabel 3 perbandingan faktor performa health index dengan %DGAF untuk mendapatkan presentase performa dan nilai health index factor (HIF) dari parameter DGA. Berikut ini untuk tingkat performa kondisi DGA dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 1. Perbandingan Faktor Performa Health Index Dengan %DGAF

| Nilai HIF | Kondisi | Deskripsi |
|-----------|------------------|---------------|
| 4 | Baik | ≤20% |
| 3 | Dapat Diterima | 21% ≤ x ≤ 30% |
| 2 | Perlu Pemantauan | 31% ≤ x ≤ 40% |
| 1 | Jelek | 41% ≤ x ≤ 50% |
| 0 | Sangat Jelek | ≥50% |

Kualitas minyak [6]

Kualitas minyak merupakan sekumpulan pengujian minyak isolasi transformator daya berdasarkan pengujian elektrik, fisik, dan kimia yang merujuk pada standar IEEE C57.106-2006. Pengujian kualitas minyak terdiri dari tegangan tembus minyak, tegangan antarmuka (IFT), keasaman, dan kadar air. Tabel 3.4 menunjukkan penilaian kualitas minyak.

Tabel 3. Faktor Skor Dan Pembobotan Untuk Kualitas Minyak

| Oil Parameter | Voltage 69-230 Kv | Si (score) | Wi (Weight) |
|--------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Dielectric Strength (Kv) | ≥52 | 1 | 3 |
| | 47-52 | 2 | |
| | 35-47 | 3 | |
| | ≤35 | 4 | |
| Moisture (ppm) | ≤20 | 1 | 4 |
| | 20-25 | 2 | |
| | 25-30 | 3 | |
| | ≥30 | 4 | |
| Acidity(mgKOH/gram) | ≤0.04 | 1 | |

| | | | |
|----------------------------|----------|---|---|
| | 0.04-0.1 | 2 | 1 |
| | 0.1-0.15 | 3 | |
| | ≥0.15 | 4 | |
| Interfacial Tension (mN/m) | ≥30 | 1 | 2 |
| | 23-30 | 2 | |
| | 18-23 | 3 | |
| | ≤18 | 4 | |

Berdasarkan Tabel 3 dimana skor (Si) bernilai satu mengidentifikasi kondisi baik, bernilai dua menunjukkan kondisi normal dan bernilai tiga serta empat menunjukkan nilai jelek. Hasil dari penilaian tabel 3 yang sudah didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam tabel 4 perbandingan faktor performa health index dengan %OQF (Oil Quality Factor) untuk mendapatkan presentase performa dan nilai health index factor (HIF) dari parameter kualitas minyak. Tingkat kondisi performa kualitas minyak dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 2. Perbandingan Faktor Performa Health Index Dengan %OQF

| Nilai Huruf | Kondisi | Deskripsi |
|-------------|--------------|---------------|
| A | Baik | ≤25% |
| B | Normal | 26% ≤ x ≤ 40% |
| C | Waspada | 41% ≤ x ≤ 60% |
| D | Jelek | 61% ≤ x ≤ 80% |
| E | Sangat Jelek | ≥81% |

Furan

Senyawa furan yang sering digunakan dalam menganalisa kondisi yakni 2FAL dikarenakan mempunyai stabilitas yang tinggi diantara yang lain. Analisa furan ini bisa ditambahkan apabila gas karbon monoksida dan karbon dioksida dalam kondisi sangat jelek. Tabel 5 merupakan penilaian pengujian furan untuk mendapatkan nilai HIF.

Tabel 5. Penilaian Furan

| Nilai HIF | Kondisi | 2FAL (ppb) |
|-----------|--------------|------------|
| 4 | Baik | 0- 100 |
| 3 | Normal | 100- 250 |
| 2 | Waspada | 250- 500 |
| 1 | Jelek | 500- 1000 |
| 0 | Sangat Jelek | >1000 |

Tap Changer

Penilaian kondisi tap changer merujuk langsung pada Tabel 6 untuk mendapatkan nilai HIF. Penilaian diperoleh berdasarkan kinerja komponen tap changer dan visual inspeksi yang dilakukan oleh teknisi. Bagian bagian tap changer terdiri dari diverter switch, tap selector, tahanan transisi, minyak tabung tap changer, motor, relai, tutup tap changer, dan minyak konservator

Tabel 3. Penilaian Tap Changer

| Nilai Huruf | Kondisi | Deskripsi |
|-------------|--------------|----------------------|
| A | Baik | Beroperasi normal |
| B | Layak | Terdapat 1-2 masalah |
| C | Waspada | Terdapat 3 masalah |
| D | Buruk | Terdapat 4 masalah |
| E | Sangat buruk | Lebih dari 4 masalah |

Perhitungan total health index

Perhitungan total health index merupakan perhitungan seluruh kondisi transformator. [7-10] Perhitungan bisa dilakukan setelah nilai performa dan nilai health index faktor (HIF) masing masing parameter didapatkan. Perhitungan total nilai kondisi health index dapat dihitung dengan persamaan 2 dimana K_j adalah konstanta pada kriteria kondisi, HIF_j adalah faktor index performa pada kriteria kondisi, HIF_{max} adalah Faktor index performa maksimum dan % HI adalah persentase health index keseluruhan. Penilaian untuk parameter DGA, kualitas minyak dan furan dikali 0.6 sedangkan untuk parameter tap changer dikali dengan 0.4 dengan merujuk pada tampilan Tabel 7

Tabel 4. Penilaian Health Index

| No | Parameter Transformator | Kj | Nilai Kondisi | HIFj |
|----|-------------------------|----|---------------|-----------|
| 1 | DGA | 10 | A,B, C, D, E | 4,3,2,1,0 |
| 2 | Kualitas Minyak | 8 | A,B, C, D, E | 4,3,2,1,0 |
| 3 | Furan | 6 | A,B, C, D, E | 4,3,2,1,0 |
| 4 | Kondisi Tap Changer | 5 | A,B, C, D, E | 4,3,2,1,0 |

Sehingga dari tabel diatas maka persamaan untuk perhitungan health index adalah sebagai berikut :

$$HI\% = 0,6 \times \left(\frac{\sum(K_j \times HIF_j)}{\sum(K_j \times HIF_{max})} \right) + 0,4 \times \left(\frac{\sum(K_j \times HIF_j)}{\sum(4 \times K_j)} \right) \times 100 \tag{2}$$

Hasil Keluaran Health Index

Setelah dilakukan maka didapatkan hasil keluaran health index berupa kondisi, prediksi umur operasi, dna tindakan pemeliharaan berdasarkan keluaran nilai performa. Berikut ini ditunjukkan oleh Tabel 8 untuk performa kondisi transformator daya.

Tabel 5. Performa Kondisi Transformator Daya

| %HI | Kondisi | Tindakan | Prediksi Umur |
|--------|--------------|---------------------------------------|----------------------|
| 85-100 | Baik | Perawatan normal | Lebih dari 15 tahun |
| 70-85 | Normal | Perawatan normal | Lebih dari 10 tahun |
| 50-70 | Waspada | Meningkatkan pengujian atau diagnosis | 10 tahun |
| 30-50 | Jelek | Memulai perencanaan penanganan resiko | Kurang dari 10 tahun |
| 0-30 | Sangat Jelek | Penanganan dan pemulaian resiko | Mendekati akhir umur |

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Parameter Dissolved Gas Analysis (DGA)

Dissolved Gas Analysis (DGA) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memantau kondisi transformator. Pengambilan sampel dan pengujian DGA dilakukan secara periodik setiap satu bulan sekali. Pengambilan data tersebut dilakukan untuk memastikan operasi rutin dari transformator aman dan tidak terjadi gagal operasional dikemudian hari. Merujuk pada standar IEEE C57.104.2019 dapat dilihat bagaimana kondisi dari transformator tersebut. Gas yang diamati diantaranya adalah hydrogen [H₂], metana [CH₄], etana [C₂H₆], etilen [C₂H₄], asetilen [C₂H₂], karbon monoksida [CO], dan karbon dioksida [CO₂].

Selanjutnya untuk mengetahui jumlah gas pada transformator BAT GT 2.1 yang melebihi standar maka dicocokkan dengan hasil pengambilan sampling dan analisa hasil minyak transformator. Pada Gambar 2 merupakan hasil sampel pengujian DGA transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok.

| DISSOLVED GAS ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS BY GAS CHROMATOGRAPH (GC) | | | | | | | | | | |
|--|------|------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------------|------------------------|---|
| Sampling Date | | 28-Jul-21 | | | | | | | | Gassing Concentration Limit ¹ IEEE C57.104-2019 |
| Received Date | | 30-Jul-21 | | | | | | | | |
| Test Date | | 02-Aug-21 | | | | | | | | |
| ASTM D9612-8 | | | | | | | | | | |
| Gas Parameter | Unit | 1st | 2nd | 3rd | 4th | 5th | 6th | Table 1 | Table 2 | Status |
| Hydrogen (H2) | ppm | 48 | | | | | | 40 | 90 | Medium |
| Methane (CH4) | ppm | 4 | | | | | | 20 | 60 | Low |
| Ethane (C2H6) | ppm | 1 | | | | | | 15 | 30 | Low |
| Ethylene (C2H4) | ppm | 0 | | | | | | 25 | 80 | Low |
| Acetylene(C2H2) | ppm | 0 | | | | | | 2 | 7 | Low |
| Carbon Monoxide (CO) | ppm | 475 | | | | | | 500 | 600 | Low |
| Carbon Dioxide (CO2) | ppm | 5454 | | | | | | 3500 | 5000 | High |
| Oxygen | ppm | 11456 | | | | | | - | - | - |
| Nitrogen | ppm | 36204 | | | | | | - | - | - |
| O2/N2 | - | 0.32 | | | | | | - | - | - |
| CO2/CO | - | 11.48 | | | | | | 3-20 (CO-1000 ppm and CO2>10000 ppm) | | |
| DELTA & RATE GAS CALCULATION | | | | | | | | DGA RESULT | | |
| Gas Parameter | Unit | Delta Gas ² | Limit Table 3 | Interval Pengujian: (Bulan) | | | Table Norms | Gassing ¹ | Delta Gas ² | Rate Gas ³ |
| | | | | Rate Gas (Day) | Rate Gas (Year) | Limit Table 4 | | | | |
| Hydrogen (H2) | ppm | - | - | - | - | - | High | - | - | - |
| Methane (CH4) | ppm | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ethane (C2H6) | ppm | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ethylene (C2H4) | ppm | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Acetylene(C2H2) | ppm | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Carbon Monoxide (CO) | ppm | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Carbon Dioxide (CO2) | ppm | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DGA OVERALL RESULT | | | | | | | | INDIKASI GANGGUAN PARTIAL DISCHARGE | | |

Gambar 1. Hasi Pengujian DGA Transformator BAT GT 2.1

Berdasarkan data pengujian dan mengacu pada stansdar IEEE C57.104-2019 ditemukan adanya indikasi kandungan gas hydrogen berada dalam kondisi medium gassing. Kondisi tersebut mengindikasikan transformator terindikasikan mengalami partial discharge yang menyebabkan kenaikan konsentrasi gas (indikasi gangguan aktif). Berdasarkan IEC 60599 gangguan partial discharge pada umumnya terjadi karena adanya incomplete impregnation, humiditas yang tinggi pada isolastor kertas, super saturasi atau peronggaan pada minyak dan mulai terbentuknya X-wax pada transformator. Selain itu juga terdapat kandungan gas karbon dioksida yang dalam kategori high. Maka dengan menggunakan persamaan 1 untuk perhitungan DGAF adalah sebagai berikut:

$$\%DGAF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}(S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^{i=n}(S_{max} \times W_i)} \times 100$$

$$\%DGAF = \frac{(1 \times 2)}{(21 \times 2)} + \frac{(5 \times 1)}{(21 \times 2)} \times 100$$

$$\%DGAF = \frac{7}{42} \times 100$$

$$\%DGAF = 16,67 \%$$

Berdasarkan nilai %DGAF yang didapatkan untuk parameter DGA ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Peforma Hasil Parameter DGA

| Transformator | Data | DGA | HIF |
|------------------------|----------------------------------|---------|-----|
| BAT GT 2.1 PLTGU PRIOK | 2 gas yang melewati batas normal | 16,67 % | 4 |

B. Parameter Kualitas Minyak

Parameter kualitas minyak menggabungkan dari beberapa pengujian yang dilakukan diantaranya berdasarkan pada standar C57.106-2006 adalah pengujian tegangan tembus, pengujian kadar air, pengujian tingkat keasaman minyak transformator dan pengujian tegangan antarmuka. Pengujian dilakukan dengan mengambil sampling minyak transformator yang selanjutnya akan di uji menggunakan alat uji "Transport X KELMAN".

Setelah dilakukan pengujian pada masing- masing parameter maka didapatkan hasil sebagai seperti pada Gambar 3.

| OIL QUALITY ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|
| Sampling Date | 28-Jul-21 | | | | | | | | | |
| Received Date | 30-Jul-21 | | | | | | | | | |
| Test Date | 02-Aug-21 | | | | | | | | | |
| Gas Parameter | Unit | Method | 1st | 2nd | 3rd | 4th | 5th | 6th | Min Limit | Max Limit |
| Oil Colour / Appearance | - | ASTM D-1500 | 0.0 / Clear | | | | | | - | - |
| Water Content | mg/kg | IEC 60814 | 8 | | | | | | - | 30 |
| Acidity | mgKOH/g | IEC 62021-2 | 0.01 | | | | | | - | 0.2 |
| Interfacial Tension | mN/m | ASTM D971 | 42.5 | | | | | | 22 | - |
| Oil Quality Index | - | WP 222 | 4250 | | | | | | 160 | - |
| Breakdown Voltage | kV | IEC 60156 | 77.1 | | | | | | 40 | - |
| Flash Point PMCC | °C | ASTM D 93 | 158 | | | | | | 135 | - |
| Resistivity @90°C | G.Ω.m | IEC 60247 | 174.8 | | | | | | 0.2 | - |
| DDF @90°C | - | IEC 60247 | 0.005 | | | | | | - | 0.5 |
| Sediment Content | %w/w | AS 1883 | < 0.01 | | | | | | - | 0.02 |
| Sludge Content | %w/w | AS 1883 | < 0.01 | | | | | | - | 0.02 |

Gambar 2. Hasil Pengujian Parameter Kualitas Minyak

Berdasarkan hasil pengujian untuk hasil tiap parameter yang di perlukan adalah sebagai berikut :

- Breakdown Voltage = 77,1 KV
- Water Content = 8 mm/kg
- Acidity = 0,01 mgKOH/gram
- Interfacial Tension = 42,5 mN/m

Sehingga untuk perhitungan performa hasil kualitas minyak menggunakan persamaan 1 dengan nilai skor dan pembobotan nya sebagai berikut :

$$\%QQF = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^n (S_{max\ i} \times W_i)} \times 100$$

$$\%QQF = \left(\frac{(1 \times 3)}{(10 \times 3)} + \frac{(1 \times 4)}{(10 \times 4)} + \frac{(1 \times 1)}{(10 \times 1)} + \frac{(1 \times 2)}{(10 \times 2)} \right) \times 100$$

$$\%QQF = \left(\frac{3}{30} + \frac{4}{40} + \frac{1}{10} + \frac{2}{20} \right) \times 100$$

$$\%QQF = \frac{48}{120} \times 100$$

$$\%QQF = 40 \%$$

Berdasarkan perhitungan yang didapatkan maka untuk parameter kualitas minyak ditunjukkan pada Tabel 10 sebagai berikut.

Tabel 10. Peforma Hasil Parameter Kualitas Minyak

| Transformator | Data | OQF | Nilai Huruf |
|------------------------|--|------|-------------|
| BAT GT 2.1 PLTGU PRIOK | Dari 4 pengujian untuk parameter kualitas minyak masih normal. | 40 % | B |

C. Parameter Furan

Pengujian furan adalah untuk mengetahui senyawa organic yang terbentuk karena buruknya selulosa pada kertas isolasi. Pada pengujian terdapat beberapa senyawa furan yang digunakan untuk menganalisa kondisi diantaranya 5H2F (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde), SFOL (2-furfurol), 2FAL (2-furaldehyde), 2ACF (2-acetyl furan), dan 5M2F (5-methyl-2-furaldehyde). Data hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.

| FURAN ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|
| Gas Parameter | Unit | Method | 1st | 2nd | 3rd | 4th | 5th | 6th | Min Limit | Max Limit |
| 5H2F | ppb | IEC 61198 | <1 | | | | | | - | - |
| SFOL | ppb | IEC 61198 | <1 | | | | | | - | - |
| 2FAL | ppb | IEC 61198 | <1 | | | | | | - | - |
| 2ACF | ppb | IEC 61198 | <1 | | | | | | - | - |
| 5M2F | ppb | IEC 61198 | <1 | | | | | | - | - |
| Total Furan | ppb | IEC 61198 | <1 | | | | | | - | 250 |

Gambar 4. Hasil Pengujian Furan

Berdasarkan data pengujian yang sudah didapatkan maka masing- masing gas parameter nilai <1 ppb termasuk kedalam kondisi normal. Pengujian furan bisa dilakukan ketika nilai konsentrasi karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) dalam kondisi jelek. Untuk hasil parameter furan sendiri ditunjukkan pada Tabel 11 sebagai berikut.

Tabel 11. Peforma Hasil Parameter Furan

| Transformator | Data | Kondisi | Nilai HIF |
|------------------------|--|---------|-----------|
| BAT GT 2.1 PLTGU PRIOK | Dari gas parameter untuk kondisi furan dalam kondisi baik. . | Baik | 4 |

D. Parameter Tap Changer

Performa hasil kondisi keseluruhan tap changer didapatkan dari visual inspeksi yang dilakukan oleh teknisi di PLTGU Priok. Penilaian secara visualisasi dan riwayat gangguan yang pernah terjadi maka secara keseluruhan untuk kondisi tap changer transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok dalam kondisi layak. Kondisi baik dan layak sendiri apabila tap changer beroperasi secara normal. Berikut merupakan Tabel 12 untuk hasil parameter tap changer.

Tabel 12. Performa Parameter Tap Changer

| Transformator | Data | Kondisi | Nilai Huruf |
|---------------------------|--|---------|-------------|
| BAT GT 2.1 PLTGU PRIOK | Hasil pengecekan visual dan data gangguan tap changer dalam kondisi layak dan beroperasi normal. | Baik | A |

E. Perhitungan Total Health Index

Setelah dilakukan perhitungan dan penilaian pada masing-masing parameter maka dapat dilakukan perhitungan kondisi keseluruhan dari transformator tersebut. Perhitungan total health index dilakukan dengan menggunakan persamaan 2. Hasil dari perhitungan total health index merujuk pada Tabel 3.8.

$$HI\% = \left(0,6 \times \left(\frac{\sum(Kj \times HIFj)}{\sum(Kj \times HIFmax)} \right) + 0,4 \times \left(\frac{\sum(Kj \times HIFj)}{\sum(4 \times Kj)} \right) \right) \times 100$$

$$HI\% = \left(0,6 \times \left(\frac{10 \times 4}{10 \times 10} + \frac{8 \times 3}{8 \times 10} + \frac{6 \times 4}{6 \times 10} \right) + 0,4 \times \left(\frac{5 \times 4}{5 \times 10} \right) \right) \times 100$$

$$HI\% = \left(0,6 \times \left(\frac{40}{100} + \frac{24}{80} + \frac{24}{60} \right) + 0,4 \times \left(\frac{20}{50} \right) \right) \times 100$$

$$HI\% = \left(0,6 \times \left(\frac{960+720+960}{2400} \right) + 0,4 \times \left(\frac{20}{50} \right) \right) \times 100$$

$$HI\% = (0,6 \times (1,1) + 0,4 \times (0,4)) \times 100$$

$$HI\% = (0,66 + 0,16) \times 100$$

$$HI\% = 82\%$$

Dari hasil perhitungan yang dilakukan diketahui apabila nilai total health index transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok adalah 82%. Melihat dari hasil keluaran tersebut maka secara keseluruhan performa transformator dalam keadaan normal.

F. Prediksi Umur Transformato

Sesuai dengan hasil perhitungan total health index, maka dapat disimpulkan bahwa nilai dari health index transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok adalah 82%. Dengan hasil perhitungan ini digunakan sebagai acuan untuk menganalisa kondisi dari transformator dan prediksi umur operasi dari transformator selama beberapa tahun kedepan. Mengacu pada tabel 3.8 yang menjelaskan tentang besaran nilai perhitungan total health index dengan prediksi umur transformator, maka dengan nilai 82% menunjukkan apabila transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok masih dalam kategori normal dengan prediksi umur operasi dari transformator tersebut lebih dari 10 tahun kedepan.

Saat ini transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok sudah beroperasi selama 5 tahun terhitung dari awal waktu pembuatannya. Kondisi tersebut tentunya sesuai dengan data pengujian beberapa parameter yang masih dalam kondisi baik. Namun ada beberapa catatan yang perlu dilakukan tindakan selanjutnya seperti pada data hasil pengujian DGA didapatkan 2 gas yang melebihi standar. Bentuk tindakan yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan melakukan purifikasi minyak transformator. Purifikasi sendiri merupakan bentuk

preventif untuk mengurangi kandungan gas minyak transformator yang melebihi standar IEEE C57-10402019. Selain itu juga dilakukan monitoring berkelanjutan kandungan minyak transformator.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa hasil pengujian transformator menggunakan metode health index yang meliputi pengujian DGA, kualitas minyak, furan, dan kondisi tap changer. Pada pengujian DGA ditemukan 2 data gas yang melebihi standar yaitu tingginya kandungan gas hydrogen (H₂) dan karbon dioksida (CO₂) yang mengindikasikan terjadinya gangguan berupa partial discharge pada transformator. Sedangkan untuk nilai perhitungan total health index (HI%) didapatkan nilai 82% sehingga dapat disimpulkan transformator BAT GT 2.1 PLTGU Priok dalam kondisi normal. Prediksi umur transformator berdasarkan hasil perhitungan total health index sebesar 82% dapat beroperasi dengan normal dalam kurun waktu lebih dari 10 tahun ke depan terhitung dari 2017.

Perlu dilakukan tindakan preventif pada beberapa parameter. Tindakan tersebut perlu dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja transformator beberapa tahun kedepan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini baik dari instansi Universitas Mercu Buana maupun dari pihak lainnya. supaya dapat terselesaikannya jurnal ini. Ucapan terima kasih juga terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Y. Putra, M. Dhofir, and H. Purnomo, "Analisis Kondisi Dan Prediksi Umur Transformator Daya Dengan Metode Health Index," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 4, no. 3, 2016.
- [2] A. Kurniawan, Y. Rahmawati, and H. Putranto, "Studi Performa Transformator Daya Menggunakan Metode Health Index di Gardu Induk Waru Sidoarjo," *SinarFe7*, vol. 2, no. 1, pp. 33–38, 2019.
- [3] M. Ahmed, M. Elkhatib, M. Salama and K. B. Shaban, "Transformer Health Index estimation using Orthogonal Wavelet Network," *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, London, ON, Canada, 2015, pp. 120-124, doi: 10.1109/EPEC.2015.7379937.
- [4] S. Li, X. Li, Y. Cui, and H. Li, "Review of Transformer Health Index from the Perspective of Survivability and Condition Assessment," *Electronics*, vol. 12, no. 11, p. 2407, May 2023, doi: 10.3390/electronics12112407.
- [5] A. Y. Alqudsi and A. H. El-Hag, "Application of Machine Learning in Transformer Health Index Prediction," vol. 12, no. 14, pp. 2694–2694, Jul. 2019, doi: https://doi.org/10.3390/en12142694.
- [6] H. Guo and L. Guo, "Health Index For Power Transformer Condition Assessment Based On Operation History And Test Data," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 9038–9045, Nov. 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.041.
- [7] B. Badaruddin and F. A. Firdianto, "Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di PT X," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 7, no. 2, Oct. 2016, doi: https://doi.org/10.22441/jte.v7i2.828.
- [8] F. Ortiz, I. Fernandez, A. Ortiz, C. J. Renedo, F. Delgado and C. Fernandez, "Health indexes for power transformers: a case study," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 32, no. 5, pp. 7-17, September-October 2016, doi: 10.1109/MEI.2016.7552372.
- [9] B. Das and L. Cheim, "Transformer assessment using health index – Part

I,” *Transformers Magazine*, vol. 7, no. 4, pp. 86–93, Oct. 2020, Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://hrcak.srce.hr/246588>

- [10] W.-J. Zuo, H. Yuan, Y. Shang, Y. Liu, and T. Chen, “Calculation of a Health Index of Oil-Paper Transformers Insulation with Binary Logistic Regression,” vol. 2016, pp. 1–9, Jan. 2016, doi: <https://doi.org/10.1155/2016/6069784>.