

**PERHITUNGAN *HEALTH INDEX* UNTUK MENENTUKAN UMUR DAN  
KONDISI TRANSFORMATOR DAYA KAPASITAS 80 MVA PT KDL**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Kelulusan Menempuh Sarjana Strata 1 (S1)



Disusun Oleh:

**RIDHO TRI PUTRA NANDA MUHAMMAD**

**3332190101**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**2023**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis yaitu:

Judul : Perhitungan *Health Index* Untuk Menentukan Umur  
Kondisi Transformator Daya Kapasitas 80 MVA PT.  
KDL  
Nama Mahasiswa : Ridho Tri Putra Nanda Muhammad  
NPM : 3332190101  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan dalam rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa Sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, Agustus 2023



Ridho Tri Putra Nanda Muh.  
3332190101

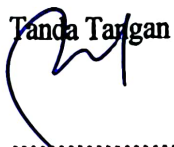

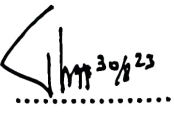

## LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa skripsi berikut,

Judul : Perhitungan *Health Index* Untuk Menentukan Umur  
Kondisi Transformator Daya Kapasitas 80 MVA PT.  
KDL  
Nama Mahasiswa : Ridho Tri Putra Nanda Muhammad  
NPM : 3332190101  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal ..... melalui siding skripsi  
di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan  
**LULUS**

### Dewan Penguji

		Tanda Tangan
Pembimbing I	: Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.	
Pembimbing II	: Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T.	
Penguji I	: M. Hartono S.T., M.T.	
Penguji II	: Adi Nugraha S.Pd., M.T.	

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

  
**Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.**  
NIP. 19830732009121006

## PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, islam serta kesehatan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penulisan penelitian ini merupakan salah satu syarat akademis untuk menempuh Sarjana Strata 1 (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pelaksanaan dan penulisan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orangtua dan keluarga yang telah memberikan do'a dan dukungan
2. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, sekaligus selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
3. Ibu Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T. sebagai Koordinator Konsentrasi Sistem Tenaga (KST), sekaligus selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
4. Bapak Masjudin, S.T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik

Penulis sangat menyadari bahwa hasil dari penelitian ini masih memiliki kekurangan, namun penulis berharap hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri. Oleh karena itu berbagai kritik dan saran, sangat penulis harapkan untuk kemajuan hasil penelitian ini.

Cilegon, 23 Juni 2023



Penulis

# ABSTRAK

Ridho Tri Putra Nanda Muhammad

Teknik Elektro

## PERHITUNGAN *HEALTH INDEX* UNTUK MENENTUKAN UMUR DAN KONDISI TRANSFORMATOR DAYA KAPASITAS 80 MVA PT KDL

Transformator daya merupakan salah satu representasi terpenting sistem kelistrikan. Transformator memiliki fungsi untuk memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainya dengan mengubah tingkat tegangan tanpa mengubah frekuensi. Setiap trafo memiliki rancangan untuk beroperasi secara aman selama 20 sampai dengan 30 tahun. Seiring berjalanya fungsional trafo sangat rentan terhadap anomali kegagalan yang merujuk kearah penurunan umur trafo itu sendiri. Penelitian mengenai prediksi sisa umur dan kondisi isolasi transformator dimasa depan perlu dilakukan, guna terciptanya perencanaan peremajaan aset berdasarkan kondisi dan historis transformator. Pada penelitian ini, Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL dijadikan objek prediksi kondisi isolasi dan sisa umur dengan metode *health index* (HI). *Health index* (HI) memanfaatkan kolaborasi setiap parameter indeks kesehatan berbasis historis dan kondisi. Faktor historis terdiri dari enam parameter, yaitu waktu operasi, pembebanan, inspeksi pemeliharaan, gangguan internal, kelas aset, dan merk. Sedangkan, faktor kondisi terdiri dari enam parameter yaitu pengujian tegangan tembus, kadar air, gas terlarut,  $\tan \delta$ , indek polarity, dan *turn ratio*. Berdasarkan pendekatan *health index* didapatkan penilaian akhir *health index* Transformator AV 08 MTS PT KDL sebesar 3.56. Kriteria *health index* yang didapat dari nilai tersebut menunjukkan transformator dalam kondisi bagus dan terprediksi dapat beroperasi lebih dari 15 tahun ke depan.

Kata kunci : *Health index*, Faktor historis, Faktor kondisi, Prediksi umur,  
Transformator

## **ABSTRACT**

Ridho Tri Putra Nanda Muhammad

*Electrical Engineering*

### **HEALTH INDEX CALCULATION TO DETERMINE THE AGE AND CONDITION OF PT KDL'S 80 MVA CAPACITY POWER TRANSFORMER**

*The power transformer is one of the most important representations for the electrical system. This asset has the function of transferring electrical energy from one electrical circuit to another by changing the voltage level without changing the frequency. Each transformer is designed to operate safely for 20 to 30 years. As the operation progresses, the transformer is very susceptible to failure anomalies which refer to a decrease in the life of the transformer itself. Research on the prediction of the remaining life and insulation conditions of transformers in the future really needs to be done, in order to create an asset rejuvenation plan based on transformer conditions and history. In this thesis, PT KDL's AV 08 MTS 2 transformer was used as an object for predicting the condition of isolation and remaining life time using the health index (HI) method. The health index (HI) utilizes the collaboration of each health index parameter based on history and conditions. The historical factor consists of six parameters, operating time, loading, maintenance inspection, internal disturbance, asset class, and brand. Meanwhile, the condition factor consists of six parameters, namely testing the breakdown voltage, water content, dissolved gas analysis,  $\tan \delta$ , polarity index, and turn ratio. Based on the health index approach, the final health index of PT KDL's AV 08 Transformer MTS was 3.56. The health index criteria obtained from this value shows that the transformer is in good condition and is predicted to operate for more than 15 years.*

*Keyword : Health index, Historical factor, Condition factor, Predict life time, Transformer*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Transformator Daya .....	5
2.2. Umur Transformator .....	5
2.3. Komponen Berdasarkan Kegagalan Transformator .....	8
2.4. <i>Health Index</i> .....	9
2.4.1. Pendekatan HI .....	12
2.4.2. Faktor Historis .....	13
2.4.3. Faktor Kondisi .....	16
2.4.4. Estimasi Prediksi Susut Umur HI.....	20
2.5. Kajian Pustaka.....	21
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1. Metodologi Penelitian .....	25
3.2. Diagram Alir <i>Root Cause Problem Solving</i> (RCPS).....	28
3.3. Kriteria Indek Kesehatan.....	29
3.4. Kalkulasi HI .....	30
3.4.1. Kalkulasi Faktor Historis .....	30

3.4.2. Kalkulasi Faktor Kondisi .....	31
3.5. Teknik Penelitian.....	31
3.5.1. Jenis Data .....	31
3.5.2. Peralatan Penelitian .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1. Analisis Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL.....	33
4.2. Analisis Faktor Historis.....	34
4.2.1. Analisis Pembebanan .....	34
4.2.2. Analisis Inspeksi Pemeliharaan.....	35
4.2.3. Analisis Gangguan Internal.....	36
4.2.4. Analisis Kelas Aset .....	37
4.2.5. Analisis Umur .....	37
4.2.6. Analisis Merek .....	38
4.3. Faktor Kondisi.....	38
4.3.1. Analisis Tegangan Tembus .....	38
4.3.2. Analisis Kadar Air.....	40
4.3.3. <i>Dissolved Gas Annalysis (DGA)</i> .....	41
4.3.4. Analisis <i>Polarity Index</i> .....	42
4.3.5. Analisis Resistansi Belitan .....	44
4.3.6. Analisis Tan $\delta$ .....	46
4.3.7. Analisis <i>Turn Ratio (TR)</i> .....	47
4.4. Perhitungan HI Untuk Prediksi Umur Transformator AV 08 .....	48
4.4.1. Nilai Akhir Faktor Historis .....	49
4.4.2. Nilai Akhir Faktor Kondisi .....	49
4.4.3. Perhitungan Nilai Health Index dan Prediksi Sisa Umur.....	50
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>51</b>
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>(A-1)</b>
<b>LAMPIRAN A HASIL PERHITUNGAN .....</b>	<b>(B-1)</b>
<b>LAMPIRAN B DATA TEKNIS PENELITIAN.....</b>	<b>(C-1)</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Wujud dan Prinsip Kerja Transformator Daya .....	5
Gambar 2.2 Persentase Temuan Kegagalan Transformator .....	6
Gambar 2.3 Komponen Transformator Berdasarkan Peluang Kegagalan .....	8
Gambar 2.4 Konsep Pendekatan Metode HI.....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Prosedur Pengambilan Data .....	28
Gambar 3.2 Diagram <i>RCPS Five Whys Analysis</i> .....	28
Gambar 3.3 Sistematis Kalkulasi HI.....	28
Gambar 4.1 Wujud Transformator AV 08 MTS 2.....	33
Gambar 4.2 Rekapitulasi Pembebanan Tertinggi Tahun 2022.....	35
Gambar 4.3 Grafik Rekapitulasi Pengujian Tegangan Tembus (BDV) .....	39
Gambar 4.4 Kadar Gas DGA Transformator .....	42
Gambar 4.5 Grafik Rekapitulasi Resistansi Isolasi.....	43
Gambar 4.6 Kurva Resistansi Belitan 19 Tingkatan Posisi Tap Transformator...	45
Gambar 4.7 Rekapitulasi Pengukuran Turn Ratio Transformator .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fenomena dan Karakteristik Kegagalan Komponen Transformator .....	7
Tabel 2.2 Tingkatan Penilaian Mutu HI .....	11
Tabel 2.3 Tabulasi Nilai HI Transformator.....	12
Tabel 2.4 Teknik dan Nilai Mutu Parameter Faktor Historis.....	13
Tabel 2.5 Standar Pengukuran Faktor Kondisi .....	16
Tabel 2.6 Teknik dan Nilai Mutu Parameter Faktor Kondisi.....	16
Tabel 2.7 Perkiraan Umur Transformator .....	21
Tabel 3.3 Tabulasi Nilai HI Faktor Historis.....	30
Tabel 3.4 Tabulasi Nilai HI Faktor Kondisi.....	31
Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator AV 08 MTS 2.....	33
Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban Tertinggi Perbulan Periode Tahun 2021 .....	34
Tabel 4.3 Hasil Transkrip Nilai HI Analisis Pembebanan .....	35
Tabel 4.4 Pola dan <i>Timeline</i> Pemeliharaan Transformator AV 08 MTS 2.....	35
Tabel 4.5 Hasil Transkripsi Nilai HI Analisis Inspeksi Pemeliharaan .....	36
Tabel 4.6 Frekuensi Gangguan Internal Tahun 2022.....	36
Tabel 4.7 Hasil Transkrip Nilai Analisis Gangguan Internal .....	37
Tabel 4.8 Hasil Transkrip Nilai Analisis Kelas Aset .....	37
Tabel 4.9 Hasil Transkrip Nilai Analisis Umur.....	38
Tabel 4.10 Hasil Transkrip Nilai Analisis Merk .....	38
Tabel 4.11 Spesifikasi Pengujian Tegangan tembus Minyak .....	39
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak (BDV) .....	39
Tabel 4.13 Hasil Transkrip Nilai Analisis Tegangan Tembus (BDV) .....	40
Tabel 4.14 Spesifikasi Hasil Pengujian Kadar Air.....	40
Tabel 4.15 Transkrip Penilaian Analisis Kadar Air .....	41
Tabel 4.16 Jumlah Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi .....	41
Tabel 4.17 Hasil Transkrip Nilai Pengukuran .....	42
Tabel 4.18 Hasil Pengujian PI.....	43
Tabel 4. 19 Hasil Transkrip Penilaian Analisis PI .....	43
Tabel 4.20 Hasil Pengukuran Resistansi Belitan .....	44
Tabel 4.21 Hasil Transkrip Nilai HI Resistansi Belitan .....	45
Tabel 4.22 Hasil Pengukuran Tan $\delta$ Injeksi Primer .....	46
Tabel 4.23 Hasil Analisis Transkrip HI Parameter Tan $\delta$ .....	46
Tabel 4.24 Hasil Pengukuran <i>Turn Ratio</i> .....	47
Tabel 4.25 Hasil Transkrip HI Parameter Turn Ratio .....	48
Tabel 4.26 Transkrip Nilai Akhir Health Index (Faktor Historis).....	49
Tabel 4.27 Transkrip Nilai Akhir Health Index (Faktor Kondisi) .....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Transformator daya merupakan salah satu representasi terpenting bagi sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik. Transformator daya pada sistem kelistrikan diibaratkan sebagai jantung pada pusat tenaga listrik karena fungsinya untuk memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainya dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi [1][2]. Gangguan pada aset ini penting untuk diperhatikan karena dapat menyebabkan pemadaman listrik skala besar dan secara jangka panjang akan memperpendek sisa umur transformator [3].

Transformator daya dirancang untuk beroperasi secara aman selama 20 sampai dengan 30 tahun dengan aktualisasi lapangan usia rata-rata transformator dapat bertahan selama 32 tahun dengan aktualisasi penelitian sekitar 15 persen berusia di atas 50 tahun [4]. Anomali kegagalan yang paling sering dihadapi transformator dan dapat mempengaruhi penurunan sisa umurnya berdasarkan fungsinya adalah kegagalan thermal oleh besar nilai pembebanan yang tinggi dan berlangsung dalam waktu yang panjang [5]. Kegagalan thermal ditunjukkan berupa suhu tinggi yang merujuk pada kondisi abnormal di bagian-bagian utama transformator [6]. Nilai pembebanan membentuk pola naik turun di setiap sektor, maka dibutuhkan penyesuaian nilai beban terhadap kapasitas transformator [7].

Permasalahan yang dihadapi dalam penyusutan sisa umur transformator berdasarkan kehandalan bergantung pada faktor historis dari transformator itu sendiri [8]. Pada umumnya parameter yang melekat pada segala jenis aset adalah negara asal. Negara asal berpengaruh terhadap persepsi kualitas konsumen terutama apabila ditinjau lebih lanjut pada segi pengelolaan pemeliharaan aset [9]. Peningkatan mutu faktor historis transformator juga harus disesuaikan dengan durasi waktu operasi dan lokasi transformator itu beroperasi, sehingga memerlukan penyesuaian kualitas pemeliharaan yang baik agar dapat menunjang kehandalan [10]. Solusi yang mungkin dilakukan untuk menunjang pemeliharaan berupa pembentukan dan pelaksanaan parameter penjadwalan inspeksi pemeliharaan dan

pencatatan temuan abnormal [10]. Korelasi dari setiap parameter ini dapat dijadikan sebagai penilaian kehandalan transformator berdasarkan analisis faktor historis [8].

Permasalahan yang dihadapi dalam memperpendek umur transformator lainnya sangat bergantung pada kondisi kesehatan setiap bagiannya terutama kondisi isolasi dan belitan transformator [11]. Isolasi transformator berguna menjaga kualitas belitan agar tetap dalam keadaan terjaga [12]. Kualitas isolasi transformator sangat berpengaruh terhadap sisa umur transformator. Nilai termal yang tinggi seiring berjalanya fungsional transformator yang konsisten dan berkelanjutan harus disesuaikan dengan kualitas isolasi yang sama baiknya [13]. Solusi yang mungkin dapat dijadikan parameter kondisi guna meningkatkan sisa umur pada ruang lingkup isolasi transformator dapat ditinjau dengan menganalisis hasil pemeliharaan prediksi. Pemeliharaan prediksi sebagai parameter *health index* (HI) faktor kondisi pada transformator adalah, *dissolved gas annalysis* (DGA), *breakdown voltage* (BDV), dan *water content* sedangkan pada isolasi padat berupa *insulating resitance* (IR), *turn ratio* (TR), *winding resistance*, dan tan delta [14].

Penelitian lain yang memiliki keterkaitan memprediksi sisa umur dapat dilakukan menggunakan *furane testing* sebagai metode prediksi terjadinya degradasi kertas isolasi dan menunjukkan kemampuan hidup dan sisa umur transformator [15]. Namun, keberadaan jasa *furane testing* dan aspek ekonomis menjadi kendala keberadaan pengujian tersebut di Indonesia. Peranan parameter pada faktor historis yang mengarah pada observasi operasional dan faktor kondisi yang mengarah pada pengetesan bagian-bagian transformator, Kedua faktor tersebut dijadikan indikator penilaian untuk memprediksi sisa umur transformator yang disebut metode (HI).

## 1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini memiliki permasalahan yang diharapkan dapat diselesaikan diantaranya:

1. Bagaimana kondisi transformator AV 08 MTS 2 PT KDL dengan kapasitas 80 MVA dengan tingkat tegangan 150/31,5 kV berdasarkan parameter disetiap faktor kondisi dan transformator ?
2. Berapa sisa umur terprediksi dengan pendekatan *Health Index* berdasarkan parameter kondisi dan historis ?

3. Bagaimana penyesuaian inspeksi rutin pada transformator AV 08 kedepan berdasarkan ketentuan standard pada parameter kondisi dan historis ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Dalam penelitian ini terdapat tujuan diantaranya:

1. Menganalisis keluaran perhitungan nilai masing-masing faktor *health index* (HI) terhadap kondisi transformator.
2. Menganalisis penyesuaian inspeksi pemeliharaan selanjutnya dan penentuan sisa umur transformator daya dengan perhitungan metode *health index* (HI).
3. Menganalisis korelasi faktor historis dan kondisi dalam menunjang utilitas metode HI dalam ruang lingkup transformator.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Terdapat beberapa manfaat pada penelitian ini, yaitu bagi penulis dan pihak terkait yang bekerja di bidang kelistrikan, terutama transformator diantaranya:

1. Sebagai metode analisis dalam menentukan indikasi kesehatan berdasarkan faktor historis dan kondisi
2. Sebagai referensi pada penelitian selanjutan yang berkaitan dengan metode *Health Index*.
3. Sebagai pedoman dalam bentuk intruksi pemeliharaan dan *report* pekerjaan bagi intansi dalam meningkatkan bobot hasil kegiatan pemeliharaan.

### **1.5. Batasan Masalah**

Terdapat Batasan masalah pada penelitian, diantaranya:

1. Analisis yang digunakan pada penelitian menggunakan metode *health Index*.
2. Objek penelitian yang digunakan adalah Transformator AV 08 MTS 2 PT Krakatau Daya Listrik.
3. Data yang dianalisis menggunakan dua jenis data yaitu primer dan sekunder.
4. Penetapan bobot dan nilai mutu tergantung pada penilaian masing-masing utilitas sebagai tingkat indikator risiko trafo.

5. Tidak menjelaskan secara detail prosedur pemeliharaan, namun menunjukkan tindakan umum yang harus ditempuh.

### **1.6. Sistematika Penelitian**

Permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan penelitian ini, maka penelitian ini mengemukakan secara garis besar isi dari setiap bab dengan sistematika pembahasan, diantaranya:

BAB I Pendahuluan, pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan. Selanjutnya,

BAB II Tinjauan Pustaka, pada bab ini menjelaskan tentang penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan pada kegiatan penelitian ini. Bab ini juga berisi tentang dasar-dasar teori mengenai *transformator*, *health index*, faktor kondisi dan historis.

BAB III Metode Penelitian, pada bab ini menjelaskan tentang waktu penelitian, metodologi penelitian yang digunakan, alur dalam penelitian, pengumpulan data, dan kriteria penilaian metode *health index*.

BAB IV Hasil dan Pembahasan, pada bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan beserta dengan analisis sesuai dengan batasan dan parameter yang digunakan.

BAB V Penutup, pada bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jufasha. M.A., A.B. Muljono., I. Bagus, and F.Citarsa, “Desain Dan Analisis Transformator Distribusi 3 Fasa 100 Kva Menggunakan *Ansys Maxwell* Ditinjau Dari Rugi Inti.” Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram, 2023.
- [2] Roza. I., A. A. Nasution, and H. Setiawan, “Analisis Umur Minyak Terhadap Temperatur Transformator 150kv Akibat Penurunan Tegangan Tembus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PITG) 2.1 Pt Pln (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan,” *Journal of Electrical and System Control Engineering (JESCE)*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [3] Siada. A.A., M. I. Mosaad, D. Kim, and M. F. El-Naggar, “*Estimating Power Transformer High Frequency Model Parameters Using Frequency Response Analysis*,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 35, no. 3, pp. 1267–1277, 2020.
- [4] Murugan. R. and R. Ramasamy, “*Understanding the power transformer component failures for health index based maintenance planning in electric utilities*,” *Engginering Fail Analysis Journal*, vol. 96, no. 2, pp. 274–288, 2019.
- [5] Foros. J. and M. Istad, “Health Index, Risk and Remaining Lifetime Estimation of Power Transformers,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 35, no. 6, pp. 2612–2620, 2020.
- [6] Sarah. A., J.M. Nainggolan, W. Gunawan, and H. Chairul, “*Prediction of Power Transformers Lifetime Using Thermal Modeling Analysis*” *International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)*, 2019.
- [7] Zhou. H., X. Yan, and G. Liu, “*A review on voltage control using on-load voltage transformer for the power grid*,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, 2019.
- [8] Dewangga. K., “Analisis Kondisi dan Prediksi Umur Transformator Daya Dengan Metode Health Indekx Di PT PLN (PERSERO) U1-TJBT UPT Purwokerto,” Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, 2020.

- [9] Fauziyyah. S, “*Country of Origin as Determinants of Perceived Quality.*” [Online]. Available: <http://journal.ubm.ac.id/>
- [10] Firdaus. M,R. and D. Nugroho, “Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi 60 MVA di Gardu Induk Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, *Tangen Delta*, dan *Breakdown Voltage*,” in *Jurnal elektro Universitas Islam Agung Semarang* , Desember, vol. 2, no. 2, 2019.
- [11] Erlina. A. and Muhlis. A, “Pengujian Kondisi Isolasi Main Transformator Gtg 1.1 Dengan Metode Dielectric Response Analysis (DIRANA),” *Jurnal Ilmiah dan Kelistrikan STT PLN*, vol. 8, no. 2, pp. 74–79, 2018.
- [12] Abidin. L, “Pengujian Dissipation Factor pada Transformator dengan Jumper dan tanpa Jumper Bushing,” *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 189–196, 2019.
- [13] Makkulau.A., N. Pasra, and S. R. Rifaldi, “Pengujian Tahanan Isolasi Dan Rasio Pada Trafo Ps T15 Pt Indonesia Power Up MRICA,” *Jurnal Ilmiah Energi dan Kelistrikan STT PLN*, vol. 10, no. 1, pp. 20–25, 2018.
- [14] Joel. S. and A. Kaul, “*Predictive Maintenance Approach for Transformers Based on Hot Spot Detection in Thermal images,*” *IEEE International Conference on Measurement, Instrumentation, Control and Automation, ICMICA* , Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, Jun. 2020. doi: 10.1109/ICMICA48462.2020.9242851.
- [15] Abd El-Aal. R. A., K. Helal, A. M. M. Hassan, and S. S. Dessouky, “*Prediction of Transformers Conditions and Lifetime Using Furan Compounds Analysis,*” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102264–102273, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931422.
- [18] Mukhtar and Suwardiyanto, “Pemeliharaan Transformator Level 1,2,3 Pemeliharaan Listrik”.in *Buku Pedoman pemeliharaan Transformator Daya PT Indonesia Power*, 2016.
- [19] Murugan.R. and R. Ramasamy, “Understanding the power transformer component failures for health index-based maintenance planning in electric utilities,” *Eng Fail Anal*, vol. 96, pp. 274–288, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.10.011.
- [20] Barkas.D.A., I. Chronis., and C. Psomopoulos, “Failure mapping and critical measurements for the operating condition assessment of power transformers,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 527–547, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.07.028.



- [21] Singh.J., S. Singh., and A. Singh, “Distribution transformer failure modes, effects and criticality analysis (FMECA),” *Eng Fail Anal*, vol. 99, pp. 180–191, May 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.014.
- [22] Soni.R and B. Mehta, “Review on asset management of power transformer by diagnosing incipient faults and faults identification using various testing methodologies,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 128. Elsevier Ltd, Oct. 01, 2021. doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105634.
- [23] Fadhliyansyah. M.“Analisis Perhitungan Rugi-rugi Transformator Akibat Harmonisa,”. In *Jurnal Teknik Elektro, Energi, Dan Teknologi Informasi Untan*. vol.2, no.1., 2018.
- [24] Zheng.X., Z. X. Sang., and M. Yang, “The Health Index Methodology of Integrated Energy System,” in *Proceedings - 2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning, CVIDL 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2020, pp. 426–430. doi: 10.1109/CVIDL51233.2020.00-56.
- [25] Putra.A.Y, “Analisis Kondisi dan Prediksi Umur Transformator Daya Menggunakan Metode Health Index,” *Teknik Elektro*, Universitas Brawijaya, Malang, 2016.
- [26] Taengko.K and P.Damrongkulkamjorn,” Risk Assesment Power Transformer In PEA Substations Using Health Index” in *conference IEEE 978-1-4799-0545-4/13/2019 (2019)*
- [27] International Electrotechnical Commission. and International Electrotechnical Commission. Technical Committee 10., “*Oil filled electrical equipment sampling of gases and analysis of free and dissolved gases guidance* “. International Electrotechnical Commission, 2011.
- [28] Abdi.S, N. Harid, L. Safiddine, A. Boubakeur, and A. Haddad, “The correlation of transformer oil electrical properties with water content using a regression approach,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 8, Apr. 2021, doi: 10.3390/en14082089.
- [29] Ondrialdi.R and U. Situmeang, “Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang,” *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 72–81, 2020.
- [30] International Electrotechnical Commission. and International Electrotechnical Commission. Technical Committee 14., *Power transformers. Part 1, General transformateurs de puissance. Partie 1, Généralités*. International Electrotechnical Commission, 2021.
- [31] Fabricia.A,“ Analisis Perhitungan Pendinginan Trafo Menggunakan Isolator Cair Minyak Sawit,” in *Jurnal Agro vol 3 no 2 ISSN : 2656-4831 (Cetak)ISSN : 2656-4823* , 2021

- [32] Alqudsi.A and A. El-Hag, “Application of machine learning in transformer health index prediction,” *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 14, 2019, doi: 10.3390/en12142694.