

Analisa Kondisi Dan Prediksi Umur Transformator Daya Menggunakan Metode *Health Index* Berbasis *Artificial Neural Network* (ANN)

Wahyu Setyawan, Wahyu Setyo Pambudi*, Misbahul Munir, Titiek Suheta, Yuliyanto Agung Prabowo

Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

*Email : wahyusp@itats.ac.id

Abstrak—Transformator daya merupakan aset vital dalam sistem tenaga listrik yang memerlukan pemantauan kondisi secara berkala untuk menjaga keandalan dan memperpanjang umur operasionalnya. *Health Index* merupakan metode terintegrasi yang menggabungkan hasil uji Dissolved Gas Analysis (DGA), kualitas minyak, dan kandungan furan untuk menilai tingkat degradasi transformator secara komprehensif. Penelitian ini menganalisis 33-unit transformator daya di PT Pupuk Kalimantan Timur menggunakan perhitungan *Health Index* dan mengembangkan model *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi *Health Index* dan sisa umur transformator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar transformator berada pada kategori “cukup” hingga “sangat baik”. Model ANN mencapai nilai MAPE 0,15%, RMSE 0,18, dan tingkat akurasi 99,85%, yang menunjukkan bahwa ANN mampu memberikan prediksi yang sangat akurat terhadap *Health Index*. Metode ini dapat menjadi acuan pengembangan sistem pemeliharaan prediktif yang lebih efektif untuk mendukung manajemen aset transformator.

Kata Kunci— *ANN*, *Health Index*, *Transformator Daya*, *Prediksi Umur*, *DGA*.

DOI:10.22441/jte.2026.v17i1.001

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan faktor fundamental dalam menunjang perkembangan industri modern. Hampir seluruh kegiatan produksi dan manufaktur membutuhkan suplai listrik yang stabil dan andal. Infrastruktur kelistrikan yang baik tidak hanya meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan peralatan industri, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan biaya operasional serta meningkatkan daya saing perusahaan di tingkat global [1][2]. PT Pupuk Kalimantan Timur sebagai salah satu industri strategis nasional mengelola sistem pembangkitan listrik secara mandiri untuk menjamin ketersediaan energi listrik yang berkesinambungan dalam mendukung proses produksi pupuk secara optimal.

Salah satu komponen vital dalam sistem tenaga listrik pada PT Pupuk Kalimantan Timur adalah transformator daya. Transformator memiliki nilai investasi tinggi serta peran strategis dalam proses transmisi dan distribusi daya listrik. Oleh karena itu, keandalan dan kondisi operasional transformator

harus dipantau secara berkala untuk mencegah kegagalan sistem yang berpotensi menyebabkan kerugian besar dan downtime operasional [3][4]. Pemeliharaan berbasis kondisi (condition-based maintenance) menjadi langkah penting dalam menjaga performa transformator, salah satunya melalui pengujian rutin seperti dissolved gas analysis (DGA), pengujian minyak transformator, serta analisis kandungan furan [5].

Metode penilaian kondisi transformator secara komprehensif dapat dilakukan menggunakan pendekatan *health index*. Metode ini mengintegrasikan berbagai parameter hasil uji laboratorium, inspeksi lapangan, dan data operasional untuk memberikan gambaran tingkat degradasi serta memprediksi sisa umur pakai transformator. Pendekatan ini dianggap lebih efektif dibandingkan metode evaluasi tunggal karena mempertimbangkan berbagai aspek kerusakan internal, seperti degradasi isolasi kertas, peningkatan kadar gas terlarut, serta kualitas minyak transformator [6]. Dalam standar IEC 60076-7 (2005), umur transformator diperkirakan sekitar 20,55 tahun (180.000 jam). Namun kondisi operasional di lapangan menunjukkan bahwa umur aktual transformator sangat dipengaruhi oleh beban, temperatur, kondisi isolasi, dan lingkungan operasional sehingga tidak selalu sesuai dengan nilai standar [7].

Transformator sendiri merupakan peralatan listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, terdiri dari inti besi berlapis serta belitan primer dan sekunder. Transformator berfungsi mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya melalui kopling magnetik tanpa mengubah frekuensi, dengan kemampuan menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai kebutuhan [8][9].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas metode prediksi umur transformator, baik menggunakan pendekatan perhitungan manual berdasarkan standar IEC maupun kecerdasan buatan. Penelitian awal umumnya hanya mempertimbangkan parameter beban dan temperatur dalam estimasi umur pakai [10][11]. Metode berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) kemudian digunakan untuk meningkatkan akurasi estimasi, namun sebagian besar penelitian masih terbatas pada parameter minyak atau temperatur tanpa integrasi hasil pengujian DGA dan furan [12][13]. Dengan demikian, penelitian sebelumnya belum menghasilkan pendekatan yang

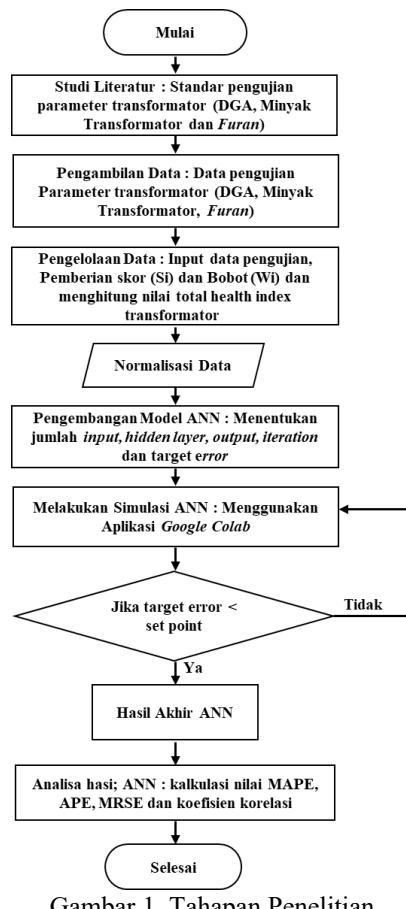
komprehensif dalam menilai kesehatan transformator secara menyeluruh.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan metode penilaian kondisi transformator menggunakan pendekatan health index berbasis ANN dengan mempertimbangkan tiga parameter pengujian utama, yaitu *Dissolved Gas Analysis* (DGA), minyak transformator, dan furan. Dengan integrasi ketiga parameter tersebut, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan prediksi kondisi dan sisa umur operasional transformator secara lebih akurat, sehingga dapat menjadi acuan dalam meningkatkan efektivitas pemeliharaan prediktif (*Predictive Maintenance*) dan mendukung strategi manajemen aset transformator di lingkungan industri.

II. METODOLOGI

A. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di PT Pupuk Kalimantan Timur, Jl. James Simandjuntak No. 1, Kota Bontang, Kalimantan Timur. Sedangkan untuk pengambilan data-data pengujian transformator yaitu Dissolved Gas Analysis (DGA), Minyak Transformator dan Furan berada di area pabrik, perkantoran dan perumahan. Sedangkan untuk waktu penelitian ini dilaksanakan selama 10 bulan dimulai dari studi literatur, pengambilan data, pengolahan data, pengambilan model ANN, Analisa dan hasil pengujian dan penyusunan laporan penelitian dan seminar hasil penelitian.



B. Diagram Alir Penelitian

Langkah awal dalam penelitian ini adalah pengumpulan data transformator data dari PT Pupuk Kalimantan Timur. Data hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA), Minyak Transformator dan *Furan* dianalisis untuk memperoleh informasi mengenai tingkat degradasi dan potensi kerusakan. Selanjutnya, data yang telah diolah menjadi *health index* dimasukkan ke dalam model ANN untuk melatih algoritma prediksi. Model ini dievaluasi menggunakan metrik akurasi dan *error*, guna memastikan bahwa hasil prediksi umur sisa transformator sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Output dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi prediktif untuk perawatan transformator secara efektif dan efisien. Gambar 1 adalah diagram alir dari penjelasan mengenai tahapan penelitian.

C. Teknik Analisa data

Dalam penelitian ini dilakukan Analisa data yang diperoleh kemudian di interpretasikan sehingga memberikan penjelasan mengenai permasalahan yang diteliti.

Tabel 1 Standar Pengujian DGA IEC 60599-2015

Gas	Renta ng nilai IEC 60599- 2015	Skor (Si) Batasan CIGRE WG D1.32-2010						Wi (Bobot)
		1 (Sangat baik)	2 (Baik)	3 (No rm al)	4 (Waspad a)	5 (Kura ng)	6 (Sang at Kuran g)	
Hidroge n (H ₂)	50-150	≤100	100- 180	180 - 254	254- 403	403- 725	>725	2
Metana (CH ₄)	30-130	≤80	80-129	129 - 170	170- 284	284- 400	>400	3
Karbon Monoksi da (CO)	400- 600	≤500	500- 766	766 - 983	983- 1372	1372- 2100	>2100	1
Karbon Dioksida (CO ₂)	3800- 14000	≤8900	8900- 14885	148 85- 200 84	20084- 29980	29980- 50000	>5000 0	1
Etilen (C ₂ H ₄)	60-280	≤170	170- 270	270 - 352	352- 505	505- 800	>800	3
Etana (C ₂ H ₆)	20-90	≤55	55-126	126 - 205	205- 393	393- 900	>900	3
Asetelin (C ₂ H ₂)	2-20 (No OLTC) / 60- 280 (OLT C)	≤3	3-13	13- 32	32-102	102- 450	>450	5

Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA)

Pengujian *dissolved gas analysis* (DGA) merupakan salah satu teknik pemeliharaan periodik yang bertujuan untuk mendekripsi ketidaknormalan dalam transformator. Ketika terjadi masalah pada transformator, minyak isolasi yang terdiri dari rantai hidrokarbon akan terurai akibat ketidaknormalan yang terjadi, dan menghasilkan gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak tersebut. Proses DGA sendiri digunakan untuk mengukur kadar gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan ini.

Setelah karakteristik dan jumlah gas-gas terlarut diketahui, analisis kondisi transformator dilakukan berdasarkan hasil pengujian tersebut. Beberapa metode analisis data DGA yang umum digunakan adalah metode TDCG, *key gas*, *Roger's ratio*,

dan *Duval's Triangle*, sesuai dengan standar IEEE C57-104.2019 dan IEC 60599-2015. Pembobotan skor untuk interpretasi DGA dapat dilihat pada Tabel 1 [6]. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rasio IEC yang melibatkan tujuh jenis gas terlarut, yaitu Hidrogen (H₂), Metana (CH₄), Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Etilen (C₂H₄), Etana (C₂H₆), Asetelin (C₂H₂) [14].

Pengujian Minyak Transformator

Pengujian minyak transformator merupakan bagian dari pemeliharaan preventif yang bertujuan untuk mencegah gangguan dalam distribusi energi listrik. Minyak transformator memiliki beberapa fungsi penting, di antaranya sebagai isolator untuk mencegah terjadinya loncatan busur listrik pada lilitan di dalam transformator. Minyak ini juga menyerap panas yang dihasilkan saat transformator bekerja pada beban dan berfungsi sebagai penghalang untuk mencegah korosi dan oksidasi antar komponen.

Untuk memeriksa kondisi minyak transformator, beberapa parameter uji yang umum digunakan meliputi BDV (Breakdown Voltage), Water Content (Kandungan Air), Acidity (Keasaman) dan Colour (Warna Minyak). Standar yang digunakan untuk menentukan kondisi minyak transformator mengacu pada standar IEC 60422-2013 sesuai pada tabel 2 berikut ini [14].

Tabel 2 Standar Pengujian Minyak Transformator

Tes Parameter	Metode	Skor (Si) Batasan IEC 60422:2013			Wi (Bobot)
		1 (Baik)	2 (Cukup)	3 (Buruk)	
Breakdown Voltage (kV/2,5mm)	IEC 156	>50	40-50	<40	3
Water Content (mg/kg)	IEC 60814	<20	20-30	>30	4
Acid (mgKOH/g)	C2011K06	<0,1	0,15-0,2	>0,2	1
Colour	ASTM D1500-12 (2017)	<3,5	-	>3,5	2

Breakdown Voltage atau tegangan tembus pada minyak transformator dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kandungan air dalam minyak, kondisi termal transformator, dan adanya partikel seperti debu dan pasir. Minyak yang telah digunakan dalam jangka waktu lama cenderung mengalami penurunan kualitas, yang menyebabkan penurunan nilai *breakdown voltage* minyak tersebut [15].

Water content memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi operasi dan umur transformator. Dua sumber utama yang menyebabkan peningkatan kandungan air dalam isolasi transformator adalah masuknya uap air dari atmosfer dan degradasi isolasi itu sendiri. Air akan bergerak dari isolasi minyak menuju peralatan listrik yang berisi minyak dan mengurangi tegangan tembus minyak tersebut. Air dalam isolasi minyak dapat ditemukan dalam bentuk terlarut maupun hidrat yang diserap oleh hasil penuaan polar (air terikat). Kelarutan air dalam minyak diukur dalam satuan mg/kg, yang bergantung pada kondisi minyak, suhu, dan jenis minyak yang digunakan. Minyak isolator yang baik diharapkan memiliki kandungan air yang serendah mungkin [16].

Asam berdampak buruk bagi bahan selulosa dan menyebabkan korosi pada bagian logam transformator. Tingkat peningkatan keasaman pada isolasi minyak merupakan indikator yang penting dalam menyebabkan penuaan semakin cepat. Tingkat keasaman dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kapan minyak harus diganti [16].

Warna minyak yang baik adalah warna yang jernih dan bersih, seperti air murni. Selama transformator dioperasikan, minyak isolator akan melerutkan suspensi/endapan (sludge) di mana semakin banyak endapan yang terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap. Skala warna minyak maksimum menurut IEC 60422 (2014) adalah 3,5. [16].

Pengujian Furan

Furan adalah senyawa kimia utama yang dihasilkan sebagai parameter umur isolasi transformator. Nilai furan umumnya muncul karena faktor suhu dan oksidasi asam selama transformator beroperasi. Isolasi kertas merupakan komponen penting dalam perendaman minyak transformator. Kerusakan yang disebabkan oleh kelembapan dan oksigen akan mempercepat penurunan kemampuan isolasi transformator serta menghasilkan senyawa furan. Kandungan furan dalam minyak transformator menentukan sisa umur isolasi kertas, yang pada akhirnya juga berdampak pada sisa umur transformator [14]. Standar pengujian furan dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Standar Pengujian Furan Fist-3-31-2003

2 FAL at 55°C (ppb)	Estimasi Umur Kertas (%)	Keterangan
58	100	Penuaan Kertas Normal
130	90	
292	79	
654	66	
1464	50	
1720	46	
2021	42	Percepatan Penuaan Kertas
2022	38	
2789	33	
3277	29	
3278	24	
4524	19	
4525	13	Rasio Kerusakan Kertas Tertinggi
6245	7	
7337	0	
		Akhir Umur Kertas

Health Index Transformator

Untuk menghitung nilai *health index* transformator sesuai dengan refrensi jurnal *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)* from IEEE Xplore, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan nilai dari setiap parameter menggunakan perhitungan pada persamaan 1. Parameter dalam persamaan tersebut mencakup DGA, minyak transformator dan furan [14]

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

Si (Skor) : Penilaian kondisi untuk setiap gas terlarut.
 Wi (Bobot) : bobot kondisi untuk tiap gas terlarut

Dalam setiap pengujian parameter transformator, terdapat dua nilai yang dapat ditentukan, yaitu Skor dan Bobot. Skor pada suatu parameter dinyatakan dalam Si, yang merupakan penilaian dari hasil pengujian masing-masing parameter. Skor direpresentasikan dalam bentuk angka dengan rentang sesuai dengan standar pengujian untuk parameter tersebut.

Untuk bobot suatu parameter, dinyatakan dalam Bobot, yaitu faktor dari parameter uji yang memengaruhi transformator. Bobot direpresentasikan dalam bentuk angka yang disesuaikan dengan total pengaruh parameter tersebut sesuai dengan standar yang berlaku yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut [14].

Tabel 4 Penilaian Setiap Parameter Pengujian

Nilai	Kondisi	Deskripsi
A	Baik	<1,2
B	Normal	1,2 ≤ x < 1,5
C	Waspada	1,5 ≤ x < 2
D	Kurang	2 ≤ x < 3
E	Sangat Kurang	≥3

Setelah mendapatkan nilai dari setiap parameter, semua nilai tersebut kemudian dijumlahkan untuk memperoleh nilai akhir *health index* transformator menggunakan Persamaan 2 [12].

$$HIT = \frac{\sum_{j=1}^n K_j \times HIF_j}{\sum_{j=1}^n 4K_j} \times 100\% \quad (2)$$

HIT : *Health index* transformator
 K_j : Konstanta pada kriteria kondisi transformator (DGA 10, Minyak Tranformator 8 dan *Furan* 5)
 HIF_j : Faktor *index* performa pada kriteria kondisi transformator (A,B,C,D,E yang di konversi menjadi angka 4,3,2,1,0.)

Nilai akhir indeks kesehatan transformator diperoleh dengan mengalikan bobot setiap parameter (K_j) dengan faktor indeks kinerja pada kriteria kondisi transformator (HIF_j) dan membaginya dengan skor maksimum dari kondisi tersebut, lalu dikalikan dengan seratus. Nilai K_j dan HIF_j dapat ditentukan berdasarkan nilai yang ditampilkan pada tabel 5 dan tabel 6, di mana nilai tersebut merepresentasikan bobot keseluruhan dari setiap parameter uji [14].

Tabel 5 Penilaian Setiap Parameter (K_j)

No	Kriteria Kondisi Transformator	Nilai Setiap Parameter (K _j)
1	DGA	10
2	Minyak Transformator	8
3	<i>Furan</i>	5

Untuk menentukan nilai HIF_j, nilai huruf (A, B, C, D, dan E) pada setiap parameter yang dihitung menggunakan Persamaan 1 dikonversikan ke dalam bentuk angka (4, 3, 2, 1, dan 0). Nilai A berarti 4, B berarti 3, C berarti 2, D berarti 1, dan E berarti 0. Setelah konversi dilakukan, langkah berikutnya

adalah melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 2 [12].

Tabel 6 Penilaian HIF_j

No	Parameter Transformator	Nilai Kondisi	Nilai HIF _j
1	DGA	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
2	Minyak Transformator	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
3	<i>Furan</i>	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0

Setelah dihitung menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2, nilai akhir yang diperoleh dari perhitungan diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkat kondisi dengan rentang dari 0 hingga 100. Kondisi dengan nilai 0 menunjukkan bahwa transformator mengalami degradasi atau kegagalan total, sedangkan nilai 100 menunjukkan bahwa transformator berada dalam kondisi yang sangat baik, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 7 [14].

Tabel 7 Penilaian Total Health index Transformator

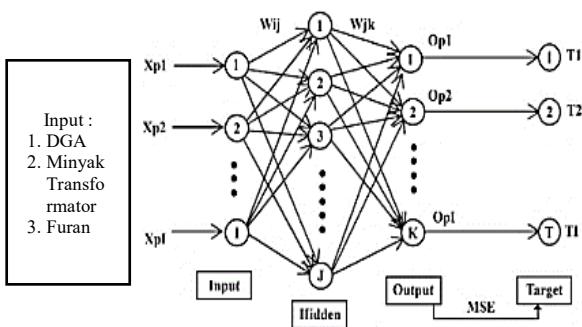
Health index Transformator	Kondisi	Deskripsi	Prediksi Umur Transformator
85-100	Sangat Baik	Beberapa penuaan atau kerusakan kecil pada sejumlah komponen	Lebih dari 15 Tahun
70-85	Baik	Kerusakan sedang pada beberapa komponen	Lebih dari 10 Tahun
50-70	Cukup	Kerusakan serius pada komponen tertentu	Sampai 10 Tahun
30-50	Kurang	Kerusakan serius dan menyebar	Kurang dari 3 Tahun
0-30	Sangat Kurang	Penurunan kondisi yang seriusa dan menyeluruh	0 Tahun

Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) adalah sebuah metode yang digunakan untuk memodelkan suatu sistem atau fenomena. Metode jaringan saraf tiruan ini bekerja dengan memodelkan sistem secara linear maupun non-linear berdasarkan pengetahuan sebelumnya tentang sistem tersebut. Cara kerjanya juga menyerupai cara kerja otak manumur, di mana jaringan saraf tiruan biasanya digunakan untuk mengantikan model matematika dengan memanfaatkan beberapa jaringan yang saling berkomunikasi antar elemen [14]. Contoh gambar Arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN) dapat dilihat pada gambar 3.

Berdasarkan arsitektur jaringan saraf tiruan pada Gambar 2, diperlihatkan bahwa:

- I = Input dari data yang diinginkan (Lapisan Input)
- J = Lapisan tersembunyi (*Hidden Layer*)
- K = Output dari hasil perhitungan (Lapisan Output)
- W_{ij} = Bobot dari lapisan i ke j
- W_{jk} = Bobot dari lapisan j ke k

Gambar 2 Arsitektur *Artificial Neural Network*

Mean Square Error

Pembelajaran jaringan saraf tiruan dengan *Backpropagation* umumnya menggunakan fungsi *Mean Squared Error* (MSE). Metode ini digunakan untuk mengevaluasi sistem prediksi dan mengontrol *error* pada prediksi besar. Dalam tahap pembelajaran jaringan saraf tiruan, terdapat dua kondisi, yaitu kondisi aktual dan kondisi hasil prediksi. Kedua kondisi ini dibandingkan dan dihitung rata-rata *error*-nya menggunakan persamaan 3 berikut [14] :

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - y_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (3)$$

MSE = Hasil rata-rata kesalahan
 N = Jumlah pembelajaran (*training*)
 di = *Output* aktual
 yi = Hasil prediksi
 ei = Kesalahan sampel

Mean Actual Percentage Error (MAPE)

Pembelajaran Dalam percobaan simulasi ANN, nilai ketepatan prediksi memegang peranan penting dalam menguji validitas suatu sistem. MAPE (*mean actual percentage error*) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan prediksi, yaitu dengan menghitung rata-rata persentase selisih *actual* antara data aktual dan data hasil peramalan. Berikut ini ditampilkan persamaan 4 untuk menghitung nilai APE (*actual percentage error*), persamaan 5 untuk nilai MAPE, dan persamaan 6 untuk menghitung tingkat keberhasilan prediksi [12].

$$APE = \left[\frac{[x_{true}(i) - y_{pre}(i)]}{x_{true}(i)} \times 100\% \right] \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{[x_{true}(i) - y_{pre}(i)]}{x_{true}(i)} \times 100\% \right] \quad (5)$$

$$\text{Tingkat keberhasilan} = 100\% - \sum MAPE \quad (6)$$

Root Mean Square Error (RMSE)

Terdapat dua metode yang umum digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan (*error*), yaitu koefisien korelasi

dan RMSE (*root mean square error*). Koefisien korelasi digunakan untuk mengukur seberapa kuat hubungan linier antara hasil prediksi dengan nilai aktual, sedangkan RMSE merupakan ukuran rata-rata kesalahan prediksi, di mana model dikatakan semakin akurat jika nilai RMSE mendekati nol. Perhitungan nilai koefisien korelasi dilakukan menggunakan persamaan 7, sedangkan persamaan 8 digunakan untuk menghitung nilai RMSE [17].

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x(i) - y(i))^2}{n}} \quad (8)$$

Evaluasi/Validasi Performa

Root mean square error (RMSE) merupakan salah satu ukuran akurasi yang menunjukkan sejauh mana perbandingan nilai hasil prediksi dan nilai aktual saling berkesesuaian secara rata-rata. Pada ukuran ini, suatu model prediksi dinyatakan paling baik apabila nilai RMSE yang dihasilkan adalah 0 (nol). Tabel 8 berikut ini menyajikan analisis mengenai nilai MAPE [17].

Tabel 8 Penilaian MAPE

Rentang MAPE	Kondisi
<10%	Kemampuan prediksi sangat baik / <i>Forecasting model ability is very good</i>
10-20%	Kemampuan prediksi baik / <i>Forecasting model ability is good</i>
20-50%	Kemampuan prediksi Cukup / <i>Forecasting model ability is fair</i>
>50%	Kemampuan prediksi Kurang / <i>Forecasting model ability is poor</i>

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Health Index Transformator

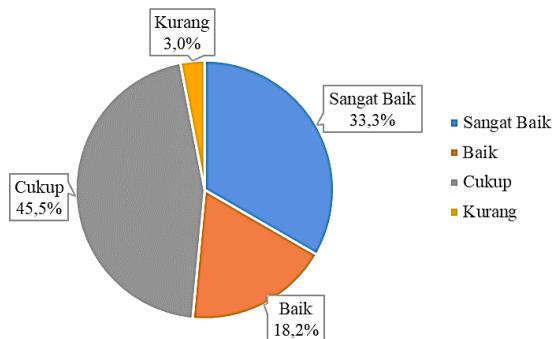
Hasil penelitian disajikan setelah melakukan proses perhitungan secara manual pada kondisi health index transformator, kemudian dilakukan simulasi perhitungan menggunakan *software* google colab dengan memasukkan data hasil pengujian pada 33 unit transformator daya dengan kondisi sesuai gambar 3.

Berdasarkan hasil penilaian dari *health index* transformator, terdapat jangkauan nilai dari 46,73 sampai dengan 100. Dari total 33 unit transformator daya yang sudah diterapkan pengujian dan perhitungan *health index* transformator, Berikut merupakan hasil klasifikasi kondisi *health index* transformator yang dapat di tampilkan secara otomatis pada *software* google colab dan tersimpan pada google drive yang akan di olah menggunakan metode *artificial neural network* (ANN).

Transformator yang memiliki kondisi sangat baik dengan jangkauan nilai antara 89,13 sampai 100, terdiri dari 11 transformator daya, Transformator yang memiliki kondisi baik dengan jangkauan nilai antara 71,74 sampai 82,61, terdiri dari 6 transformator daya, Transformator yang memiliki kondisi Cukup dengan jangkauan nilai antara 52,17 sampai 69,57, terdiri dari 15 transformator daya, Transformator yang

memiliki kondisi Kurang terdiri dari 1 transformator daya, dengan nilai 46,74.

Kondisi Health Index Transformator Total 33 Trafo



Gambar 3 Kondisi *Health Index* Transformator

Kemudian data perhitungan prediksi umur dibandingkan dengan umur produksi transformator didapatkan hasil sesuai pada gambar 4.



Gambar 4 Hasil Akhir Pengujian ANN

Hasil perbandingan pada Gambar 4 dapat dianalisa hubungan antara umur produksi transformator (tahun sejak diproduksi) dengan prediksi sisa umur berdasarkan nilai *Health index* yang dihitung dari parameter *dissolved gas analysis* (DGA), minyak transformator, dan *furan*.

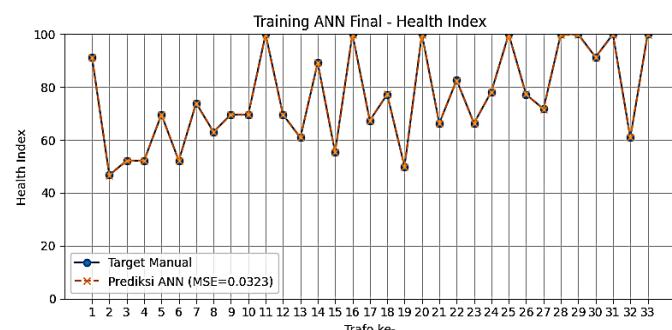
Dari 33 unit transformator yang dianalisis trafo termuda berumur 9 tahun (produksi 2016), trafo tertua berumur 48 tahun (produksi 1977). Dengan hasil perbandingan diklasifikasikan menjadi empat kategori:

- Kurang dari 3 Tahun → Hanya 1 unit, meskipun tergolong muda (tahun produksi 2013)
- Sampai 10 Tahun → Mendominasi kategori, dengan mayoritas berada pada umur 10–45 tahun.
- Lebih dari 10 Tahun → Ditempati oleh unit dengan umur produksi beragam (12–48 tahun)
- Lebih dari 15 Tahun → Berisi unit dengan umur di atas 20 tahun.

B. Hasil Akhir pengujian ANN

Setelah melakukan pengujian ANN pada parameter *Dissolved Gas Analysis* (DGA), minyak transformator, dan *furan*. Maka didapatkan grafik hasil akhir pengujian ANN yang ditunjukkan pada gambar 5 berikut. terlihat grafik pada gambar

5 membandingkan nilai total *health index* manual (target manual) dan hasil prediksi



Gambar 5 Data Perhitungan Sisa Umur Dengan Umur Produksi Transformator

ANN dengan jumlah data 33 unit trafo. Garis biru bulat mempresentasikan nilai target/manual hasil perhitungan total *health index* berdasarkan rumus penilaian total *health index*, sedangkan Garis oranye silang adalah hasil prediksi ANN pada masing-masing unit trafo dan garis putus-putus menghubungkan titik prediksi ANN, sedangkan garis solid untuk data target/manual. Sumbu X merepresentasikan nomor urut trafo ke-1 hingga ke-33, sementara sumbu Y menunjukkan nilai total *health index* pada rentang 0 sampai 100.

Pada grafik tersebut terlihat, sebagian besar hasil prediksi ANN sangat mendekati garis manual atau deviasi kecil, misalnya hanya pada beberapa titik di trafo ke-11, ke-16, ke-20, ke-25, ke-28, ke-29, ke-31, ke-33 yang nilai deviasinya lebih besar dari trafo lainnya atau nilainya lebih dari 0,2. Namun demikian, secara keseluruhan hasil prediksi ANN sudah cukup baik, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *Mean Square Error* (MSE) yang diperoleh sebesar 0,0323. Nilai MSE ini menunjukkan bahwa tingkat kesalahan prediksi relatif rendah dan model ANN yang digunakan mampu melakukan prediksi dengan akurasi yang tinggi atau nilai *error* mendekati 0.

Untuk membuktikan tingkat akurasi dan kesalahannya, selanjutnya nilai data ANN total *health index* akan divalidasi nilai tingkat akurasi prediksi dan nilai tingkat *error*, dalam perhitungannya langsung menggunakan *software* google colab dengan hasil sesuai tabel 9 berikut.

Tabel 9 Hasil Validasi Tingkat Akurasi dan Kesalahan ANN Total Health Index

Trafo ke-	Target Manual	Prediksi ANN	APE (%)	Akurasi (%)
1	91,30	91,37	0,07	99,93
2	46,74	46,71	0,06	99,94
3	52,17	52,19	0,03	99,97
4	52,17	52,19	0,03	99,97
5	69,57	69,63	0,10	99,90
6	52,17	52,19	0,03	99,97
7	73,91	73,83	0,11	99,89
8	63,04	63,00	0,07	99,93
9	69,57	69,63	0,10	99,90
10	69,57	69,63	0,10	99,90
11	100,00	99,66	0,34	99,66
12	69,57	69,63	0,10	99,90
13	60,87	60,86	0,02	99,98
14	89,13	89,24	0,13	99,87

Trafo ke-	Target Manual	Prediksi ANN	APE (%)	Akurasi (%)
15	55,43	55,44	0,01	99,99
16	100,00	99,66	0,34	99,66
17	67,39	67,26	0,19	99,81
18	77,17	77,28	0,14	99,86
19	50,00	50,00	0,00	100,00
20	100,00	99,66	0,34	99,66
21	66,30	66,34	0,05	99,95
22	82,61	82,48	0,16	99,84
23	66,30	66,34	0,05	99,95
24	78,26	78,18	0,10	99,90
25	100,00	99,66	0,34	99,66
26	77,17	77,28	0,14	99,86
27	71,74	71,54	0,28	99,72
28	100,00	99,66	0,34	99,66
29	100,00	99,66	0,34	99,66
30	91,30	91,37	0,07	99,93
31	100,00	99,66	0,34	99,66
32	60,87	60,86	0,01	99,99
33	100,00	99,66	0,34	99,66
RMSE	0,18			
R	1,00			
MAPE	0,15%			
Tingkat Akurasi	99,85%			

Dari tabel 9 dapat diketahui sebanyak 33 unit berupa data jumlah trafo, target manual/hasil total *health index* dan data prediksi ANN. Berikut hasil pengujian validasi tingkat kesalahan yaitu nilai RMSE yang diperoleh adalah 0,18 menandakan error prediksi termasuk sangat rendah karena nilai mendekati 0. Sementara itu, koefisien korelasi (R) sebesar 1 menunjukkan hubungan linier yang sempurna antara hasil prediksi ANN dengan data manual karena nilai sama dengan 1. Selanjutnya untuk hasil pengujian validasi tingkat akurasi menghasilkan rata-rata nilai APE seluruh data atau MAPE sebesar 0,15%, yang menurut klasifikasi akurasi prediksi termasuk kategori sangat baik (*Forecasting model ability is very good, <10%*). Sementara itu, untuk tingkat akurasinya dapat diperoleh 99,85% yang artinya tingkat akurasi prediksi dapat diterima kebenarannya. Berdasarkan hasil pengujian validasi tersebut, ANN terbukti mampu memodelkan hubungan total *health index* secara akurat.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi parameter Dissolved Gas Analysis (DGA), minyak transformator, dan furan dalam perhitungan Health Index memberikan gambaran kondisi transformator yang lebih komprehensif, di mana sebagian besar dari 33 unit transformator yang dianalisis berada pada kategori cukup hingga sangat baik. Evaluasi model Artificial Neural Network (ANN) yang dikembangkan menghasilkan tingkat akurasi 99,85%, nilai MAPE 0,15%, serta RMSE 0,18, sehingga mengindikasikan kemampuan yang sangat baik dalam memodelkan hubungan nonlinier antarparameter kesehatan transformator dan memprediksi nilai Health Index secara presisi. Dengan demikian, pendekatan Health Index berbasis ANN terbukti efektif sebagai alat evaluasi kondisi dan prediksi sisa umur transformator, serta

memiliki potensi signifikan untuk diterapkan sebagai dasar pengembangan sistem pemeliharaan prediktif dalam manajemen aset transformator di lingkungan industri.

Disarankan penerapan sistem pemantauan online untuk menilai health index secara real-time, penambahan analisis jenis kegagalan pada komponen transformator, serta penerapan pemeliharaan prediktif secara rutin berdasarkan hasil health index.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini diucapkan terimakasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada seluruh pihak yang telah memberikan masukan dan membantu dalam penyelesaian penelitian ini baik dari instansi Institut Adhi Tama Surabaya 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. Sapthu, "Listrik Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Provinsi Maluku Electricity and its Influence on Economic Growth in Maluku Province," vol. 17, no. 2, pp. 199–207, 2023.
- [2] M. I. Hamid, S. Sulfandri, and A. Afifah, "The Effect of Electricity Supply Interruptions on Small Business Productivity in West Sumatra," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 38–49, 2023.
- [3] S. Li, X. Li, Y. Cui, and H. Li, "Review of Transformer Health Index from the Perspective of Survivability and Condition Assessment," 2023.
- [4] A. Pasaransi *et al.*, "Mitigasi Biaya dan Resiko Pemanfaatan Trafo Obsolute dan Kondisi Buruk pada PLN UPT Palembang untuk Mendapatkan Biaya Operasional yang Optimum," vol. 19, no. 2, 2025.
- [5] A. Kurniawan, Y. Rahmawati, and H. Putranto, "Studi Performa Transformator Daya Menggunakan Metode Health Index di Gardu Induk Waru Sidoarjo," pp. 33–38.
- [6] A. Rosyiddin, "Analisis Prediksi Dan Kondisi Umur Transformator pada BAT GT 2 . 1 PLTGU Priok Menggunakan Metode Health Index," vol. 14, no. 02, pp. 90–96, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i2.006.
- [7] T. O. Priyono and V. Valentina, "Analisa Sisa Umur Pemanfaatan Transformator Tipe Rectifier Kapasitas 20 kV Berdasarkan Perhitungan Pembebatan di Chemical Plant Karawang," *J. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 63–72, 2022.
- [8] S. Vol *et al.*, "Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya," vol. XXIII, no. 2, pp. 1–10, 2021.
- [9] B. Sirima, G. M. C. Mangindaan, D. Ph, and L. S. Patras, "Analysis Effect Loading of Power Transformers at The Sawangan Substation," pp. 1–18.
- [10] B. B. Xavier, T. Suheta, and N. H. Rohiem, "Perkiraan umur transformator distribusi di edtl cai-coli dili (timor-leste)," in *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*, 2022, pp. 285–291.
- [11] S. Nasional, T. Elektro, S. Informasi, and T. Informatika, "Perkiraan Sisa Umur Transformator Distribusi 20 Kv di Perusahaan Bumi Waras Group," pp. 355–361, 2023.
- [12] W. Pratama, D. B. Samodra, H. A. Perkasa, A. Hermawan, F. B. Ramadhan, and W. S. Pambudi, "Prediksi Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Artificial Neural Network," in *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*, 2023, pp. 112–120.
- [13] I. M. Jatmiko *et al.*, "Analisa Sisa Umur Transformator Berdasarkan Pengaruh Pembebatan Menggunakan Metode Probabilistik Neural Network (PNN)," pp. 1–7.
- [14] H. Nurcahyanto, J. M. Nainggolan, I. M. Ardita, and C. Hudaya, "Analysis of Power Transformer 's Lifetime Using Health Index Transformer Method Based on Artificial Neural Network Modeling," no. July, pp. 9–10, 2019.
- [15] C. P. Maharani, I. M. A. Nrartha, and N. Hasibuan, Septian Ilham Arnawan, "Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Pada Bay Trafo 1 Di GI 150 kV Tanjung," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.*, vol. 12, no. 3, 2024.

- [16] R. A. Prasojo, S. Suwarno, M. F. Hakim, and R. Duanaputri, *Identifikasi Gangguan dan Analisis Gas Terlarut untuk Transformator Daya*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish Digital, 2024.
- [17] R. Algorithm, “Indonesian Crude Oil Price (ICP) Prediction Using Multiple Linear,” vol. 5, no. 158, pp. 8–12, 2026.