

Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan Metode *Backpropagation*

Novie Elok Setiawati¹, Rosmaliati², Misbahul Munir³, Trisna Wati⁴, dan Ilmiatul Masfufiah⁵
^{1,3,4,5}Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Jl. Arief Rahman hakim No.100, Klampis Ngasem, Kec Sukolilo, Kota Surabaya 60117
²Teknik Elektro, Universitas Mataram
Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec Selaparang, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115
e-mail: novie.elok@itats.ac.id

Abstrak— Transformator distribusi adalah salah satu instrument penting dalam penyaluran listrik ke konsumen. Selain penggunaan normal, kondisi gangguan pada transformator dapat menyebabkan menurunnya umur transformator sehingga kinerja transformator tidak optimal sampai batas umur operasinya. Oleh karena itu penting sekali dilakukan menghitung sisa umur transformator. Tahapan yang dilakukan adalah menghitung sisa umur transformator menggunakan standar IEC 60076-7. Selanjutnya dilakukan prediksi sisa umur transformator menggunakan *backpropagation*. Parameter-parameter yang diperlukan untuk penelitian ini pembebanan dan umur transformator. Pengukuran arus transformator distribusi dilaksanakan di Surabaya Utara dengan rating 20 KV / 380-220 Volt. Nilai pembebanan transformator yang dilakukan selama 24 jam merupakan data latih dan data testing pada *backpropagation*. Hasil simulasi *backpropagation* untuk memprediksi sisa umur mendapatkan nilai rata-rata akurasi dari komposisi I sebesar 97.81 %, komposisi II sebesar 96.94%.

Kata kunci: *Transformator distribusi, IEC-60076-7, backpropagation*

Abstract—The distribution transformer is one of the vital components in the power system distribution, which is deliver electricity power to the consumer. In addition to normal use, the disturbance conditions on the transformer can cause a decrease of its performance of the transformer, so that it cannot reach its operation life. Therefore, it is important to calculate the remaining lifetime of transformer. The step that needs to be done is to calculate the remaining lifetime of transformer using the IEC standard 60076-7. Furthermore, predicting the remaining lifetime of transformer using *backpropagation*. The parameters used for this research include load and remaining lifetime of transformer. Transformer current measurement is carried out in Surabaya with a rating of 20 KV/380-220 V. Load value of transformer for 24 hours are inputs data used on training and testing of *backpropagation*. *Backpropagation* simulation results to prediction remaining lifetime get an average accuracy of composition I by 97.81% and composition II by 96.96%

Keywords: *Distribution Transformer, IEC 60076-7, Backpropagation*

I. PENDAHULUAN

Transformator distribusi adalah salah satu komponen utama dalam sistem tenaga yang berperan dalam proses penyaluran tenaga listrik kepada konsumen yang harus terjamin pelayanannya. Namun, dalam kondisi tertentu proses pelayanan tenaga listrik dapat mengalami gangguan yang disebabkan beberapa faktor antara lain gangguan hubung singkat, pembebanan yang semakin meningkat, pengaruh mekanisme kimia, penurunan isolasi transformator dan faktor-faktor lainnya. Faktor-faktor tersebut dapat mengakibatkan menurunnya umur transformator sehingga kinerja transformator tidak optimal sampai batas umur operasinya.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memonitor dan mengevaluasi kondisi transformator, salah satunya adalah memprediksi dan memonitor transformator daya untuk mengetahui kapasitas beban dan sisa umur transformator[1]. Penelitian lainnya [2], menentukan sisa

umur transformator dengan memperkirakan profil beban harian. Selain itu, penelitian nilai arus harmonik juga dapat menyebabkan berkurangnya umur transformator seperti pada penelitian [3] yang melakukan pengukuran harmonik arus dengan beban non linier pada transformator distribusi. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya, penelitian [4] melakukan klasifikasi umur transformator dan monitoring kondisi transformator dengan metode *transformasi wavelet* dan *probalistic neural network*. Penelitian [5] kombinasi *transformasi wavelet* dan *probalistic neural network* untuk mengklasifikasi umur transformator dan monitoring kondisi transformator dilakukan dengan mempertimbangkan harmonik arus. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan metode *backpropagation*. Informasi tentang sisa umur traansformator dapat membantu pada utilitas ketenagalistrikan dalam melakukan perencanaan pemeliharaan dan penggantian transformator distribusi.

Tahapan yang dilakukan adalah menghitung sisa umur transformator menggunakan standar IEC 60076-7. Parameter-parameter yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain arus sekunder transformator, pembebanan, dan sisa umur transformator. Nilai pembebanan transformator merupakan data latih dan data testing pada *backpropagation*. Output metode yang diharapkan adalah prediksi sisa umur transformator.

II. STUDI PUSTAKA

A. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan salah satu komponen utama dalam proses penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Transformator distribusi ini digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari 20 kV/380-220 Volt.

B. Temperatur dan Pembebanan pada Transformator

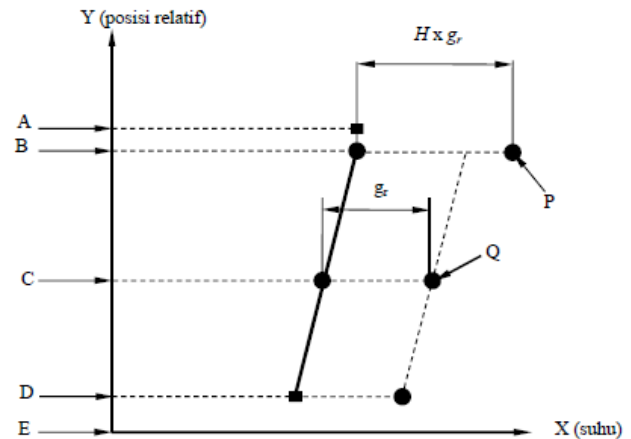
Ketika transformator beroperasi untuk memenuhi kebutuhan beban pada konsumen dalam kondisi normal, beban puncak, dan keadaan darurat akan menimbulkan panas belitan dan juga isolasi transformator. Jika kondisi pembebanan transformator terus meningkat maka akan terjadi kenaikan suhu yang berlebih diakibatkan adanya perubahan pembebanan yang besar. Kondisi beban lebih ini akan menaikkan suhu belitan *hot spot*, sehingga menyebabkan penurunan isolasi transformator dan akhirnya akan memperpendek umur operasi transformator. Oleh karena itu, terdapat standar untuk mengatur kenaikan suhu berdasarkan isolasi transformator, dengan suhu sekitar (*ambient temperature*) 20°C, ditetapkan sebagai berikut:

1. Laju kerusakan termal isolasi transformator meningkat terhadap suhu secara eksponensial di daerah suhu belitan *hot spot* sampai dengan 140°C
2. Laju normal kerusakan isolasi terjadi pada suhu titik panas belitan 98°C, dan laju kerusakan pada suhu lain akan dibandingkan dengan laju normal
3. Suhu titik panas belitan tidak boleh melebihi suhu 140°C

Sistem isolasi dari sebuah transformator distribusi secara umum menggunakan kertas dan minyak yang berangsur-angsur mengalami penuaan. Meningkatnya beban yang secara tiba-tiba akan mempengaruhi kenaikan suhu *hot spot*. jika terjadi secara terus-menerus menyebabkan dekomposisi dari isolasi transformator. Karena persebaran suhu *hot spot* yang tidak merata, transformator akan mengalami kerusakan dan mempengaruhi umur dari transformator.

Besaran pembebanan yang diberikan terhadap transformator menentukan kenaikan suhu pada transformator tersebut. Untuk menentukan besarnya kenaikan suhu transformator diasumsikan sebuah diagram thermal seperti pada gambar 1 [6].

Kenaikan temperature *hot spot* lebih tinggi dari kenaikan suhu konduktor pada puncak belitan harus menaikkan *stray losses*, untuk perbedaan pada aliran minyak local dan kemungkinan penambahan kertas pada konduktor.



Gambar 1. Diagram Thermal

Keterangan:

A: Suhu *top oil* yang berasal dari rata-rata suhu minyak saluran tangki dan suhu minyak pada daerah tangki
B: Suhu minyak campuran di dalam tangki pada belitan bagian atas.

C: Suhu minyak rata-rata dalam tangki

D: Suhu minyak pada dasar belitan

E: Dasar tangki

g_r : Rata-rata belitan pada rata-rata temperature minyak

H: Faktor *hot spot*

P: Suhu *hot spot*

Q: Suhu belitan rata-rata yang ditentukan oleh pengukuran resistansi

Asumsi diagram thermal dijelaskan berikut ini :

1. Suhu minyak di dalam tangki meningkat secara linier dari bawah ke atas, apapun cara pendinginannya
2. Sebagai indikator pertama, kenaikan suhu konduktor tiap posisi atas belitan diasumsikan meningkat secara linier, selaras terhadap kenaikan suhu minyak, dengan perbedaan konstanta g_r antara dua garis lurus (g_r adalah perbedaan antara kenaikan temperature belitan rata-rata oleh resistansi dan kenaikan rata-rata temperature minyak di dalam tangki)

Memperhitungkan ketidaklinieran ini terdapat perbedaan suhu antara *hot spot* dan *top oil* di dalam tangki sama dengan $H \times g_r$ yakni $\Delta\theta_{hr} = H \times g_r$. Sebagai pedoman untuk perhitungan temperature *hot spot* dan *top oil*, diberikan karakteristik termal dari transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN pada tabel 1.

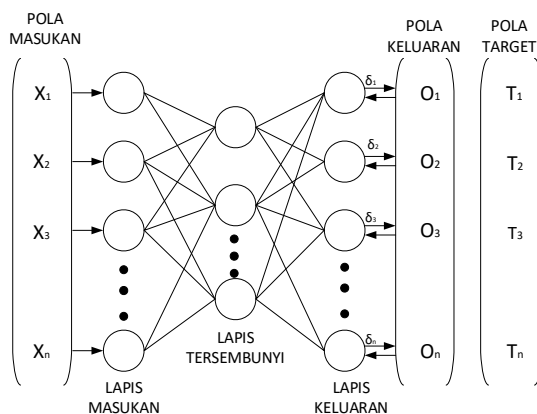
Tabel 2. Karakteristik termal untuk perhitungan pembebanan transformator distribusi "ONAN"

Uraian	ONAN
Eksponen Minyak (x)	0.8
Eksponen Belitan (y)	1.6
Rasio Rugi-Rugi (R)	5
Factor <i>Hot Spot</i> (H)	1.1
Konstanta Minyak (T_o)	180
Konstanta Belitan (T_w)	4
Temperatur Ambient (θ_a)	20

Uraian	ONAN
Temperatur <i>Hot Spot</i> (θ_h)	98
Gradient <i>Hot Spot to Top Oil</i> (dalam tangki) ($\Delta\theta_{hr}$)	23*
Rata-Rata Kenaikan Temperatur Minyak ($\Delta\theta_{omr}$)	44
Kenaikan Temperatur <i>Top Oil</i> ($\Delta\theta_{or}$)	55*
Kenaikan Temperatur <i>Bottom Oil</i> ($\Delta\theta_{br}$)	33
k_{11}	1
k_{21}	1
k_{22}	2

C. Backpropagation

Backpropagation termasuk dalam metode pelatihan terbimbing (*supervised*). Fungsinya untuk mengurangi error dengan cara menyesuaikan bobot berdasarkan perbedaan keluaran dan target yang diinginkan. Arsitektur jaringan *backpropagation* ditunjukkan pada gambar 2

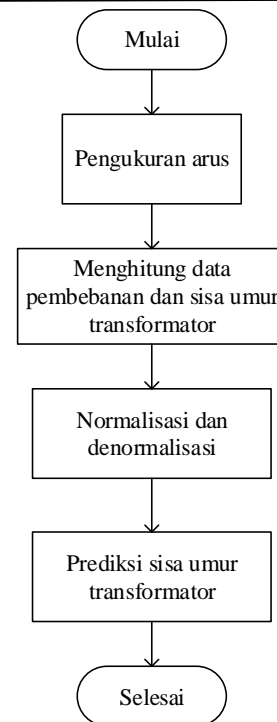


Gambar 2. Arsitektur jaringan *backpropagation*[7]

Algoritma *backpropagation* terdiri dari dua tahapan, *feedforward* and *backpropagation*. *Backpropagation* terdiri dari lapis masukan, lapis tersembunyi, lapis keluaran. Layer pada *backpropagation* ini merupakan perkembangan dari jaring layer tunggal yang memiliki dua layer yaitu lapisan masukan dan lapisan keluaran. Lapisan keluaran pada *backpropagation* memiliki nilai error yang lebih kecil dibandingkan nilai error pada jaring layer tunggal, karena lapisan tersembunyi berfungsi untuk memperbarui bobot. Proses *backpropagation* yaitu jaringan lapisan masukan diteruskan ke lapisan tersembunyi. Setiap lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran dikalikan dengan berat dan dijumlahkan dengan bias. Jika ada pola yang berbeda dengan target, maka nilai setiap bobot pada setiap unit lapisan akan diperbaiki dalam arah mundur.

III. METODE

Pada penelitian ini dilakukan proses memprediksi sisa umur transformator menggunakan *backpropagation*. Secara umum, tahapan dari penelitian yang dilakukan adalah seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram tahapan penelitian

A. Pengukuran Arus pada Temperatur

Tahapan pertama yang dilakukan adalah penentuan objek yang akan diukur. Objek yang dimaksud disini adalah transformator distribusi. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data arus sekunder dari beberapa transformator distribusi. Pengukuran data arus transformator pada penelitian ini dilakukan di daerah Surabaya. Transformator distribusi yang akan diukur adalah transformator distribusi dengan level tegangan 20 KV/220-380V dengan kapasitas bervariasi yang dapat dilihat pada tabel 2. Transformator distribusi yang dipilih memiliki range sisa umur yang bervariasi. Pengukuran data arus transformator menggunakan alat ukur power quality meter. Penelitian ini menggunakan 10 transformator, berikut hasil pengukuran arus transformator selama 24 jam dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Kapasitas dan tahun operasi transformator distribusi

No	Label Transformer	Kapasitas (KVA)	Tahun Operasi (Tahun)
1	TR-1	160	6
2	TR-2	100	4
3	TR-3	100	4
4	TR-4	400	6
5	TR-5	100	5
6	TR-6	100	5
7	TR-7	250	6
8	TR-8	100	6
9	TR-9	100	4
10	TR-10	200	5

Tabel 3. Data hasil pengukuran arus transformator selama 24 jam

Waktu	TR-1		
	R (A)	S (A)	T (A)
01.00	34.3	46.8	58.3
02.00	38.4	52.5	65.3
03.00	38.4	52.5	65.3
04.00	38.4	52.5	65.3
05.00	32.3	44.2	55.0
06.00	21.9	30.0	37.3
07.00	11.5	15.8	19.7
08.00	13.7	18.7	23.3
09.00	13.7	18.7	23.3
10.00	13.7	18.7	23.3
11.00	13.7	18.7	23.3
12.00	13.7	18.7	23.3
13.00	13.7	18.7	23.3
14.00	13.7	18.7	23.3
15.00	13.7	18.7	23.3
16.00	19.2	26.2	32.7
17.00	19.2	26.2	32.7
18.00	53.5	73.1	91.0
19.00	56.9	77.8	96.9
20.00	56.2	76.8	95.7
21.00	56.2	76.8	95.7
22.00	53.5	73.1	91.0
23.00	50.0	68.4	85.2
24.00	34.3	46.8	58.3

B. Menghitung Data Pembebanan dan Sisa Umur Transformator

Parameter yang dibutuhkan dalam menentukan sisa umur transformator antara lain adalah data pembebanan. Data pembebanan merupakan presentase perbandingan arus yang terukur pada masing-masing fasa dengan arus nominal. Tahapan untuk menghitung sisa umur transformator dapat menggunakan standar IEC 60076-7[6].

C. Normalisasi dan Denormalisasi

Hasil dari nilai pembebanan yang telah dilakukan sebelumnya, selanjutnya data *input* dan *output* harus dinormalisasi terlebih dahulu. Pada penelitian ini algoritma *backpropagation* menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner, yang berarti data harus ditransformasikan terlebih dahulu karena range keluaran fungsi sigmoid adalah [0,1]. Data tersebut bisa ditransformasikan juga ke interval [0,1]. Untuk menormalisasi data dapat menggunakan rumus pada persamaan (1).

$$Normalisasi = \frac{X - Min(x)}{Max(x) - Min(x)} \quad (1)$$

dengan :

X = data awal

$Min(x)$ = nilai minimal data awal

$Max(x)$ = nilai maksimal data awal

Data yang sebelumnya sudah dinormalisasi juga perlu dikembalikan lagi datanya untuk mengetahui data yang sebenarnya dengan cara denormalisasi. Denormalisasi data dapat menggunakan rumus pada persamaan (2).

$$X = x' (max(x) - min(x)) + min(x) \quad (2)$$

dengan :

x' = data keluaran

$Min(x)$ = nilai minimal data awal

$Max(x)$ = nilai maksimal data awal

D. Prediksi Sisa Umur Transformator

Proses untuk memprediksi sisa umur transformator dilakukan dengan menggunakan metode *backpropagation*. Cara yang pertama ini jaringan *backpropagation* menginisialisasi bobot secara random, bobot diinisialisasi secara acak tanpa menggunakan faktor skala. *Backpropagationneural network* untuk memprediksi sisa umur transformator terdiri dari 2 lapisan yaitu 1 lapis tersembunyi, dan 1 lapis keluaran. Data yang digunakan untuk mensimulasikan *backpropagation* terdiri dari :

1. Data *input* adalah data pembebanan.
2. Data *output* adalah sisa umur transformator (tahun)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan *backpropagation* dilakukan dengan berbagai scenario :

1. Komposisi I dengan scenario terdiri dari 100% data training dan data testing
2. Komposisi II dengan scenario terdiri dari 50% data training dan 50% data testing.

A. Komposisi I

Hasil dari simulasi yang dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 4. Terlihat pada tabel 4 rata-rata nilai akurasi sebesar 97.81% dan MSE sebesar 3.66. Nilai error yang kecil maka dapat disimpulkan parameter input yang digunakan dapat digunakan untuk mengetahui sisa umur transformator. Sedangkan nilai error yang paling besar terdapat pada TR-8 sebesar 1.56.

Berdasarkan hasil simulasi untuk memprediksi sisa umur transformator terlihat pada gambar 4 yang menunjukkan bahwa adanya selisih antara umur asli dengan prediksi sisa umur. Selisih paling besar yang terlihat pada grafik terdapat pada TR-8 sebesar 1.56. Sedangkan umur asli yang sama dengan prediksi sisa umur terdapat pada TR-1 dan TR-6.

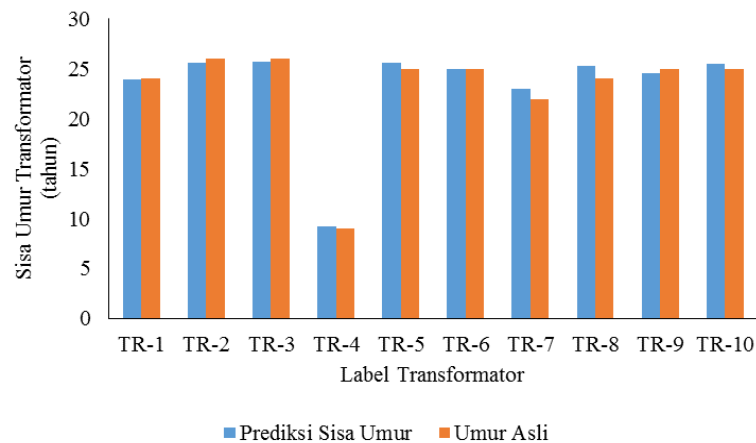
B. Komposisi II

Hasil dari simulasi yang dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator ditunjukkan pada tabel 5 dan gambar 5. Pada komposisi II pemilihan data training (meliputi label transformator TR-1 sampai TR-5) dan data testing (meliputi label transformator TR-6 sampai TR-10). Terlihat pada tabel 5 didapatkan rata-rata nilai akurasi sebesar 96.94% dan MSE sebesar 6.32. Nilai error yang kecil maka dapat disimpulkan parameter input yang digunakan dapat digunakan untuk mengetahui sisa umur transformator. Sedangkan nilai error yang paling besar terdapat pada TR-7 sebesar 5.47.

Berdasarkan hasil simulasi untuk memprediksi sisa umur transformator terlihat pada gambar 4.2 yang menunjukkan bahwa adanya selisih antara umur asli dengan prediksi sisa umur. Selisih paling besar yang terlihat pada grafik terdapat pada TR-7 sebesar 5.47. Sedangkan umur asli yang sama dengan prediksi sisa umur terdapat pada TR-9 dan TR-10.

Tabel 4. Hasil Simulasi Prediksi Sisa Umur Vs Sisa Umur Asli **Komposisi I**

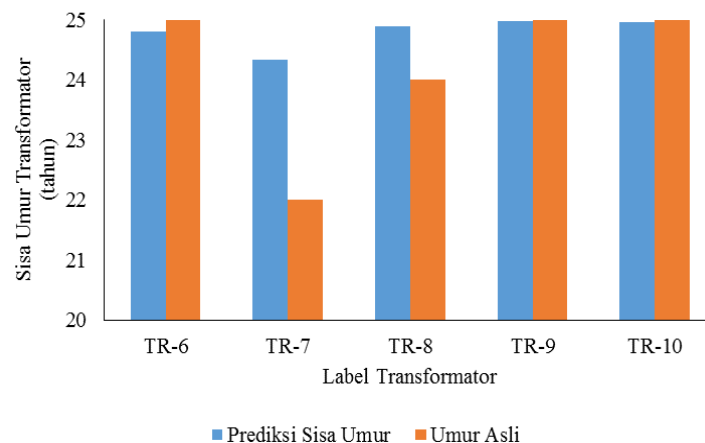
No	Label Transformator	Sisa Umur Transformator (tahun)		Akurasi (%)	MSE
		Umur Asli (tahun)	Prediksi Sisa Umur (tahun)		
1	TR-1	24	23.9838	99.93	0.00
2	TR-2	26	25.5801	98.39	0.18
3	TR-3	26	25.6855	98.79	0.10
4	TR-4	9	9.2737	96.96	0.07
5	TR-5	25	25.5852	97.66	0.34
6	TR-6	25	24.9681	99.87	0.00
7	TR-7	22	22.9825	95.53	0.97
8	TR-8	24	25.2503	94.79	1.56
9	TR-9	25	24.5635	98.25	0.19
10	TR-10	25	25.4951	98.02	0.25
Rata-rata				97.81	3.66



Gambar 4. Prediksi Sisa Umur Vs Sisa Umur Asli Komposisi I

Tabel 5. Hasil Simulasi Prediksi Sisa Umur Vs Sisa Umur Asli **Komposisi II**

No	Label Transformator	Sisa Umur Transformator (tahun)		Akurasi (%)	MSE
		Umur Asli (tahun)	Prediksi Sisa Umur (tahun)		
1	TR-6	25	24.8134	99.25	0.03
2	TR-7	22	24.3391	89.37	5.47
3	TR-8	24	24.9004	96.25	0.81
4	TR-9	25	24.9862	99.94	0.00
5	TR-10	25	24.9724	99.89	0.00
Rata-rata				96.94	6.32



Gambar 5. Prediksi Sisa Umur Vs Sisa Umur Asli Komposisi II

V. KESIMPULAN

Prediksi sisa umur transformator distribusi dipengaruhi oleh pembebanan. Nilai pembebanan pada transformator semakin besar maka temperatur *hot spot* akan meningkat. Temperatur *hot spot* yang tinggi akan menyebabkan susut umur transformator. Hasil simulasi backpropagation neural network untuk memprediksi sisa umur mendapatkan nilai rata-rata akurasi dari komposisi I sebesar 97.81 %, komposisi II sebesar 96.94%.

REFERENSI

- [1] Y. Biçen, F. Aras, and H. Kirkici, "Lifetime estimation and monitoring of power transformer considering annual load factors," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 21, no. 3, pp. 1360–1367, Jun. 2014, doi: 10.1109/TDEL.2014.6832284.
- [2] J. A. Jardini, H. P. Schmidt, C. M. V. Tahan, C. C. B. D. Oliveira, and S. U. Ahn, "Distribution transformer loss of life evaluation: a novel approach based on daily load profiles," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 15, no. 1, pp. 361–366, Jan. 2000, doi: 10.1109/61.847274.
- [3] D. M. Said, K. M. Nor, and M. S. Majid, "Analysis of distribution transformer losses and life expectancy using measured harmonic data," in *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010*, Sep. 2010, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625404.
- [4] O. E. Gouda, G. M. Amer, and W. A. A. Salem, "Predicting transformer temperature rise and loss of life in the presence of harmonic load currents," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 113–121, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.asej.2012.01.003.
- [5] I. W. F. W. K. Adi, A. Priyadi, M. Pujiatara, and M. H. P., "Transformer monitoring using harmonic current based on wavelet transformation and probabilistic neural network (PNN)," in *2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*, Nov. 2014, pp. 419–423, doi: 10.1109/ICITACEE.2014.7065783.
- [6] IEC 60076-7:2018, "Power Transformer- Part 7 : Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers." .
- [7] M. Purnomo Hery, *Supervised Neural Networks dan aplikasinya*, Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [8] D. Gookin, *Word 2016 for professionals for dummies*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.