2026, Vol. 4, No. 3, pp. 171-179
E-ISSN: 3025-9444

Prediksi Sisa Umur Transformator Berdasarkan Suhu *Hotspot* pada Gardu Induk Kebonagung

Aris Yusuf Maulana [1], Arif Nur Afandi [2]✉, Achmad Farouq Nur Wahyu Ramadhan [3], Irfan Andriansyah [4]
(1,2,3,4) Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

Abstract: The ever-increasing demand for electrical energy has a direct impact on the workload of transformers as vital components of the power system. Overloading can accelerate transformer insulation degradation through rising hotspot temperatures, thereby shortening its service life. This study aims to predict the remaining life of 150/20 kV transformers at Kebonagung Main Substation based on loading and hotspot temperature data throughout 2025. The methods employed include loading ratio calculation, top oil temperature rise, hotspot temperature, relative thermal aging rate using the Montsinger method, and transformer aging loss. Peak load data and ambient temperature data from Malang City were used as calculation inputs. The results show that transformer 5 experienced underloading in several months (below 40%), while transformer 6 operated within an efficient loading range. The hotspot temperatures of both transformers remained below the SPLN standard limit of 98°C. The aging loss values were 0.00650 for transformer 5 and 0.11484 for transformer 6. Based on these calculations, the predicted remaining life of transformer 5 is 23.993 years, while transformer 6 is 15.923 years. These findings are expected to serve as technical references for maintenance and replacement decision-making to improve power system reliability.

Abstrak: Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat berdampak langsung pada beban kerja transformator sebagai komponen vital sistem tenaga listrik. Pembebanan berlebih dapat mempercepat degradasi isolasi transformator melalui peningkatan suhu *hotspot*, sehingga memperpendek umur pakainya. Penelitian ini bertujuan memprediksi sisa umur transformator 150/20 kV di Gardu Induk Kebonagung berdasarkan data pembebanan dan suhu *hotspot* selama tahun 2025. Metode yang digunakan meliputi perhitungan rasio pembebanan, kenaikan suhu top oil, suhu *hotspot*, laju penuaan termal relatif menggunakan metode Montsinger, serta susut umur transformator. Data beban puncak dan suhu lingkungan Kota Malang digunakan sebagai masukan perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformator 5 mengalami underload pada beberapa bulan (di bawah 40%), sedangkan transformator 6 beroperasi dalam rentang pembebanan yang efisien. Suhu *hotspot* pada kedua transformator masih berada di bawah batas standar SPLN sebesar 98°C. Nilai susut umur transformator 5 adalah 0,00650 dan transformator 6 sebesar 0,11484. Berdasarkan perhitungan tersebut, prediksi sisa umur transformator 5 adalah 23,993 tahun, sedangkan transformator 6 adalah 15,923 tahun. Hasil ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam pengambilan keputusan pemeliharaan dan penggantian transformator guna meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

Article history:
Received: 10 May 2026
Revised: 22 June 2026
Accepted: 24 June 2026
Published: 29 June 2026

Keyword:
transformator, load curve, hotspot temperature, aging loss, remaining life prediction

Kata Kunci:
transformator, pembebanan, suhu hotspot, susut umur, prediksi sisa umur

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.

How to cite: Maulana, A. Y., Afandi, A. N., Ramadhan, A. F. N. W., & Andriansyah, I. (2026). Prediksi Sisa Umur Transformator Berdasarkan Suhu *Hotspot* pada Gardu Induk Kebonagung. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, *4*(3), 171–179. https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.516

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM (Kurniawan, 2026), pemakaian listrik per kapita Indonesia pada tahun 2021 sebesar 1.123 kWh, meningkat menjadi 1.584 kWh pada tahun 2025, atau naik sebesar 41,05%. Peningkatan ini menandakan bahwa semakin tingginya ketergantungan masyarakat

✉ *Corresponding author:* ***an.afandi@um.ac.id***
Copyright © 2026, the author(s)

terhadap energi listrik, yang secara langsung berdampak pada beban kerja infrastruktur sistem tenaga listrik, khususnya transformator.

Transformator merupakan salah satu komponen vital dalam sistem tenaga listrik, terutama pada gardu induk yang berfungsi sebagai pusat distribusi dan transmisi energi listrik (Mustari et al., 2024). Keandalan transformator menentukan kontinuitas suplai listrik kepada konsumen, sehingga pemeliharaan dan pengelolaan umur transformator menjadi aspek yang sangat penting dalam operasional sistem tenaga listrik. Secara umum, transformator dirancang untuk beroperasi dalam rentang beban tertentu agar dapat berfungsi secara efisien dengan umur pakai yang optimal. Namun dalam praktiknya, fluktuasi beban yang terjadi di lapangan seringkali tidak dapat dihindari, sehingga transformator seringkali mengalami pembebanan yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan beban listrik (Hidayah et al., 2024).

Pertumbuhan konsumsi listrik yang tidak selalu seimbang dengan kapasitas infrastruktur yang ada menyebabkan transformator seringkali harus menyalurkan daya yang melebihi batas operasionalnya, terutama saat beban puncak (Syukri et al., 2022). Banyak faktor yang dapat mempengaruhi penyusutan umur transformator seperti suhu lingkungan, isolasi belitan trafo, konstruksi transformator, minyak trafo, dan lain-lain. Salah satu penyebab berkurangnya umur dari transformator adalah pembebanan (Asfari Hariz Santoso et al., 2023). Pembebanan yang melebihi kapasitas nominal merupakan salah satu faktor utama yang mempercepat penyusutan umur transformator (Lawalata et al., 2023). Kondisi overload akan meningkatkan suhu operasional transformator secara signifikan (Tariq, 2021), yang berpotensi menimbulkan penurunan efisiensi, peningkatan suhu operasi, dan percepatan kerusakan pada material isolasi.

Isolasi transformator sendiri terdiri dari isolasi padat seperti kertas atau karton pressboard sebagai dielektrik utama dan penopang mekanis, serta isolasi cair berupa minyak transformator yang berperan ganda sebagai dielektrik sekaligus pendingin (Sukadana et al., 2024). Jika terjadi kenaikan suhu secara terus menerus pada transformator, maka akan menyebabkan percepatan degradasi pada material isolasi (Latuny et al., 2021). Degradasi pada isolasi ini akan menurunkan kemampuan dielektrik transformator dan memperpendek usia pakainya (Juwita & Liliana, 2023). Setiap kenaikan suhu sekitar 6°C di atas batas yang diizinkan terbukti dapat mengurangi umur transformator secara signifikan (Latupeirissa, 2018), sehingga pengendalian suhu menjadi aspek kritis dalam operasional transformator.

Kegagalan transformator daya akibat degradasi yang tidak terdeteksi dapat berdampak sangat serius, antara lain pemadaman luas (blackout), kerugian ekonomi besar bagi perusahaan penyedia listrik, serta gangguan terhadap aktivitas industri dan masyarakat (Karthik et al., 2024). Di sisi lain, penggantian transformator berdasarkan usia nominal saja dinilai tidak efisien, karena umur aktual transformator sangat bervariasi tergantung pada beban operasional dan kondisi lingkungan (Aljammal & Al- yozbaky, 2025). Oleh karena itu, pemantauan dan prediksi kondisi kesehatan transformator secara berbasis data menjadi pendekatan yang lebih tepat dan efisien.Salah satu objek yang relevan untuk dikaji adalah transformator di Gardu Induk Kebonagung, yang memiliki peran penting dalam sistem distribusi tenaga listrik di wilayah Malang dan sekitarnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai prediksi sisa umur transformator berdasarkan suhu *hotspot*, dengan menganalisis pengaruh dari pembebanan terhadap nilai suhu *hotspot* dan nilai susut umur pada transformator. Analisis dilakukan menggunakan data pembebanan, suhu lingkungan, serta perhitungan laju penuaan termal, untuk menghasilkan nilai

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

prediksi sisa umur transformator. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis bagi perusahaan dalam pengambilan keputusan pemeliharaan dan penggantian transformator, sehingga meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur, di mana peneliti mengkaji teori dan penelitian terdahulu yang relevan untuk membangun dasar pemahaman. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data-data utama, yaitu data beban pada transformator 150/20 kV yang berjumlah 2 unit serta data suhu lingkungan. Lalu data-data tersebut diperiksa kelengkapannya melalui tahap validasi data. Jika data belum lengkap, peneliti kembali ke tahap pengumpulan data hingga semua kebutuhan terpenuhi. Setelah semua data terpenuhi, selanjutnya masuk ke tahap analisis data dengan cara mencari nilai temperature *hotspot* dari masing-masing transformator. Setelah mendapatkan nilai dari temperatur *hotspot*, perhitungan dapat dilanjutkan dengan mencari nilai laju penuaan relatif dari masing-masing transformator dengan menggunakan rumus Montsinger. Berdasarkan nilai laju penuaan relatif, susut umur dari trafo dapat dihitung dan sisa umur trafo dapat diprediksi/diperkirakan

Spesifikasi Transformator

Transformator 5 yang terpasang di Gardu Induk Kebonagung adalah transformator dengan merk Bambang Djaya dengan nomor transformator PX-070-FOMB dan nomor serial 19E000250. Transformator ini diproduksi pada tahun 2019 dan memiliki kapasitas 60 MVA dengan tegangan 150/20/10 kV. Sistem pendinginan yang digunakan adalah ONAN/ONAF (*Oil Natural Air Natural / Oil Natural Air Forced*). Transformator ini dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50 Hz dengan konfigurasi belitan YNyn0+d, yang berarti belitan primer 150 kV terhubung bintang dengan netral ditanahkan, belitan sekunder 20 kV terhubung bintang dengan netral ditanahkan, serta belitan tersier 10 kV terhubung delta.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator 5

Deskripsi	Keterangan
Merk	BAMBANG DJAYA
Nomor Transformator	PX-070-FOMB
Tahun Pembuatan	2019
Kapasitas	60 MVA
Tegangan	150/20/10
Pendingin	ONAN / ONAF
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Fasa	3
Simbol Hubungan	YNyn0+d
Nomer Serial	19E000250

Transformator 6 pada Gardu Induk Kebonagung adalah transformator dengan merk Shandong dengan tipe SFZ11-60000/150 dan nomor serial manufaktur 11324. Transformator ini diproduksi pada tahun 2012 dan memiliki kapasitas 60 MVA dengan tegangan 150/20/10 kV dengan sistem pendinginan ONAN/ONAF (*Oil Natural Air Natural / Oil Natural Air Forced*). Transformator ini dirancang

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

untuk beroperasi pada frekuensi 50 Hz dan memiliki konfigurasi belitan YNyn0(d), yang berarti belitan primer 150 kV terhubung bintang dengan netral ditanahkan, belitan sekunder 20 kV terhubung bintang dengan netral ditanahkan, serta belitan tersier 10 kV terhubung delta

Tabel 2. Spesifikasi Transformator 6

Deskripsi	Keterangan
Merk	SHANDONG
Tipe	SFZ11-60000/150
Tahun Pembuatan	2012
Kapasitas	60 MVA
Tegangan	150/20/10
Pendingin	ONAN / ONAF
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Fasa	3
Simbol Hubungan	YNyn0 (d)
Nomer Serial Manufaktur	11324

Data Suhu Lingkungan

Data suhu lingkungan pada transformator diambil dengan mengunjungi website dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Dan mencari suhu rata rata Kota Malang dari Bulan Januari hingga Desember 2025. Data suhu lingkungan Kota Malang dapat dilihat pada Tabel 3 (Badan Meteorologi, n.d.).

Tabel 3. Data Suhu Lingkungan Kota Malang

Bulan	Suhu (˚C)
Januari	26.05
Februari	26.35
Maret	26.55
April	26.11
Mei	26.08
Juni	25.66
Juli	24.33
Agustus	25.11
September	25.87
Oktober	26.39
November	25.62
Desember	26.31

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pembebanan Trafo

a. Perhitungan Daya Semu Trafo

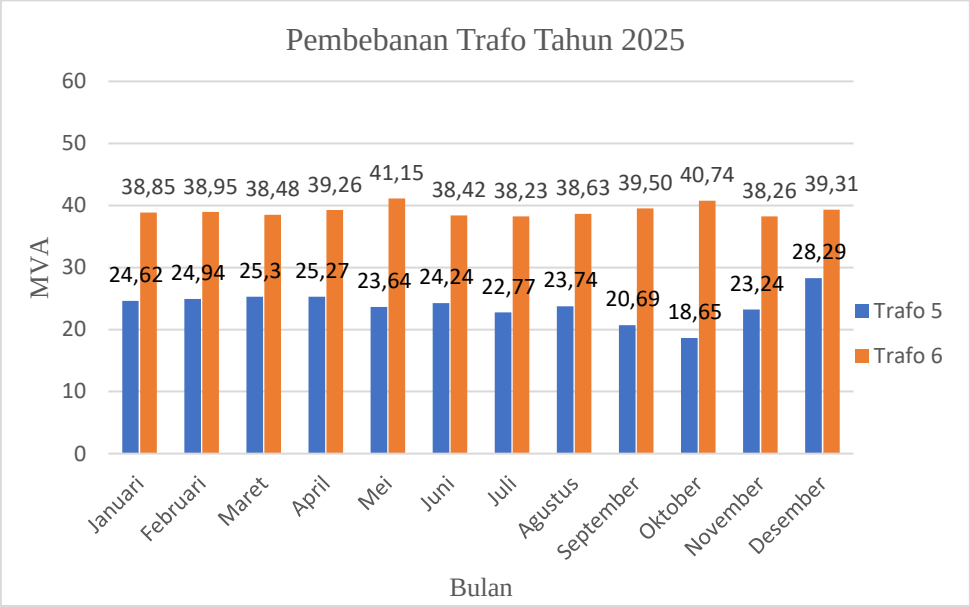
Data yang digunakan adalah data beban puncak pada trafo 5 dan 6 selama tahun 2025. Hasil pencatatan disajikan dalam bentuk grafik beban puncak tertinggi. Grafik tersebut

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

menunjukkan data dari daya semu transformator 5 dan 6 Gardu Induk Kebonagung selama tahun 2025. Rumus untuk menghitung daya semu sebagai berikut (Rusdiansyah et al., 2023):

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Keterangan:
S = Daya Semu
P = Daya Aktif
Q = Daya Reaktif
Gambar pembebanan transformator 5 dan 6 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pembebanan Transformator 5 dan 6

Berdasarkan gambar pembebanan trafo terlihat pembebanan tertinggi dari trafo 5 yaitu pada bulan Desember dengan pembebanan sebesar 28,29 MVA dan pembebanan terendah pada bulan Oktober yaitu sebesar 18,65 MVA. Namun dari bulan Januari hingga Desember pembebanan pada trafo 5 mengalami kenaikan sebesar 14,91 %. Sedangkan pada trafo 6 pembebanan tertinggi terjadi pada bulan Mei yaitu sebesar 41,15 MVA, dan pembebanan terendah terjadi pada bulan Juli yaitu sebesar 38,23 MVA. Berbeda dengan trafo 5, pembebanan trafo 6 hanya mengalami kenaikan sebesar 1% jika dilihat dari pembebanan bulan Januari dan Desember.

b. Perhitungan Rasio Pembebanan

Transformator dikatakan overload jika pembebanan lebih dari 80%, dan jika pembebanan kurang dari 40% maka dapat menurunkan efisiensi dari transformator (SPLN, 1979). Pada bulan Januari trafo 5 mengalami rata-rata pembebanan sebesar 24,62 MVA. Maka didapatkan rasio pembebanan pada trafo 5 sebagai berikut (Rohman, 2022):

$$K = \frac{S}{S_r} = \frac{24.62}{60} = 0{,}4103$$

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Perhitungan Suhu *Hotspot*

a. Perhitungan Kenaikan Suhu Top Oil

Suhu Top Oil pada trafo 5 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Widagdo et al., 2024) (Sutjipto, 2020):

$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br}\left(\frac{1+dK^2}{1+d}\right)^x = 55\left(\frac{1+6\times0.4103^2}{1+6}\right)^{0.9} = 17.89^\circ C$

b. Perhitungan Kenaikan Suhu *Hotspot*

Kenaikan suhu *hotspot* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$\Delta\theta_H = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})\, K^{2(y)} = 17.89 + (78-55) \times 0.413^{2(0.8)} = 23.42^\circ C$

c. Perhitungan Selisih Suhu *Hotspot* dengan Top Oil

Selisih suhu *Hotspot* dengan *top oil* pada transformator 5 dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$\Delta\theta_u = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})\, K^{2(y)} = (78-55) \times 0.413^{2(0.8)} = 5.53^\circ C$

d. Perhitungan Suhu *Hotspot*

Suhu *Hotspot* pada transformator 5 dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$\theta_H = \theta_a + \Delta\theta_H + \Delta\theta_u = 26.08 + 23.42 + 5.53 = 55.03^\circ C$

Perhitungan Kecepatan Penuaan Thermal Relatif

Kecepatan penuaan thermal relatif dapat dihitung menggunakan Metode Montsinger seperti pada persamaan dibawah ini (Mahendra et al., 2022):

$V = 2^{(\theta h-98)/6} = 2^{(55.03-98)/6} = 0.00699$

Berdasarkan rumus yang sudah disajikan didapatkan hasil perhitungan pada transformator 5 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Pada Transformator 5

Bulan	K	$\Delta\theta_b$	$\Delta\theta_H$	$\Delta\theta_u$	θ_a	θ_H	V
Januari	41.03%	17.89	23.42	5.53	26.05	55.03	0.00697
Februari	41.57%	18.11	23.75	5.65	26.35	55.75	0.00759
Maret	42.17%	18.35	24.12	5.78	26.55	56.41	0.00823
April	42.12%	18.33	24.09	5.77	26.11	55.97	0.00778
Mei	39.40%	17.26	22.44	5.18	26.08	53.71	0.00599
Juni	40.40%	17.65	23.04	5.39	25.66	54.09	0.00627
Juli	37.95%	16.72	21.60	4.88	24.33	50.81	0.00429
Agustus	39.57%	17.32	22.54	5.22	25.11	52.87	0.00544
September	34.48%	15.50	19.68	4.19	25.87	49.74	0.00379
Oktober	31.08%	14.40	17.95	3.55	26.39	47.95	0.00306
November	38.73%	17.01	22.05	5.04	25.62	52.69	0.00535
Desember	47.15%	20.47	27.37	6.91	26.31	60.60	0.01328

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Sedangkan perhitungan pada transformator 6 didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Pada Transformator 6

Bulan	K	$\Delta\theta_b$	$\Delta\theta_H$	$\Delta\theta_u$	θ_a	θ_H	V
Januari	64.75%	29.59	41.07	11.47	26.05	78.60	0.1063
Februari	64.91%	29.69	41.21	11.52	26.35	79.08	0.1124
Maret	64.14%	29.23	40.53	11.30	26.55	78.39	0.1037
April	65.44%	30.00	41.67	11.67	26.11	79.45	0.1173
Mei	68.58%	31.90	44.48	12.58	26.08	83.13	0.1795
Juni	64.03%	29.17	40.44	11.27	25.66	77.36	0.0922
Juli	63.72%	28.99	40.17	11.18	24.33	75.68	0.0759
Agustus	64.39%	29.38	40.75	11.37	25.11	77.23	0.0908
September	65.84%	30.24	42.02	11.78	25.87	79.67	0.1204
Oktober	67.90%	31.49	43.87	12.38	26.39	82.64	0.1695
November	63.76%	29.02	40.21	11.20	25.62	77.03	0.0887
Desember	65.52%	30.05	41.74	11.69	26.31	79.75	0.1214

Berdasarkan tabel 2 dan 3, suhu *hotspot* pada kedua transformator berbanding lurus dengan pembebanan pada transformator. Semakin tinggi pembebanan semakin tinggi juga suhu *hotspot* pada transformator. Dan selain pembebanan, suhu lingkungan juga mempengaruhi nilai dari suhu *hotspot*. Semakin tinggi suhu lingkungan maka semakin tinggi juga suhu *hotspot* pada transformator.

Perhitungan Susut Umur Trafo

Susut umur trafo dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Halawa et al., 2024):

$L = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} V$

Berdasarkan rumus tersebut maka didapatkan susut umur dari transformator 5 yaitu 0,00650, dan susut umur dari transformator 6 yaitu 0,11484. Perbedaan nilai ini menunjukkan bahwa transformator 6 mengalami percepatan penuaan isolasi lebih besar daripada transformator 5 disebabkan perbedaan pembebanan. Transformator 6 mengalami pembebanan yang lebih besar sehingga suhu *hotspot* pada belitan transformator akan lebih tinggi. Hal ini menyebabkan nilai susut umur pada transformator 6 lebih besar daripada transformator 5.

Prediksi Sisa Umur Trafo

Untuk mengetahui nilai sisa umur transformator dalam tahun maka perlu mengalikan dengan 365 hari. Perhitungan sisa umur trafo ditunjukkan pada persamaan berikut (Syamsiana et al., 2024):

Sisa umur = $\frac{8760 - (L \times 365)}{8760}$ × (30 – waktu transformator telah beroperasi)

Berdasarkan rumus tersebut maka didapatkan sisa umur dari transformator 5 sebagai berikut:

Sisa umur = $\frac{8760 - (0{,}00650 \times 365)}{8760}$ × (30 – 6) = 23.993 tahun

Sedangkan sisa umur dari transformator 6 didapatkan sebagai berikut:

Sisa umur = $\frac{8760 - (0{,}11484 \times 365)}{8760}$ × (30 – 14) = 15.923 tahun

Hasil penelitian ini dapat menjadi pertimbangan bagi pemeliharaan dan pengelolaan transformator di Gardu Induk Kebonagung. Transformator 6 yang memiliki nilai susut umur jauh lebih tinggi perlu menjadi prioritas dalam pemeliharaan, antara lain melalui pemantauan suhu *hotspot* secara

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

berkala, pengujian kualitas minyak isolasi (uji DGA), serta evaluasi rutin terhadap pembebanan agar tidak terus berada pada rasio pembebanan tinggi dalam jangka waktu lama. Sebaliknya, kondisi underload yang dialami transformator 5 pada beberapa bulan dapat menjadi pertimbangan untuk optimalisasi distribusi antar kedua transformator, sehingga beban dapat disalurkan lebih merata. Nilai susut umur dan prediksi sisa umur yang diperoleh juga dapat dijadikan dasar bagi pihak pengelola dalam menyusun jadwal pemeliharaan, sehingga keandalan sistem distribusi tenaga listrik dapat tetap terjaga.

KESIMPULAN

Hasil dari pembebanan transformator 5 terdapat bebarapa yang mengalami underload atau kurang efisien pada bulan Mei, Juli, Agustus, September, Oktober, dikarenakan pembebanan kurang dari 40%. Hal ini didasarkan pada standar SPLN Nomor 17 Tahun 1979 bahwa pembebanan kurang dari 40% dianggap kurang efisien. Sedangkan pada transformator 6 pembebanan sudah efisien dan sesuai standar yang ada yaitu tidak lebih dari 80% dan tidak kurang dari 40%. Suhu *hotspot* pada trafo 5 dan 6 masih didalam batas wajar, dimana berdasarkan standar SPLN batas standar suhu *hotspot* adalah 98℃. Karena suhu *hotspot* pada trafo masih dalam batas wajar, trafo mengalami penyusutan dengan normal. Sehingga didapatkan nilai prediksi sisa umur trafo 5 yaitu 23,993 tahun dan trafo 6 yaitu 15,923 tahun. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pihak pengelola Gardu Induk Kebonagung sebagai dasar penyusunan prioritas pemeliharaan, dengan menjadikan transformator 6 sebagai unit yang memerlukan pemantauan suhu *hotspot* dan kondisi minyak isolasi secara lebih intensif karena nilai susut umurnya yang lebih tinggi. Selain itu, nilai prediksi sisa umur kedua transformator dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun jadwal inspeksi. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar prediksi susut umur dan sisa umur transformator dilengkapi dengan data pengukuran suhu *hotspot* secara langsung (misalnya melalui sensor temperatur pada belitan), pengujian minyak isolasi seperti uji DGA, serta data historis pembebanan dalam rentang waktu yang lebih panjang, agar akurasi dari hasil prediksi dapat meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

Aljammal, M., & Al- yozbaky, O. (2025). A State-of-the-Art Review on Intelligent Models for Transformer Fault Monitoring and Diagnosis. *Journal of Optimization and Decision Making*, *4*(2), 449–497.

Asfari Hariz Santoso, Ernanda Rizka, & Harrij Mukti K. (2023). Analisis Pembebanan Terhadap Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 kV Penyulang Lowokwaru di PT. PLN(PERSERO) UP3 Malang. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, *9*(3), 121–126. https://doi.org/10.33795/elposys.v9i3.645

Badan Meteorologi, K. dan G. (BMKG). (n.d.). *Data Iklim Harian*.

Halawa, A., Budiman, & Ridal, Y. (2024). Analisa Susut Umur Transformator Terhadap Pengaruh Pembebanan Pada PLTU Teluk Sirih Padang. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, *5*, 93–103.

Hidayah, H. K., Ekojono, E., & Sintiya, E. S. (2024). Implementasi Machine Learning pada Sistem Informasi Pemeliharaan Transformator Daya. *Jurnal Informatika Polinema*, *10*(4), 571–580. https://doi.org/10.33795/jip.v10i4.6008

Juwita, R. S., & Liliana, L. (2023). Analisis Peramalan Susut Umur Transformator Daya Berdasarkan Pembebanan Menggunakan Metode Regresi Linear. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, *8*(3), 723. https://doi.org/10.28926/briliant.v8i3.1286

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Karthik, M., Nuvvula, R. S. S., Dhanamjayulu, C., & Khan, B. (2024). Appropriate analysis on properties of various compositions on fluids with and without additives for liquid insulation in power system transformer applications. *Scientific Reports*, *14*(1), 17814. https://doi.org/10.1038/s41598-024-68714-y

Kurniawan, G. (2026, January 9). *Konsumsi Listrik per Kapita Indonesia Vs ASEAN, Ini Dia Jawaranya!* https://www.cnbcindonesia.com/research/20260109103540-128-700956/konsumsi-listrik-per-kapita-indonesia-vs-asean-ini-dia-jawaranya

Latuny, I., Latupeirissa, H. L., & Jamlaay, M. (2021). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Penyulang Laha. *Journal ELKO (Elektrikal Dan Komputer)*, *2*, 104–114.

Latupeirissa, H. L. (2018). Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 Kv Di PT. PLN Cabang Ambon. *JURNAL SIMETRIK*, *8*(2), 126–132. https://doi.org/10.31959/js.v8i2.101

Lawalata, C. A., Latupeirissa, H. L., & Rikumahu, J. J. (2023). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Dan Usia Pakai Transformator Pada Penyulang Bandara 2. *Jurnal ELKO (Elektrikal Dan Komputer)*, *2*(2). https://doi.org/10.54463/je.v2i2.48

Mahendra, R., Hiendro, A., & Yandri. (2022). Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Dan Umur Transformator Pada Pltu Bengkayang 2× 50 MW Pt. Pln (Persero) UPK Singkawang. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*.

Mustari, M., Kurniawan, R., & Ramlan, R. (2024). Analisis Efisiensi Transformator Dalam Pembangkit Listrik Di PT. PLN Indonesia Power UPDK Keramasan. *Jurnal Penelitian Sains*, *26*(2), 137. https://doi.org/10.56064/jps.v26i2.944

Rohman, A. A. (2022). Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Dan Umur Transformator Daya 30 Mva Di PT. PLN (PERSERO) GARDU INDUK 150 kV Blora. *J. Mhs*, 1–12.

Rusdiansyah, Sarri, C., & Toyib. (2023). Analisis Perbaikan Faktor Daya Untuk Efisiensi Pembebanan Pada RSUD I.A. MOEIS SAMARINDA. *Mutiara : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, *1*(1), 126–139. https://doi.org/10.61404/jimi.v1i1.26

SPLN. (1979). *Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*.

Sukadana, I. W., Fadel, M., Suriana, I. W., & Yasa, I. W. S. (2024). Analisis Pembebanan dan Manajemen Transformator Distribusi Terhadap Kenaikan Beban Pasca Pandemi COVID-19. *CYCLOTRON : Jurnal Teknik Elektro*, 45–51.

Sutjipto, R. (2020). Studi pengaruh pembebanan terhadap perubahan suhu dan perubahan rugi - rugi daya pada transformator. *JURNAL ELTEK*, *18*(1), 62. https://doi.org/10.33795/eltek.v18i1.219

Syamsiana, I. N., Febriani, N. A., Sutjipto, R., Sumari, A. D. W., Amalia, R. N., & Nafisah, N. (2024). Remaining Life Prediction of Transformers at Medium Voltage Distribution Substations Based on Load Curve. *2024 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Computer and Information Technology (ICEECIT)*, 101–106. https://doi.org/10.1109/ICEECIT63698.2024.10859583

Syukri, S., Asyadi, T. M., Muliadi, M., & Moesnadi, F. (2022). Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, *4*(2), 202–206. https://doi.org/10.37905/jjeee.v4i2.14500

Tariq, S. (2021). Thermal Overload Protection and Monitoring using Programming Logic and Sensor Technology. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *9*(11), 1407–1410. https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.38978

Widagdo, R. S., Slamet, P., & Ubaidillah, M. (2024). Prediction of Transformer Age Based on Temperature Due to Loading Using Linear Trend Method: Case Study of 60 MVA Transformer. *Journal of Applied Electrical Engineering*, *8*(1), 1–8. https://doi.org/10.30871/jaee.v8i1.6999

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.