

PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR 60 MVA BERDASARKAN TEMPERATUR AKIBAT PEMBEBANAN MENGUNAKAN METODE TREND LINEAR DI GARDU INDUK 150 KV SURABAYA BARAT

Muhammad. Ubaidillah¹, Puji Slamet² Reza Sarwo Widagdo³

Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118

Telp. (031)5931800 Faks. (031)5929767

E-mail: Upbaid010@Gmail.com_pujislamet@untag-sby.ac.id_rezaswidagdo@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Transformator Daya adalah salah satu peralatan inti yang terdapat di gardu induk. Kebutuhan listrik tiap Transformator daya, sebagai elemen utama di gardu induk, memainkan peran vital dalam menyokong kebutuhan listrik yang terus meningkat setiap tahunnya. Agar kinerjanya tetap optimal, perhatian khusus harus diberikan pada pembebanan transformator. Sesuai standar IEC 354, transformator dapat menanggung beban stabil sebesar 100% pada suhu sekitar 20°C dan suhu belitan 98°C. Namun, perlu diingat bahwa ketika suhu lingkungan melebihi 20°C, umur transformator akan mengalami penurunan. Penelitian ini menggunakan data pembebanan dari transformator daya 60 MVA selama periode 2020-2022 untuk memproyeksikan usia pakai transformator di masa mendatang di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Surabaya Barat. Metode trend linear digunakan untuk meramalkan peningkatan pembebanan tahunan sebesar 2%. Hasil peramalan beban menunjukkan angka 77.32 untuk tahun 2023, 78.74 untuk tahun 2024, 80.32 untuk tahun 2025, 81.92 untuk tahun 2026, 83.54 untuk tahun 2027, 85.21 untuk tahun 2028, 86.91 untuk tahun 2029, dan 88.64 untuk tahun 2030. Berdasarkan perhitungan, prediksi usia pakai transformator daya 60 MVA pada tahun 2030 memperlihatkan nilai susut umur sebesar 1,2 p.u., atau diperkirakan tersisa 1 tahun 6 bulan umur transformator dengan pembebanan mencapai 88.64%.

Kata Kunci: Transformator Daya, Pembebanan, Suhu, Usia Pakai Transformator.

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan elemen kunci dalam sistem transmisi dan distribusi daya listrik. Untuk memastikan kinerjanya optimal, perawatan yang cermat diperlukan. Penggunaan sistem dan peralatan yang tepat sangat penting dalam menjaga transformator agar beroperasi dengan baik. Prinsip ini menekankan pentingnya memantau dan merawat kondisi transformator, terutama ketika beban tidak stabil yang dapat berdampak pada usia pakai transformator.

Ada beberapa faktor yang dapat memperpendek umur transformator, salah satunya adalah tegangan. Tegangan dapat meningkatkan suhu transformator, dan panas yang dihasilkan oleh transformator dapat mempercepat proses penuaan. Kenaikan suhu sekitar

6°C di atas batas yang diizinkan dapat mengurangi masa pakai transformator. Oleh karena itu, kontrol terhadap kenaikan suhu perlu dijaga agar tidak melebihi batas yang ditetapkan. Isolasi konduktor belitan transformator juga dapat rusak akibat suhu tinggi, dan semakin tinggi persentase pembebanan, semakin cepat sisa umur transformator akan berkurang.

Pembebanan transformator juga menjadi fokus dalam penelitian ini, khususnya dalam mengkaji dampak temperatur akibat pembebanan terhadap umur transformator. Analisis perkiraan umur transformator menggunakan metode trend linear akan menjadi fokus dalam penelitian ini, dengan tujuan memahami bagaimana pembebanan dapat memengaruhi usia pakai transformator.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan informasi yang berguna untuk meningkatkan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi umur transformator dan strategi perawatan yang efektif untuk memperpanjang masa pakainya. Ini akan membantu dalam menjaga keandalan sistem transmisi dan distribusi daya listrik secara keseluruhan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyoroti pentingnya perawatan transformator, tetapi juga menawarkan wawasan yang berharga dalam menjaga keberlanjutan dan efisiensi operasional transformator dalam sistem tenaga listrik.

2. DASAR TEORI

2.1 State Of The Art

Dalam Kajian Tahun 2019 Sebelumnya, Yolla Yaumil Rizki. "Perkiraan Umur Transformator Berdasarkan Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Menggunakan Metode Trend Linear" Berdasarkan kondisi kelebihan muatan dan paparan suhu sekitar yang melebihi tingkat standar, akan menyebabkan penuaan termal isolasi pada transformator, yang dapat menyebabkan "penyusutan" umurnya. Untuk memperkirakan sisa umur transformator, dapat dievaluasi dengan menggunakan suhu hot spot. Dalam artikel ini, memperkirakan umur transformator dihitung dengan menggunakan metode analisis tren linier, untuk peningkatan beban transformator ini.[1]

Sebuah penelitian sebelumnya pada tahun 2023, yang dilakukan oleh M. Fauzi Thohir dan berjudul "Analisis Prediksi Usia Pakai Transformator Menggunakan Pendekatan Regresi Linear di PT. PLN (Persero) ULP Kenjeran Surabaya." Dalam penelitian ini, data pembebanan yang dianalisis berasal dari transformator distribusi 160 KVA selama periode 2021-2022. Tujuan penelitian ini adalah untuk memproyeksikan usia pakai transformator berdasarkan faktor kenaikan pembebanan yang diantisipasi pada tahun-tahun mendatang di PT. PLN ULP Kenjeran Surabaya, dan metode yang digunakan adalah pendekatan regresi linear.[2]

Muhammad Aidil Muzar melakukan penelitian dengan judul "Analisis Dampak Temperatur Akibat Beban Terhadap Reduksi Masa Pakai Transformator Daya di Gardu Induk Lambaro" pada tahun 2018. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu titik panas transformator berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan, yaitu 92,74 oC untuk ONAN dan 66,63 oC untuk ONAF. Usia transformator ONAN/ONAF menyusut 0,10 jam per hari, atau 35,53 jam per tahun, dan sisa umurnya 13,92 tahun.[3]

Penelitian Jubek Prana Winata pada tahun 2023 berjudul "Analisis Usia Pakai Transformator di Sekolah Interkultural Surabaya Menggunakan

Pendekatan Regresi Linear" menggunakan data pembebanan dari transformator distribusi 1250 kVA selama periode 2021-2022. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memproyeksikan usia pakai transformator berdasarkan faktor pembebanan yang diperkirakan pada tahun-tahun mendatang di Sekolah Interkultural Surabaya dan pendekatan yang digunakan untuk menentukan usia pakai transformator.[4]

Penelitian yang dilakukan oleh Suganda pada tahun 2022, "Analisis Prediksi Usia Pakai Transformator Dengan Pendekatan Regresi Linear," bertujuan untuk meramalkan usia pakai transformator berdasarkan peningkatan pembebanan di masa depan di PT. PLN UP3 Jayapura Anggrek Sling. Penelitian ini menggunakan metode regresi linear. Dianalisis data pembebanan untuk transformator distribusi 100 kVA dan 160 kVA selama periode 2019-2020. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa usia transformator distribusi 100 kVA adalah 2 tahun 2 bulan dalam 5 tahun mendatang, dan usia transformator distribusi 160 kVA adalah 8 tahun 5 bulan.[5]

2.2 Transformator Daya

Sebuah perangkat penting dalam gardu induk, transformator daya melakukan transformasi energi listrik, terutama mengatur tegangan listrik. Transformator step up dan step down di Gardu Induk berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Penting untuk dicatat bahwa transformator daya hanya mengubah nilai tegangan listrik, bukan frekuensi. Menurut konsep ini, transformator daya memainkan peran penting dalam manajemen dan pengaturan distribusi energi listrik yang efisien dalam sistem gardu induk. Transformator step up ditempatkan di gardu induk yang berdekatan dengan pembangkit untuk meningkatkan tegangan sebelum transmisi, sedangkan transformator step down ditempatkan di gardu induk yang jauh dari pembangkit untuk menurunkan tegangan yang telah ditransmisikan menjadi 20 kV. [6]



Gambar 1. Transformator Daya

2.3 Pengaruh Beban Pada Transformator

Transformator, ketika dalam kondisi bertenaga dan belum diberi beban, mengalami rugi-rugi yang dapat menyebabkan pemanasan transformator, walaupun intensitas panas yang dihasilkan relatif kecil. Namun, saat transformator diberi beban, kumparan dan minyak di dalamnya akan mengalami

peningkatan suhu sesuai dengan besarnya arus yang dilewatkan, atau I²R. Peningkatan suhu pada kumparan kemudian disalurkan melalui konduksi ke dalam minyak transformator, yang berfungsi sebagai medium pendingin. Baik kumparan maupun minyak transformator memiliki batasan operasional suhu yang diizinkan.

Penting untuk dicatat bahwa dalam kondisi operasional normal, transformator dirancang untuk mengatasi pemanasan yang timbul selama penggunaan, dan mekanisme pendinginan yang efisien seperti konduksi panas dalam minyak membantu menjaga suhu pada tingkat yang dapat diterima. Oleh karena itu, transformator memerlukan pengawasan dan pemeliharaan rutin untuk memastikan bahwa suhu operasional tetap berada dalam batas yang diizinkan, sehingga kinerjanya tidak terpengaruh dan umur pakainya dapat dipertahankan dalam kondisi optimal.

2.4 Pengaruh Suhu Terhadap Transformator

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap suhu pada transformator daya adalah suhu titik panas, yang merupakan kondisi paling panas pada bagian lilitan transformator. Temperatur sekitar memainkan peran krusial dalam menentukan perubahan suhu hotspot, dengan semakin tingginya suhu di sekitar juga akan meningkatkan suhu hotspot dan sebaliknya. Besaran beban yang diterapkan pada transformator juga menjadi faktor penentu kenaikan suhu pada transformator tersebut. Sebagai panduan dalam perhitungan pembebanan, karakteristik termal dari transformator daya dengan jenis pendingin ONAN diambil sebagai acuan.

Selain itu, suhu lingkungan juga memiliki dampak signifikan pada suhu transformator. Suhu lingkungan merujuk pada suhu udara di sekitar transformator. Pada transformator yang menggunakan pendingin udara eksternal, suhu lingkungan yang diambil adalah suhu udara di lokasi tempat transformator tersebut terpasang. Suhu lingkungan yang tinggi dapat berkontribusi pada peningkatan suhu transformator, sehingga pemantauan dan pengelolaan suhu lingkungan menjadi penting dalam memastikan kondisi operasional transformator tetap dalam batas yang diizinkan.

Dengan memahami berbagai faktor yang mempengaruhi suhu transformator daya, termasuk suhu titik panas, suhu lingkungan, dan pembebanan, dapat membantu dalam merancang strategi pemeliharaan yang efektif. Hal ini melibatkan pemantauan terus-menerus terhadap kondisi operasional transformator, agar dapat mengidentifikasi potensi peningkatan suhu yang dapat memengaruhi kinerja dan umur pakai transformator secara keseluruhan.

2.5 Metode Trend Linear

Untuk melakukan peramalan ke depan, persamaan tren dapat diperoleh melalui analisis linear atau analisis deret waktu. Metode ini mengabaikan faktor-faktor pengaruh seperti teknologi, ekonomi, iklim, dll., dan berfokus pada kecenderungan masa lalu. Metode ini tidak memasukkan variabel eksternal yang mungkin memengaruhi data, hanya berfokus pada pola historis data. Metode ini memberikan metode yang sederhana namun efektif untuk meramalkan tren masa depan berdasarkan pola yang ditemukan dalam data sejarah. Jadi, metode tren sangat membantu dalam peramalan yang bergantung pada tren sebelumnya.

2.6 Prediksi Usia Pakai Transformator

Penuaan adalah ketika suatu material kehilangan kemampuan isolasi karena pemanasan. Perkiraan umur transformator daya dibatasi oleh fenomena ini. Dengan kata lain, peningkatan suhu yang disebabkan oleh beban berlebihan pada lilitan kumparan transformator dapat menyebabkan material isolasi menjadi lebih tua, yang pada gilirannya menyebabkan transformator menjadi lebih tua secara signifikan. Ini disebut sebagai penyusutan umur. Sesuai dengan standar IEC345 (International Electrotechnical Commission 345), evaluasi nilai suhu HotSpot transformator sangat penting. Suhu belitan transformator harus melebihi ambang batas 98°C, yang dapat menyebabkan penuaan yang tidak diinginkan.[8]

2.7 Perhitungan Prediksi Usia Transformator Dengan Metode Trend Linear

Untuk memprediksi usia pakai transformator, ada beberapa persamaan yang harus digunakan.

Pertama, gunakan persamaan (1) berikut untuk menghitung rasio pembebanan:

$$K = \frac{S}{S_r} \quad (1)$$

Dalam konteks ini:

K = Rasio Beban

S = Persentase Beban

S_r = Beban Penuh = 100%

Setelah mengidentifikasi rasio beban transformator, langkah berikutnya adalah menentukan perkiraan beban untuk tahun berikutnya menggunakan persamaan tren linear (2.2)-(2.3).

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - \sum X^2} \quad (2)$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \left(\frac{\sum X}{n} \right) \quad (3)$$

Dalam konteks ini:

ΣY = Total Persentase Beban Transformator
 ΣX = Total Waktu (dalam periode t)
 a = Konstanta
 b = Koefisien
 n = Jumlah data

Setelah menghitung nilai a dan b, kedua nilai tersebut dijumlahkan menggunakan persamaan (4) berikut:

$$Y_t = a + bX_t \quad (4)$$

Dalam konteks ini:

Y_t = Beban pada waktu t

X_t = Waktu periode t (hari, minggu, bulan, tahun)

a = Nilai tetap (konstanta) atau nilai Y_t ketika X_t sama dengan nol

b = Kemiringan (slope) atau perubahan nilai Y dari waktu ke waktu.

Selanjutnya setelah menentukan hasil prediksi beban transformator pada tahun selanjutnya dengan trend linear, lalu dilanjut menentukan rugi-rugi transformator dengan menggunakan persamaan (5) berikut:

$$d = \frac{\text{rugi} - \text{rugi tembaga}}{\text{rugi beban nol}} \quad (5)$$

Setelah mengetahui kerugian transformator, persamaan (6) berikut digunakan untuk mengukur suhu top oil:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right)^x \quad (6)$$

Dimana:

Δ = Kenaikan Suhu Top Oil

$\Delta\theta_{br}$ = 40°C (OF), 55°C (ON)

d = Perbandingan Rugi Trafo

k = Hasil Prediksi Pembebanan

x = 0,9 (ONAN/ONAF), 1,0 (OFAF/OFWF)

Setelah mengetahui hasil dari perhitungan kenaikan temperature top oil, maka selanjutnya menentukan kenaikan temperature Hotspot dengan persamaan (7) berikut:

$$\Delta\theta_H = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})K^{2(y)} \quad (7)$$

Dimana:

$\Delta\theta_H$ = Kenaikan Temperatur Hotspot

$\Delta\theta_b$ = Kenaikan Suhu Top Oil

$\Delta\theta_{cr}$ = 78°C

$\Delta\theta_{br}$ = 55°C

K = Hasil Prediksi Pembebanan

Y = 0,8 untuk kondisi ONAN dan ONAF, dan 0,9 untuk kondisi OFAF dan OFWF.

Setelah mengetahui hasil dari perhitungan kenaikan suhu hotspot, persamaan (8) berikut digunakan untuk menghitung perbedaan suhu antara hotspot dan Top Oil:

$$\Delta\theta_{OU} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})K^{2y} \quad (8)$$

Dimana:

$\Delta\theta_{OU}$ = Selisih Temperature Antara Hotspot dengan Top oil

$\Delta\theta_{cr}$ = 78°C

$\Delta\theta_{br}$ = 55°C

K = Hasil Prediksi Pembebanan

Y = 0,8 (ONAN dan ONAF), 0,9 (OFAF dan OFWF)

Lalu menentukan Suhu Hotspot secara linear yang dihitung berdasarkan persamaan (9) berikut:

$$\theta_H = \theta_a + \Delta\theta_H + \Delta\theta_{OU} \quad (9)$$

Dimana:

θ_H = Suhu Hotspot

θ_a = Suhu Lingkungan Sekitar

$\Delta\theta_H$ = Kenaikan Temperatur Hotspot

$\Delta\theta_{OU}$ = Selisih Suhu Hotspot dengan Top Oil

Lalu menentukan Nilai Relatif dari Usia Pakai Transformator untuk menentukan Pakai Usia (P.U) dengan persamaan (10) berikut:

$$V = 2 \frac{\theta_H - 98 \text{ }^\circ\text{C}}{6} \quad (10)$$

Dimana:

θ_H = Suhu Hotspot

V = Lama Pengukuran (V)

Setelah menentukan Nilai Relatif dari Usia Pakai Transformator, maka Langkah terakhir menghitung Prediksi Usia Pakai Terhadap Transformator dengan persamaan (11) berikut:

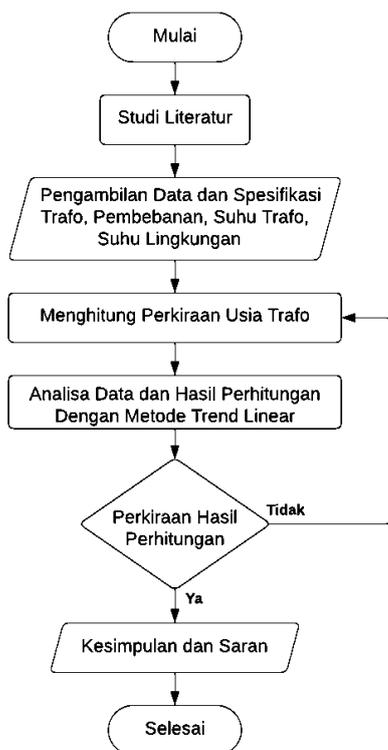
$$\text{Prediksi ke } - n = \frac{\text{umur dasar} - n}{\text{Susut Usia (p.u)}} \quad (11)$$

Dimana:

n = Lama transformator beroperasi (tahun)

3. METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan tugas akhir ini, diperlukan suatu prosedur atau langkah-langkah tertentu. Rincian langkah-langkah ini dapat ditemukan pada ilustrasi pada Gambar 3 di bawah ini. Langkah-langkah ini dirancang untuk memandu dan membimbing penelitian dengan sistematika yang jelas. Pertama-tama, langkah-langkah awal akan memberikan dasar dan kerangka kerja bagi penelitian, sementara langkah-langkah berikutnya akan mencakup proses pengumpulan data, analisis, dan interpretasi hasil. Dengan mengadopsi pendekatan berstruktur, langkah-langkah ini dirancang untuk memastikan keberlanjutan dan akurasi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Melalui penekanan pada metodologi yang sistematis, diharapkan hasil akhir mencerminkan dedikasi dan keahlian dalam menjalankan tugas akhir ini:



Gambar 2. Flowchart Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangka penelitian ini, transformator yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 60 MVA. Data pembebanan transformator dihimpun dari riwayat beban puncak selama tahun 2020-2022 di Gardu Induk Garuda Sakti, dengan metode pengambilan data setiap 3 bulan (satu periode). Rinciannya melibatkan pemantauan dan catatan terkait beban transformator selama kurun waktu tersebut. Pengumpulan data yang teratur dan terperinci ini bertujuan untuk menyediakan landasan yang kuat bagi analisis yang komprehensif.

Selanjutnya, perhitungan sisa umur transformator dilakukan dengan dua metode yang berbeda. Pertama-tama, menggunakan metode perhitungan yang mengacu pada pembebanan historis sebagai faktor penentu. Metode ini mempertimbangkan seberapa besar beban yang telah diterima oleh transformator selama periode tertentu dan menghitung dampaknya terhadap usia pakai.

Selanjutnya, metode kedua adalah perhitungan berdasarkan peramalan beban transformator menggunakan metode tren linear. Dalam pendekatan ini, data historis digunakan untuk meramalkan tren pertumbuhan pembebanan transformator ke depan. Kombinasi kedua metode ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang holistik dan akurat tentang sisa umur transformator, memungkinkan perencanaan pemeliharaan dan pengelolaan yang lebih efektif dalam sistem gardu induk.

4.1 Data Pembebanan Transformator

Peningkatan yang tidak seragam terjadi pada transformator, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Sebagai hasil dari analisis korelasi, diketahui bahwa variabel waktu memiliki pengaruh sebesar 80% terhadap pembebanan. Oleh karena itu, teknik perhitungan tren linear digunakan untuk menyelidiki fenomena ini.

Tabel 1. Data Transformator 60 MVA

Tahun Operasi	Periode (X)	Beban Siang		
		Daya (Y)	(X ²)	(XY)
2021	1	55,8	1	55,8
	2	57,1	4	114,2
	3	61,1	9	184,6
	4	58,3	16	233,2
2022	1	63,3	1	63,3
	2	65,6	4	131,2
	3	70	9	210
	4	66,6	16	266,4
2022	1	71,8	1	71,8
	2	71,6	4	143,2
	3	73,3	9	219,9
	4	79	16	316
Total	30	794	90	2009,6

Untuk meramalkan beban, langkah pertama adalah menemukan konstanta dan koefisien menggunakan Persamaan 2-4. Setelah mendapatkan nilainya, langkah berikutnya adalah memproyeksikan beban untuk tahun berikutnya. Tabel berikut berisi informasi tambahan:

Tabel 2. Hasil Prediksi Beban Transformator 60 MVA

Tahun	Beban (%)
2023	77,32
2024	78,74
2025	80,32
2026	81,91
2027	83,54
2028	85,21
2029	86,91
2030	88,64

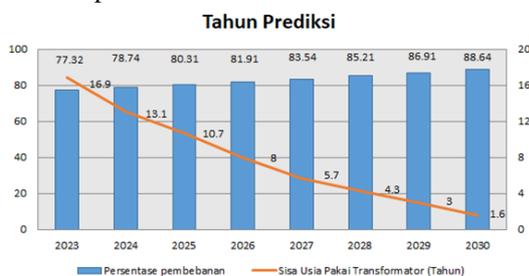
Peningkatan persentase beban pada transformator dalam 4 periode tahun mendatang diantisipasi mencapai 2% pada setiap puncak beban tahunan. Kemungkinan adanya peningkatan lebih dari 2% dapat diperhatikan dari tambahan beban pada tahun-tahun sebelumnya.

Tabel 3. Sisa Usia Pakai Transformator 60 MVA

Tahun	Prediksi Beban (%)	θH (°C)	$V_{(p.u)}$	Susut Usia Pakai (Tahun)
2023	77,32	92,2	0,53	16,9
2024	78,74	93,2	0,61	13,1
2025	80,31	94	0,65	10,7

2026	81,91	95	0,75	8
2027	83,54	96,5	0,87	5,7
2028	85,21	97,2	0,93	4,3
2029	86,91	98,2	0,97	3
2030	88,64	99,6	1,2	1,6

Usia pakai transformator 60 MVA, yang beroperasi sejak tahun 2011 di Gardu Induk 150 kV Surabaya Barat, diprediksi mencapai usia pakai 88,64% pada tahun 2030, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, menunjukkan bahwa pemakaian beban tetap normal.



Gambar 3. Grafik Prediksi Usia Pakai Transformator 60 MVA

Hasil perhitungan menggunakan pendekatan trend linear menunjukkan bahwa usia pakai transformator 60 MVA pada tahun 2030 diprediksi mencapai 88,64%, menunjukkan adanya penyusutan umur transformator. Oleh karena itu, peramalan menyatakan bahwa sisa masa pakai transformator di tahun 2030 diperkirakan sekitar 1,6 (1 Tahun 6 Bulan).

4.2 Perhitungan Dengan Software SSPSS

Ringkasan model pertama memberikan informasi tentang tingkat korelasi, yang ditunjukkan sebagai 0,984. Nilai koefisien determinasi (R Square) adalah 0,967, yang menunjukkan bahwa variasi variabel bebas (total pembebanan dalam p.u) menyumbang sekitar 97,5% dari variasi variabel terikat (susut usia transformator). Tabel berikut terlampir untuk rincian:

Tabel 4. Model Summary

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.984 ^a	.967	.962	.04325

a. Predictors: (Constant), Pembebanan (p.u.)

Setelah media menjelaskan tentang F, kita dapat menggunakan model regresi untuk memprediksi variabel susut usia transformator. Dengan kata lain, pengaruh variabel (X) terhadap variabel (Y) dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 5. Anova

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.332	1	.332	177.502	.000 ^b
	Residual	.011	6	.002		
	Total	.343	7			

a. Dependent Variable: Susut Usia (Tahun)

b. Predictors: (Constant), Pembebanan (p.u.)

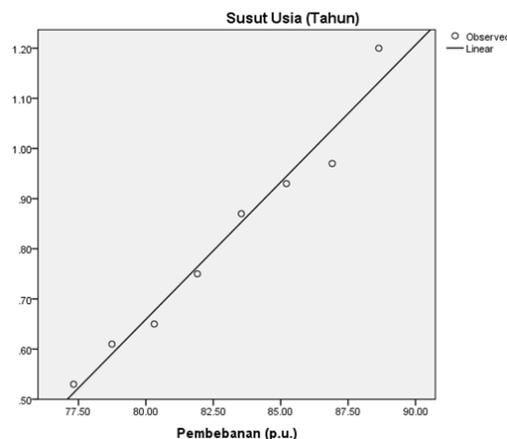
Bagian ketiga, atau faktor-faktor, memiliki nilai konstan (a) sebesar -3,719 dan nilai total pembebanan (b) sebesar 0,005. Pengaruh negatif (-) terjadi karena nilainya semakin menurun sebagai akibat dari susut usia pakai transformator. Nilai-nilai ini ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 6. Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.719	.341		-10.920	.000
	Pembebanan (p.u.)	.055	.004	.984	13.323	.000

a. Dependent Variable: Susut Usia (Tahun)

Pemanfaatan SPSS dalam menciptakan Grafik Susut Usia Transformator bertujuan untuk mengevaluasi sisa usia transformator dengan lebih efisien dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan rumus. Detail hasil analisis dapat ditemukan dalam tabel di bawah ini. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih cepat dan lebih tepat terkait sisa usia transformator berdasarkan data yang telah diproses menggunakan SPSS:



Gambar 4. Susut Usia Dengan SPSS

Dengan memperhitungkan prediksi usia pakai transformator, dimana pembebanannya masih berada di bawah batas maksimum 80%, diperkirakan umur transformator pada tahun 2030 adalah 1 tahun 6 bulan, dengan nilai susut umur sebesar 1,2 p.u. Keadaan ini menunjukkan bahwa transformator masih dalam kondisi optimal untuk tahun mendatang.

4.3 Data Pembebanan Berdasarkan Kenaikan Temperatur Hotspot Transformator

Dari tabel 7, dapat dilihat bahwa transformator mengalami kenaikan yang tidak merata. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa variabel waktu memiliki pengaruh sebesar 80% terhadap pembebanan, sehingga dilakukan perhitungan dengan menerapkan metode trend linear. Pendekatan ini dipilih untuk merinci dan meramalkan secara

lebih mendalam tren perubahan pembebanan transformator seiring berjalannya waktu.

Tabel 7. Pembebanan dan Kenaikan Temperatur Hotspot Transformator 60 MVA.

Tahun	Periode	Beban Transformator (%)	$\Delta\theta_H$
2020	1	55	41.50
	2	58	42.35
	3	60	42.99
	4	56	41.90
2021	1	61	43.32
	2	65	44.41
	3	67	44.93
	4	63	43.71
2022	1	71	45.92
	2	76	47.69
	3	79	48.55
	4	73	46.66

Berikut merupakan data pembebanan transformator daya yang menjadi bahan penelitian:

Tabel 8. Data Pembebanan Transformator 60 MVA Berdasarkan Kenaikan Temperatur Hotspot

Tahun Operasi	Periode (X)	Beban Siang		
		Daya (Y)	(X ²)	(XY)
2021	1	55	1	55
	2	58	4	116
	3	60	9	180
	4	56	16	224
2022	1	61	1	61
	2	65	4	130
	3	67	9	201
	4	63	16	252
2022	1	71	1	71
	2	76	4	152
	3	79	9	237
	4	73	16	292
Total	30	784	90	1871

Prosedur untuk meramalkan beban dimulai dengan mencari nilai konstanta dan koefisien melalui persamaan 2-4. Setelah mendapatkan nilai konstanta dan koefisien tersebut, langkah selanjutnya adalah menggunakan nilai tersebut untuk memprediksi beban pada tahun-tahun berikutnya. Rincian lebih lanjut dapat ditemukan dalam tabel di bawah ini, yang menyajikan hasil peramalan berdasarkan konstanta dan koefisien yang telah dihitung:

Tabel 9. Hasil Prediksi Beban Transformator 60 MVA

Tahun	Beban (%)	$\Delta\theta_H$
2023	77,32	47,99
2024	78,74	48,46
2025	80,32	48,92

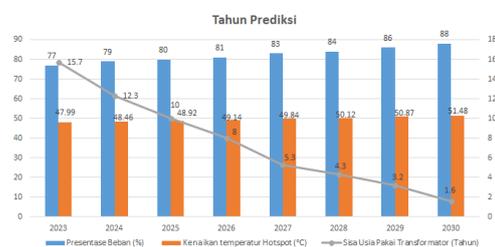
2026	81,91	49,14
2027	83,54	49,84
2028	85,21	50,12
2029	86,91	50,87
2030	88,64	51,48

Persentase pembebanan pada transformator dalam 4 periode tahun mendatang diperkirakan akan mengalami kenaikan sebesar 2% pada setiap puncak beban tahunan. Terdapat kemungkinan bahwa peningkatan tersebut dapat melampaui 2%, mengingat adanya penambahan beban pada tahun-tahun sebelumnya.

Tabel 10. Sisa Usia Pakai Transformator 60 MVA

Tahun	Prediksi Beban (%)	θ_H (°C)	V(p.u)	Susut Usia Pakai (Tahun)
2023	77	47,99	92,8	0,57
2024	79	48,46	94	0,65
2025	80	48,92	94,7	0,70
2026	81	49,14	95,4	0,75
2027	83	49,84	96,8	0,93
2028	84	50,12	97,3	0,93
2029	86	50,87	98,7	0,93
2030	88	51,48	100	1,2

Prediksi pemakaian beban pada transformator 60 MVA tahun 2030 menunjukkan persentase sebesar 88%. Gambar 3 mencerminkan grafik perkiraan usia pakai transformator 60 MVA yang telah beroperasi sejak tahun 2011 di Gardu Induk 150 kV Surabaya Barat, menunjukkan bahwa pemakaian transformator masih mematuhi standar yang berlaku..



Gambar 5. Grafik Prediksi Usia Pakai Transformator 60 MVA

Hasil perhitungan menggunakan metode tren linear menunjukkan bahwa usia pakai transformator 60 MVA diperkirakan mencapai 88% pada tahun 2030. Ini mencerminkan penurunan usia transformator, yang berarti sisa masa pakainya diperkirakan sekitar 1,6 tahun (6 bulan).

4.4 Perhitungan Dengan Software SSPSS

Pertama (Model Summary) menjelaskan tingkat nilai korelasi/hubungan (R) sebesar 0,968. Dari hasil

tersebut, ditemukan koefisien determinasi (R Square) sebesar 0,937, yang menunjukkan bahwa sekitar 97,5% dari variasi dalam variabel terikat (susut usia transformator) dapat dijelaskan oleh variasi dalam variabel bebas (total pembebanan dalam p.u). Rincian lebih lanjut dapat ditemukan dalam tabel yang terlampir di bawah ini:

Tabel 11. Model Summary
Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.968 ^a	.937	.926	.05527

a. Predictors: (Constant), Pembebanan (p.u.)

Setelah media menjelaskan konsep F, kita dapat menggunakan model regresi untuk meramalkan variabel susut usia transformator. Singkatnya, ada hubungan antara variabel (X) dan variabel (Y), seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut. Metode ini memungkinkan penggunaan model regresi untuk memprediksi dampak variabel independen terhadap variabel dependen dalam konteks susut usia transformator:

Tabel 12. Anova

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.272	1	.272	88.987	.000 ^b
	Residual	.018	6	.003		
	Total	.290	7			

a. Dependent Variable: Susut Usia (Tahun)

b. Predictors: (Constant), Pembebanan (p.u.)

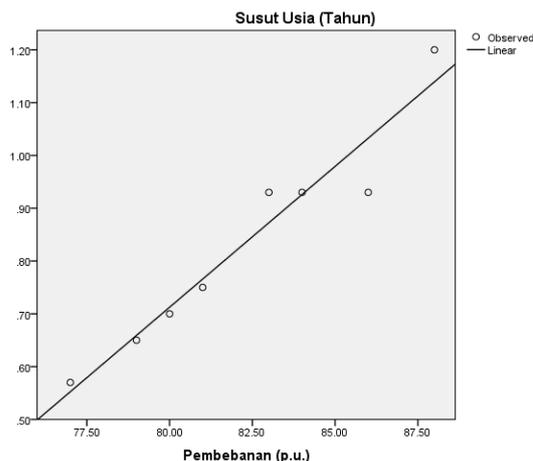
Bagian ketiga (Koefisien) menunjukkan bahwa nilai konstanta (a) adalah -3,556, sedangkan nilai total pembebanan (b) adalah 0,005. Adanya pengaruh negatif (-) mengindikasikan bahwa semakin menurunnya susut usia pakai transformator terkait dengan perubahan nilai total pembebanan. Rincian lebih lanjut dapat ditemukan dalam tabel yang disajikan di bawah ini:

Tabel 13. Coefficients

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.556	.466		-7.637	.000
	Pembebanan (p.u.)	.053	.006	.968	9.433	.000

a. Dependent Variable: Susut Usia (Tahun)

Untuk mengetahui seberapa besar sisa usia transformator dengan cepat, gunakan grafik usia transformator dengan SPSS. Ini berbeda dengan menghitung secara manual menggunakan rumus yang ada saat ini. dapat dilihat pada table berikut:



Gambar 6. Susut Usia Dengan SPSS

Karena itu, berdasarkan prediksi, usia pakai transformator dengan pembebanan yang masih di bawah nilai maksimum pembebanan 80 persen akan berusia satu tahun enam bulan, dengan susut umur 1,2 persen pada tahun 2030.

5. KESIMPULAN

1. Penelitian ini menggunakan data pembebanan transformator daya 60 MVA dari tahun 2020–2022 di PT. PLN Persero UPT Malang Gardu induk Surabaya barat. Metode trend linear digunakan untuk meramalkan pembebanan tahun berikutnya. Analisa ini menunjukkan bahwa pembebanan setiap tahun meningkat 2%. Oleh karena itu, untuk usia pakai transformator daya 60 MVA pada tahun 2030, diperkirakan akan mengalami kenaikan beban sebesar 88,64 dan suhu hotspot akan meningkat hingga 51,48°C.
2. Pengaruh suhu dalam prediksi usia pakai transformator 60 MVA sangat berpengaruh dikarenakan pembebanan yang semakin besar maka suhu transformator akan semakin meningkat yang mana akan membuat komponen di dalam transformator akan cepat rusak dan akan menyebabkan umur transformator berkurang dari yang diprediksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Y. Rizki, E. Ervianto, F. Teknik, U. Riau, J. Teknik, and E. Universitas, "Perkiraan umur transformator berdasarkan pengaruh pembebanan dan temperatur lingkungan menggunakan metode trend linear," vol. 6, pp. 1–8, 2019.
- [2] M. F. Thohir and R. S. Widagdo, "TRANSFORMATOR DENGAN METODE REGRESI LINEAR DI PT . PLN (Persero)," 2023.
- [3] D. Gardu, I. Lambaro, M. A. Muzar, and M. Syukri, "Analisis

- Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya,” vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [4] J. P. Winata, “ANALISA USIA PAKAI TRANSFORMATOR DI SURABAYA,” no. 2019, 2023.
- [5] F. H. Azzahra *et al.*, “ANALISIS PREDIKSI USIA PAKAI TRANSFORMATOR DENGAN METODE REGRESI LINEAR,” vol. XXIV, pp. 34–42, 2022.
- [6] W. Bp and H. Mubarak, “BERDASARKAN BEBAN MENGGUNAKAN METODE REGRESI LINEAR”.
- [7] F. Kurniawan, “Studi Analisa Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Terhadap Susut Umur Tranformator Daya Pada Gardu Induk Garuda Sakti,” *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2016.
- [8] IEC 354, “Loading Guide for Oil Immersed Power Transformers,” p. 09, 1991.