

Estimasi Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima

Fadly Azhar ¹⁾, Yuni Rahmawati ²⁾, Irham Fadlika ³⁾

^{1),2),3)} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang
Email : fadlyazhar12@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perkiraan sisa umur transformator distribusi akibat pertumbuhan beban dan temperatur lingkungan. Dalam penelitian ini pertumbuhan beban dianalisa menggunakan metode trend linear dengan bantuan software minitab. Transformator distribusi yang dijadikan obyek penelitian adalah transformator BO001 100 KVA tahun pemasangan 2010 dan transformator BO043 200 KVA tahun pemasangan 2012 yang beroperasi di penyulang Bolo PLN Rayon Woha. Hasil penelitian menunjukkan pertumbuhan beban dan temperatur lingkungan mempengaruhi umur transformator. Transformator distribusi di penyulang Bolo yang beroperasi pada temperatur lingkungan rata-rata 29 °C akan memiliki susut umur normal ketika dibebani 91,6% dari rating daya transformator dan akan mengalami penyusutan umur yang sangat besar apabila dibebani diatas 91,6% dari rating daya transformator. Transformator BO001 memiliki estimasi sisa umur 7 tahun dari sisa umur normal 11 tahun dengan pertumbuhan beban tahun 2019 sebesar 58,53% sampai tahun 2025 sebesar 104,83% dari rating daya transformator. Sedangkan transformator BO043 memiliki estimasi sisa umur 3 tahun dari sisa umur normal 13 tahun dengan pertumbuhan beban tahun 2019 sebesar 83,12% sampai tahun 2021 sebesar 110,16% dari rating daya transformator.

Kata kunci: Umur Transformator, Trend Linear, Pertumbuhan Beban, Temperatur Lingkungan

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Umur transformator dipengaruhi oleh beban dan suhu sekitar. *International electrotechnical commission* (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari apabila dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada suhu sekitar 20 °C dengan suhu titik panas mencapai 98 °C. Kondisi tersebut tidak sesuai dengan transformator distribusi di penyulang Bolo PLN rayon Woha kabupaten Bima yang beroperasi pada temperatur lingkungan harian rata-rata sebesar 29 °C dengan pertumbuhan beban yang mengalami kenaikan setiap waktu.

Berdasarkan permasalahan tersebut penting untuk mengetahui susut umur transformator selama periode waktu tertentu akibat kenaikan beban transformator dan pengaruh temperatur lingkungan karena dapat membantu meramalkan sisa umur transformator.

1.2 Rumusan Masalah

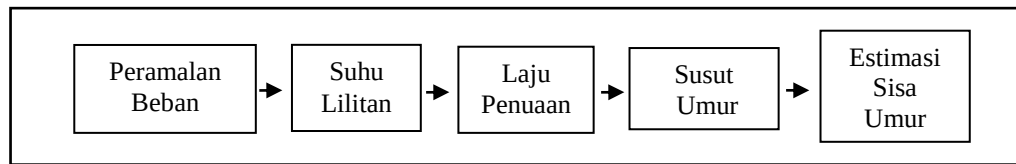
Bagaimana pengaruh pertumbuhan beban dan temperatur lingkungan terhadap umur transformator?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui perkiraan umur transformator akibat pertumbuhan beban dan temperatur lingkungan.

1.4 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perkiraan sisa umur transformator distribusi berdasarkan pertumbuhan beban pada temperatur lingkungan tertentu. Dalam penelitian ini pertumbuhan beban dihitung dengan analisa *trend linear* dan menggunakan *software* minitab untuk meramalkan kenaikan beban. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam penelitian ini seperti pada diagram gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1.5 Tinjauan Pustaka

A. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peranan penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi berfungsi untuk mengubah tegangan menengah 20 kV dari SUTM menjadi tegangan rendah 400/230 Volt dengan tegangan operasi 380/ 220 Volt [1].

B. Analisis *Trend Linear*

Analisis *trend linear* adalah analisa data deret waktu yang hasilnya berupa persamaan *trend* yang dapat digunakan untuk peramalan kedepan (*forecasting*). Berikut persamaan *trend linear* yang digunakan untuk peramalan beban transformator.

$$Y_t = a + bX_t \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: Y_t = Pembebanan pada waktu t , X_t = Periode waktu t ,
 a = konstanta, b = koefisien

C. Suhu Transformator

Salah satu hal yang mempengaruhi suhu transformator distribusi adalah suhu titik panas. Suhu titik panas merupakan kondisi terpanas dari bagian transformator dan terjadi pada lilitan transformator [2]. Temperatur sekitar menentukan perubahan temperatur *hot spot*. Semakin besar temperatur sekitar maka semakin besar temperatur *hot spot*, begitu pula sebaliknya [3]. Besaran pembebanan yang diberikan terhadap transformator juga menentukan kenaikan suhu transformator tersebut [4]. Sebagai pedoman untuk perhitungan pembebanan, diberikan karakteristik termal dari transformator distribusi jenis pendingin ONAN, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Termal Transformator Distribusi Pendingin ONAN menurut IEC 60076-2 [4].

Karakteristik Termal Transformator	Transformator Distribusi ONAN
Ekspansi Minyak (α)	0,8
Ekspansi Belitan (β)	1,6
Rasio Rugi-rugi (R)	5
Faktor Titik Panas (H)	1,1
Konstanta Waktu Minyak (t_o)	180
Konstanta Waktu Belitan (t_w)	4
Suhu Sekitar (θ_a)	20
Suhu Titik Panas (θ_h)	98
Gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal (H_{gr})	23
Kenaikan suhu minyak rata-rata ($\Delta\theta_{omr}$)	44
Kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{or}$)	55
Kenaikan suhu minyak bawah ($\Delta\theta_{br}$)	33
Kenaikan suhu belitan rata-rata	65

Suhu titik panas belitan pada diagram termal dapat dihitung menggunakan persamaan 2 [4,5].

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{or} \left(\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right)^x + Hg_r \cdot K^y \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: θ_h = Suhu titik panas (°C), θ_a = Suhu sekitar (°C), $\Delta\theta_{or}$ = Kenaikan suhu minyak atas
 R = Rasio rugi-rugi, K = Rasio beban, x = Eksponen minyak, y = Eksponen belitan,
 Hg_r = gradien titik panas ke minyak atas pada arus pengenal.

D. Umur Transformator

Menurut *International Electrotechnical Commission* (IEC) apabila transformator diberi beban maksimal (100%) dari kapasitas daya transformator maka transformator akan memiliki umur 20 tahun pada suhu sekitar 20 °C. Penurunan umur transformator dipengaruhi oleh besarnya suhu. Selama rentang suhu titik panas 80 °C–140 °C laju penuaan transformator mengganda untuk setiap kenaikan suhu titik panas sebesar 6 °C [6]. Nilai susut umur karena suhu titik panas dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Susut Umur akibat Kenaikan Suhu Menurut IEC 60354 [6]

Suhu Lilitan (°C)	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134	140
Susut Umur (p.u)	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128
Perkiraan umur (Tahun)	>20	>20	>20	20	10	5	2,5	1,25	0,625	0,5125	0,15625

Faktor penuaan atau laju perubahan umur transformator pada setiap kenaikan suhu titik panas diatas suhu normal (98 °C) dapat dihitung menggunakan persamaan 3 [6,7,8,].

$$V = 2^{\left(\frac{\theta_h - 98^\circ\text{C}}{6} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: V = nilai relatif dari umur pemakaian, θ_h = suhu titik panas (°C)

Susut umur dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam jika beban dan suhu sekitar konstan selama satu periode [7]. Susut umur relatif transformator selama satu periode dapat dihitung menggunakan persamaan 4 [7].

$$L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: L = Susut umur, N = Periode waktu,

V_n = Laju penuaan relatif pada waktu ke n , n = Interval waktu

Untuk menghitung perkiraan sisa umur transformator dapat menggunakan persamaan 5 [3,6,7] .

$$\text{Estimasi sisa umur transformator} = \frac{\text{Umur dasar} - n}{L} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan: *Umur dasar transformator* = 20 Tahun, n = waktu transformator telah beroperasi (Tahun)

2. Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung estimasi sisa umur transformator distribusi berdasarkan pertumbuhan beban selama periode waktu tertentu dan pada temperatur lingkungan tertentu. Pertumbuhan beban transformator diprediksi menggunakan analisa *trend linear* dengan bantuan *software* minitab. Transformator distribusi yang dijadikan obyek penelitian adalah transformator BO001 100 KVA tahun pemasangan 2010 dan

transformator BO043 200 KVA tahun pemasangan 2012 yang beroperasi di penyulang Bolo dengan temperatur lingkungan harian rata-rata 29 °C.

Berikut adalah data beban transformator yang digunakan untuk meramalkan sisa umur transformator.

Tabel 3. Data Beban Transformator

Tahun	Periode	Beban Transformator (%)	
		BO001	BO043
2017	1	42,04	60,41
	2	42,50	65,49
	3	55,44	72,30
	4	52,44	72,30
2018	1	52,44	71,73
	2	52,21	78,54
	3	52,67	75,65
	4	56,74	80,06

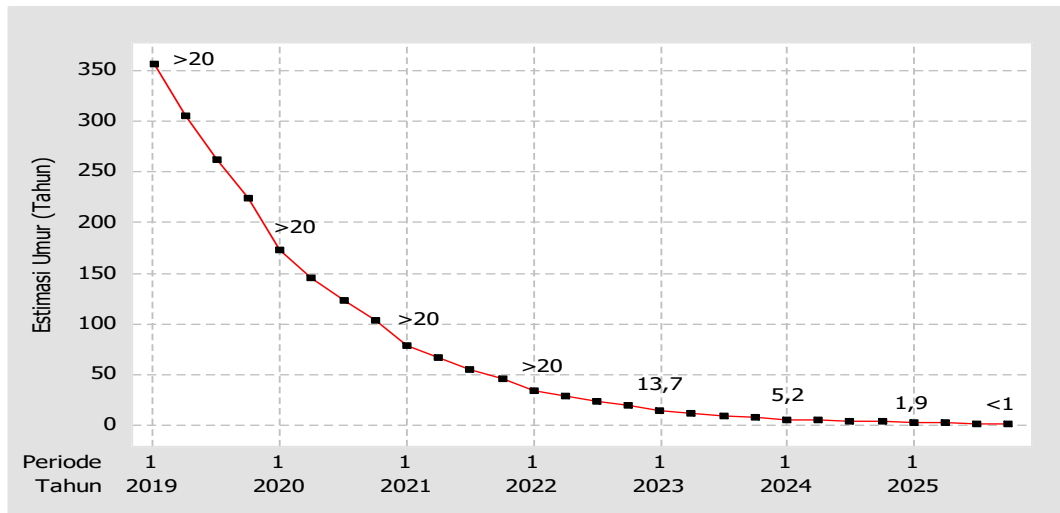
2.1 Estimasi Umur Transformator BO001 100 KVA Tahun Pemasangan 2010

Dengan melakukan perhitungan data menggunakan persamaan 1–5 diperoleh hasil berikut.

Tabel 4. Hasil Peramalan Beban dan Estimasi Umur Transformator BO001

Tahun	Periode (Per 3 Bulan)	Beban Transformator (%)	Suhu Lilitan (°C)	Laju Penuaan (p.u)	Susut Umur/hari (p.u)	Estimasi Sisa Umur (Tahun)
2019	1	58,53	67,89	0,031	0,031	>20
	2	60,24	69,21	0,036	0,036	>20
	3	61,96	70,55	0,042	0,042	>20
	4	63,67	71,93	0,049	0,049	>20
2020	1	65,39	73,33	0,058	0,058	>20
	2	67,10	74,84	0,069	0,069	>20
	3	68,82	76,29	0,081	0,081	>20
	4	70,53	77,76	0,096	0,096	>20
2021	1	72,25	79,26	0,115	0,115	>20
	2	73,96	80,78	0,137	0,137	>20
	3	75,68	82,33	0,164	0,164	>20
	4	77,39	83,90	0,196	0,196	>20
2022	1	79,11	85,59	0,238	0,238	>20
	2	80,82	87,21	0,288	0,288	>20
	3	82,54	88,85	0,347	0,347	>20
	4	84,25	90,51	0,421	0,421	19
2023	1	85,97	92,19	0,511	0,511	13,7
	2	87,68	93,90	0,623	0,623	11,2
	3	89,40	95,73	0,769	0,769	9,1
	4	91,11	97,48	0,942	0,942	7,4
2024	1	92,83	99,26	1,157	1,157	5,1
	2	94,54	101,05	1,422	1,422	4,2
	3	96,26	102,87	1,755	1,755	3,4
	4	97,97	104,70	2,168	2,168	2,7
2025	1	99,69	106,56	2,688	2,688	1,8
	2	101,40	108,55	3,383	3,383	1,4
	3	103,12	110,45	4,213	4,213	1,1
	4	104,83	112,37	5,260	5,260	<1

Dari hasil perhitungan menunjukkan umur transformator BO001 mengalami penurunan seperti pada grafik gambar 2. Penurunan umur transformator tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan beban, dapat dilihat pada tabel 4 bahwa setiap tahun nilai beban semakin meningkat.



Gambar 2. Grafik Estimasi Umur Transformator BO001

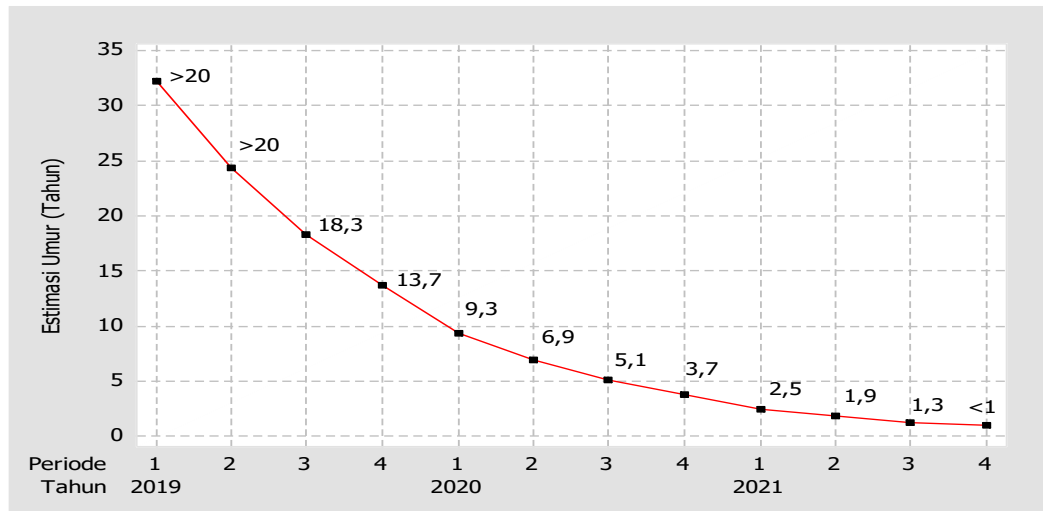
Jika mengacu pada standar IEC, transformator BO001 akan memiliki masa pakai hingga tahun 2030 (20 tahun) ketika diberi beban maksimal (100%) pada suhu sekitar 20 °C dengan kondisi suhu titik panas 98 °C. Karena transformator BO001 beroperasi pada temperatur lingkungan harian rata-rata 29 °C maka sesuai hasil perhitungan dalam penelitian ini, suhu titik panas transformator akan mencapai 98 °C pada pembebanan 91,6% dari *rating* daya transformator. Dengan kata lain transformator BO001 mengalami susut umur normal ketika dibebani 91,6% dari daya kapasitas transformator. Pertumbuhan beban transformator BO001 yang setiap waktu mengalami kenaikan mempengaruhi susut umur transformator. Pada peramalan tahun 2019 sampai tahun 2022 umur transformator BO001 masih diatas 20 tahun karena nilai beban masih dibawah dari 91,6%. Pada rentang periode tahun 2023 pertumbuhan beban transformator mendekati beban maksimal (91,6%) yakni sebesar 91,11% sehingga perkiraan umur transformator adalah 7,4 tahun dari sisa umur normal 7 tahun. Pada tahun 2024 pertumbuhan beban transformator melebihi beban maksimal (91,6%) akibatnya umur transformator menurun secara signifikan hingga pada tahun 2025 perkiraan umur transformator kurang dari 1 tahun dengan kondisi beban mencapai 104,83% dari *rating* daya transformator.

2.2 Estimasi Umur Transformator BO043 200 KVA Tahun Pemasangan 2012

Tabel 5. Hasil Peramalan Beban dan Estimasi Umur Transformator BO043

Tahun	Periode (Per 3 Bulan)	Beban Transformator (%)	Suhu Lilitan (°C)	Laju Penuaan (p.u)	Susut umur/hari (p.u)	Estimasi Sisa Umur (Tahun)
2019	1	83,12	89,45	0,372	0,372	>20
	2	85,58	91,88	0,493	0,493	>20
	3	88,04	94,34	0,655	0,655	18,3
	4	90,50	96,86	0,877	0,877	13,7
2020	1	92,96	99,42	1,178	1,178	9,3
	2	95,41	102,02	1,591	1,591	6,9
	3	97,87	104,67	2,161	2,161	5,1
	4	100,33	107,34	2,942	2,942	3,7
2021	1	102,79	110,10	4,046	4,046	2,5
	2	105,25	112,48	5,327	5,327	1,9
	3	107,71	115,70	7,727	7,727	1,3
	4	110,16	118,55	10,741	10,741	<1

Dari hasil perhitungan menunjukkan umur transformator BO043 mengalami penurunan yang drastis seperti pada grafik gambar 3. Penurunan umur transformator tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan beban yang signifikan, dapat dilihat pada tabel 5 bahwa setiap 3 bulan nilai beban meningkat pesat.



Gambar 3. Grafik Estimasi Umur Transformator BO043

Transformator BO043 memiliki umur hingga tahun 2032 (20 tahun) ketika diberi beban maksimal 91,6%. Pertumbuhan beban transformator BO043 yang setiap 3 bulan mengalami kenaikan mempengaruhi susut umur transformator. Pada peramalan tahun 2019 nilai beban transformator masih dibawah beban maksimal (91,6%) sehingga perkiraan umur transformator masih diatas sisa umur normal yaitu 13 tahun. Pada tahun 2020 pertumbuhan beban transformator melebihi beban maksimal (91,6%) akibatnya umur transformator menurun secara signifikan menjadi 3,7 tahun dengan kondisi beban mencapai 100,33%. Diperkirakan pada tahun 2021 sisa umur transformator kurang dari 1 tahun dengan kondisi beban mencapai 110,16%.

3. Kesimpulan

1. Transformator distribusi di penyulang Bolo PLN rayon Woha yang beroperasi pada temperatur lingkungan rata-rata 29 °C akan memiliki susut umur normal ketika dibebani 91,6% dari *rating* daya transformator.
2. Transformator BO001 memiliki estimasi sisa umur 7 tahun dari sisa umur normal 11 tahun dengan pertumbuhan beban sebesar 58,53% sampai 104,83% dari *rating* daya transformator. Sedangkan transformator BO043 memiliki estimasi sisa umur 3 tahun dari sisa umur normal 13 tahun dengan pertumbuhan beban sebesar 83,12% sampai 110,16% dari *rating* daya transformator.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pihak PLN rayon Woha yang telah memberikan izin dan bantuan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1]. Abdul Kadir, 2006. *Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik*. Jakarta: UI-Press.
- [2]. Wuwung J.O, "Pengaruh Pembebanan terhadap Kenaikan Suhu pada Belitan Transformator Daya Jenis Terendam Minyak", Jurnal TEKNO, Vol. 07 No.52, 2010.
- [3]. Marantika, N.S, "Perhitungan Susut Umur Transformator Daya 30 MVA akibat Pembebanan pada Gardu Induk PT Semen Padang, Politeknik Negeri Padang, 2016.
- [4]. Gianto A.S, Irianto C.G, & Gianto D, "Perhitungan Penurunan Umur Transformator akibat Pengaruh Suhu Lingkungan", JETri, Vol.13 No.1, 2015.

- [5]. Risty, E, “Analisis Perhitungan Susut Umur Transformator Distribusi pada PLN Area Ciputat” Jakarta: Universitas Mercubuana, 2015.
- [6]. Gultom P, dkk, “Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 KVA akibat Pembebanan Lebih di PT.PLN (Persero) Kota Pontianak”, Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Vol. 2 No. 1, 2017.
- [7]. Najdenskoki K, Rafajlovsky, & Dimcev F, 2007. *Thermal aging of distribution transformers according to IEEE and IEC standards*.
- [8]. Syamsir, “Analisis Peramalan Masa Pakai Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linear Transformator”, Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2018