



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax 021-7866955, hp: 081291030024
Email: humas@istn.ac.id Website: www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK
Nomor : 04/03.1-V/III/2024
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2023/2024

Nama	: Ariman, ST, MT.	Status Pegawai	: Tetap
NIK/ NIDN/ NIDK	: 01961010 / 0313026703	Program Studi	: Teknik Elektro D3
Jabatan Akademik	: Lektor		

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam	Kredit (SKS)	Hari
I PENDIDIKAN & PENGAJARAN	1. Pengajaran di kelas termasuk laboratorium				
	1. Praktikum PLC (Teknik Elektro S1 - Kelas A)	Lab Elk	08:00 - 09:40	1	Rabu
	2. Bahasa Inggris Teknik (Teknik Elektro S1 - Kelas A)	R-D3	15:00 - 16:40	2	Kamis
	3. Bahasa Inggris Teknik (Teknik Elektro S1 - Kelas K)	R-C5	13:00 - 14:40		Sabtu
	4. Kewirausahaan (Teknik Elektro S1 - Kelas K)	Lab Fis	15:30 - 17:00	2	Jumat
	5. Sistem Kendali Multivariabel (Teknik Elektro S1 - Kelas A)	R-C4	19:00 - 20:40	3	Kamis
	2. Pembimbing				
	1. Seminar				
	2. Kerja Praktek				
	3. Tugas Akhir/Tesis				
	4. Pembimbing Akademik				1
	3. Penguji				
	1. Tugas Akhir/Tesis				1
	2. Kerja Praktek				
	4. Tugas Tambahan				
	1. Menduduki jabatan di Perguruan Tinggi sebagai Ka. Prodi Teknik Elektro D3				3
	II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah			
2. Penulisan Karya Ilmiah					1
3. Penulisan Diklat Kuliah					
4. Menerjemahkan Buku Kuliah					
5. Pengembangan Program Kuliah Kurikulum					
6. Pengembangan Bahan Ajar					
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Menduduki jabatan di Pemerintahan				
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan dan Penelitian				
	3. Memberikan penyuluhan/pelatihan/penataran/ceramah				1
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat				
	5. Menulis karya Pengmas yang tidak dipublikasikan				
	6. Pengelolaan Jurnal Ilmiah				
IV PENUNJANG	1. Menjadi anggota/panitia pada badan/lembaga suatu PT				
	2. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah				
	3. Menjadi anggota organisasi profesi				
	4. Mewakili PT/lembaga pemerintah, duduk dalam panitia antar lembaga				
	5. Menjadi anggota delegasi nasional ke pertemuan internasional				
	6. Berperan Serta Aktif dalam pertemuan ilmiah/seminar				1
	7. Anggota dalam tim layanan pendidikan				
Jumlah Total				16	

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji/honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional. Penugasan ini berlaku dari tanggal 01 Maret 2024 sampai dengan 31 Agustus 2024

Jakarta, 01 Maret 2024
Wakil Dekan Sekolah Vokasi

Dr. Musfirah Cahya Fajrah, S.Si., M.Si.



Tembusan :

1. Wakil Rektor Bidang Akademik - ISTN
2. Wakil Rektor Bidang Sumber Daya - ISTN
3. Ka. Biro Pengembangan Sumber Daya Manusia - ISTN
4. Kepala Program Studi Teknik Elektro D3
5. Kepala Program Studi Teknik Elektro S1
6. Arsip

Analisa Penurunan Usia Transformator 1250 kVA Akibat Pembebanan pada Transformator di Rumah Sakit Swasta

Nizar Rosyidi AS¹, Gilang Andika², Edy Supriyadi³, Ariman⁴

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Indonesia.

Email: [1nizarrosyidias@yahoo.co.id](mailto:nizarrosyidias@yahoo.co.id), [3edy_syadi@istn.ac.id](mailto:edy_syadi@istn.ac.id), [4ariman@istn.ac.id](mailto:ariman@istn.ac.id)

Abstrak

Salah satu masalah yang sering terjadi pada transformator adalah kegagalan thermal dan panas berlebih yang mengakibatkan penyusutan usia pemakaian tranformator. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana pembebanan mempengaruhi usia transformator. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data lapangan atau data secara nyata yang terjadi di lapangan. Perhitungan perkiraan sisa usia transformator dihitung berdasarkan peramalan beban transformator lima tahun mendatang menggunakan analisa regresi linier. Pada IEC 354, hasil dari prediksi beban transformator 1250 kVA pada tahun 2024 memiliki sisa usia pemakaian kurang lebih 5 tahun, hal ini menandakan bahwa pemakaian transformator masih sesuai standard. Karena transformator beroperasi pada temperatur lingkungan rata – rata 30°C maka sesuai hasil perhitungan dalam penelitian ini, suhu titik panas transformator telah melebihi 107,7°C yang mencapai 137,67°C pada pembebanan 127,83% dari rating daya transformator. Pada hasil perhitungan di tahun 2023 usia pemakaian transformator masih lebih dari 20 tahun. Dikarenakan nilai beban masih berada di bawah 80%. Pada tahun 2027 perkiraan usia transformator semakin berkurang hingga tersisa kurang dari 1 tahun dengan kondisi beban mencapai 127,83% dari rating daya transformator. Berdasarkan hasil prediksi yang telah diperoleh dari tranformator 1250 kVA yang mulai beroperasi pada tahun 2008, transformator tersebut hanya dapat bertahan hingga tahun 2024. Penyusutan usia dasar transformator tersebut disebabkan oleh pembebanan yang melebihi 80% kapasitas pemakaian yang terjadi pada tahun 2024.

Kata kunci: Transformator, Tegangan AC, Perkiraan Usia, Regresi Linear, Prediksi Beban

Abstract

One of the problems that often occurs in transformers is thermal failure and overheating which results in shrinkage of the transformer's service life. This research aims to identify the extent to which loading affects transformer life. This research has been done with field data collection or real data that occurs in the field. The calculation of the estimated remaining life of the transformer is calculated based on forecasting the transformer load for the next five years using linear regression analysis. In IEC 354, the results of the 1250 kVA transformer load prediction in 2024 have a remaining service life of approximately 5 years, indicating that the transformer usage is still in accordance with the standard. Because the transformer operates at an average ambient temperature of 30 °C, according to the calculation results in this study, the transformer hot spot temperature has exceeded 107.7 °C which reached 137.67 °C at a loading of 127.83% of the transformer power rating. In the calculation results in 2023 the transformer's service life is still more than 20 years. This is because the load value is still below 80%. In 2027 the estimated age of the transformer decreases until less than 1 year remains with load conditions reaching 127.83% of the transformer power rating. Based on the prediction results that have been obtained from the 1250 kVA transformer that started operating in 2008, the transformer can only last until 2024. The shrinkage of the basic age of the transformer is caused by loading that exceeds 80% of the usage capacity that occurs in 2024.

Keywords: Transformer, AC Voltage, Estimated Age, Linear Regression, Load Prediction

1. Pendahuluan

Di Indonesia, salah satu negara berkembang, pertumbuhan penduduk dan industri yang pesat akan meningkatkan beban listrik, dan PLN harus memasok listrik secara terus menerus (Suryana, 2012). Dalam menyeimbangkan beban-beban satu fasa atau per-fasa sedemikian rupa agar dapat mengalirkan arus seimbang pada salurannya, namun dalam mengalirkan tenaga listrik tersebut terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu pemakaian atau penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada

belajar dari rumah, konsumsi listrik meningkat tajam. Bahkan 40 unit trafo milik PLN meledak pada hari Kamis, 14 Mei 2020 karena overload pemakaian (Syaroni, 2019). Transformator yang digunakan di gardu induk biasanya adalah trafo step-up (menaikkan tegangan). Dan pada gardu distribusi, trafo yang digunakan adalah trafo step down (menurunkan tegangan). Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan saluran udara tegangan menengah (SUTM) dari 20 kV menjadi tegangan rendah 400 V (Wiranto, 2021). Umumnya, arus yang mengalir melalui transformator tidak diharapkan melebihi arus pengenalnya. Jika arus yang ditarik melebihi nilai nominal, transformator akan rusak. Ini sama sekali tidak diinginkan (Syafriyudin, 2011).

2. Metodologi

Hubungan Antara Minyak Isolasi, Suhu, dan Usia Transformator

Minyak isolasi merupakan bahan dielektrik yang digunakan pada transformator guna memisahkan dan mengisolasi komponen yang bertenaga listrik. Minyak ini memiliki sifat isolasi yang sangat baik dan mampu menahan

penyediaan tenaga listrik, ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T), inilah yang menyebabkan mengalirnya arus di netralnya transformator, arus netral inilah yang menimbulkan rugi-rugi pada transformator sehingga kemampuannya dalam melayani beban menurun. Oleh karena itu diperlukan data untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi pada transformator (Julianto, 2017). Adanya kasus kerusakan di daerah kabupaten Rembang, Jawa Tengah untuk masyarakat Rembang dihimbaukan untuk lebih menghemat penggunaan listrik seperlunya. Pasalnya, sejak saat berlakunya kebijakan bekerja maupun tegangan tinggi. Selain itu, minyak isolasi juga berperan penting dalam proses pendinginan transformator. Minyak ini mengalir melalui peralatan dan membantu dalam menghilangkan panas yang dihasilkan selama operasi transformator. Minyak isolasi harus memenuhi standar tertentu dalam hal sifat listrik, thermal, dan stabilitas kimia untuk menjaga performa transformator.

Sedangkan untuk suhu, suhu merupakan faktor kritis yang mempengaruhi kinerja transformator. Pada saat transformator beroperasi, akan terjadi kehilangan daya. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan beberapa masalah yang serius. Pertama, suhu yang berlebihan dapat mempercepat proses penuaan pada minyak isolasi. Minyak isolasi yang terlalu panas akan mengalami oksidasi dan degradasi termal lebih cepat, yang pada gilirannya dapat mengurangi kemampuannya untuk melakukan isolasi secara efektif. Kedua, suhu yang tinggi dapat mempercepat proses degradasi komponen lain yang terdapat pada transformator seperti kertas isolasi atau isolator padat, yang juga akan dapat mempengaruhi kinerja dari transformator secara

keseluruhan. Usia transformator mengacu pada lamanya transformator telah beroperasi sejak transformator tersebut dipasang.

Seiring dengan berjalannya waktu, transformator akan mengalami penuaan secara alami. Transformator yang lebih tua cenderung mengalami penurunan kualitas minyak isolasi dan komponen lainnya. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi penuaan transformator, seperti suhu operasi yang tinggi, tegangan yang berlebihan, pemeliharaan yang tidak rutin. Oleh sebab itu, transformator yang lebih tua membutuhkan pemantauan dan pemeliharaan yang rutin untuk memastikan kinerja yang baik dan umur panjang. Apabila terjadi kebocoran pada tangki untuk memastikan kinerja yang baik dan umur panjang. Apabila terjadi kebocoran pada tangki minyak isolasi yang terdapat pada transformator, hal itu akan menyebabkan berkurangnya jumlah atau volume minyak isolasi. Transformator akan mengalami penuaan secara alami.

Transformator yang telah menua cenderung memiliki minyak isolasi yang terdegradasi, dengan penurunan kemampuan dielektrik dan peningkatan tingkat pencemaran. Apabila terjadi kebocoran pada tangki minyak isolasi yang terdapat pada transformator, hal itu akan menyebabkan berkurangnya jumlah atau volume minyak isolasi.

Mengingat akan pentingnya peran minyak isolasi dalam menjaga suhu pada transformator agar tetap stabil, apabila terjadi pengurangan jumlah atau volume minyak isolasi akan menyebabkan kemampuan transformator untuk melakukan pendinginan dapat terganggu. Hal tersebut dapat meningkatkan suhu operasional transformator, yang pada gilirannya dapat mempercepat proses penuaan dan merusak komponen internal transformator.

Selain berkurangnya jumlah minyak

isolasi, kebocoran tangki minyak isolasi juga dapat menyebabkan kerusakan isolasi yang disebabkan oleh kontaminasi atau pencemaran pada isolasi transformator. Kontaminan seperti air, debu, atau partikel lainnya dapat menyebabkan penurunan kemampuan isolasi untuk menghambat aliran panas. Akibatnya, suhu transformator dapat mengalami kenaikan yang dikarenakan isolasi yang tidak efektif dalam menghilangkan panas yang dihasilkan selama operasi. Kenaikan suhu berlebih juga dapat mempercepat proses penuaan isolasi dan komponen lainnya.

Di sisi lain, kebocoran tangki minyak isolasi transformator juga dapat mengganggu sistem pendinginan pada transformator. Minyak yang hilang dapat mengurangi jumlah cairan pendingin yang tersedia, sehingga kemampuan transformator untuk mendinginkan diri berkurang. Hal ini juga dapat menyebabkan peningkatan suhu transformator yang berdampak negatif pada kinerjanya.

Usia Pakai Transformator.

Penyusutan usia transformator disebabkan oleh adanya pembebanan yang berlebih yang mengakibatkan panas lilitan kumparan pada transformator. Menurut Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN), transformator akan mengalami umur yang normal apabila suhu *hot spot* 98 °C pada pembebanan yang secara terus – menerus dengan suhu sekitar normal apabila suhu *hot spot* 98 °C pada pembebanan yang secara terus – menerus dengan suhu sekitar (*ambient temperature*) sebesar 20 °C.

Apabila transformator tersebut mengalami kenaikan suhu hingga lebih dari 98 °C maka susut umur pada transformator akan semakin besar sehingga dapat memperpendek usia transformator dari yang diharapkan. (Tabel 1)

Tabel 1. Pembebanan Transformator Menurut IEC 60354

No.	Paramater Uji	Batasan
1.	Viskositas 40°C	Max 12 cSt
2.	Titik Tuang	Max -40°C
3.	Kadar Air	Max 30 mg/kg
4.	Tegangan Tembus	
	• Sebelum <i>Treatment</i> • Sedudah <i>Treatment</i>	Min 30 kV/2,5 mm Min 70 kV/2,5 mm
5.	Densitas Pada 20°C	Max 0,895 g/ml
6.	Kenetralan (Keasaman)	Max 0,01 mgKOH/kg

Standar International Electro-technical Commission 354 (IEC 354) memberi-kan faktor beban secara terus menerus yang nantinya akan menghasilkan suhu *hot spot* 98 °C dari berbagai suhu lingkungan dan untuk setiap jenis pendinginan, hal ini memungkinkan untuk menghitung kemampuan pembebanan secara terus menerus berdasarkan suhu sekitar.

Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dirancang untuk dapat berkerja pada suhu sekitar tidak melebihi 40 °C dan suhu rata - rata harian 30 °C serta suhu rata - rata tahunan 30 °C. IEC telah menetapkan usia transformator selama 20 tahun atau setara dengan 7300 hari apabila transformator tersebut dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada suhu sekitar 20 °C, sehingga susut usia normal transformator adalah 0,0137% per hari.

Sebagian besar peneliti belum sepenuhnya sependapat mengenai susut usia transformator pada temperatur tertentu. Akan tetapi Sebagian peneliti sudah setuju jika selama rentang 80oC - 140 °C laju penuaan transformator mengganda untuk setiap 6 °C kenaikan suhu. Nilai susut usia karena suhu titik panas menurut IEC 354, dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Faktor penuaan atau laju perubahan usai transformator pada setiap kenaikan suhu titik panas di atas suhu normal (98 °C) dapat dihitung dengan persamaan

$$V = 2 \left(\frac{\theta_h - 98}{6} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

V = Nilai relatif dari usia pemakaian

θ_h = Suhu titik panas (°C)

Tabel 2. Nilai Susut Usia Akibat Kenaikan Suhu Menurut IEC 354.

Suhu Lilitan (°C)	Susut Usia (p.u)	Perkiraan Usia (Tahun)
80	0,125	>20
86	0,25	>20
92	0,5	>20
98	1	20
104	2	10
110	4	5
116	8	2,5
122	16	1,25
128	32	0,625
134	64	0,3125
140	128	0,15625

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

$$L = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^N V_n \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

n = Interval waktu

V_n = Laju penuaan relatif

L = Susut usia

N = Periode waktu pada waktu ke n

Untuk menghitung perkiraan sisa usia transformator dapat menggunakan persamaan

$$\text{Estimasi sisa usia transformator} = \frac{\text{Umur dasar} - n}{L} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

Umur dasar transformator = 20 tahun

n = waktu transformator telah beroperasi (Tahun)

Analisa deret waktu yang hasilnya berupa persamaan trend yang dapat digunakan untuk peramalan ke depan (*forecasting*). Analisa linier adalah hubungan yang didapat dan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematika yang menyatakan hubungan fungsional antar variabel - variabel.

Regresi merupakan sebuah alat ukur

yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi antar variabel. Analisis regresi lebih akurat dalam analisis korelasi karena tingkat perubahan suatu variabel terhadap variabel lainnya dapat ditentukan. Jadi pada regresi, peramalan atau perkiraan nilai variabel terikat pada nilai variabel bebas lebih akurat pula.

Analisa linier dianggap memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam menganalisa suatu faktor, karena antar variabelnya dapat ditentukan. Analisa linier adalah regresi yang variabel bebasnya (variabel X) berpangkat paling tinggi satu untuk regresi sederhana, yaitu regresi linier yang hanya melibatkan dua variabel (variabel X dan Y). Dalam penelitian ini, nantinya variabel penyebab (X) adalah periode pengambilan data, sedangkan variabel akibat (Y) didapat dari data pembebanan.

Berikut ini adalah persamaan trend linier yang digunakan dalam prediksi beban transformator di tahun yang akan mendatang.

$$Y(t) = a + b \cdot X(t) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

$Y(t)$ = Pembebanan pada waktu t

$X(t)$ = Periode waktu t

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

Dengan persamaan yang telah disebutkan maka menghasilkan persamaan regresi yang menggambarkan hubungan antar variabel akibat (Y) dengan satu atau beberapa variabel penyebab (X). Apabila variabel akibat dihubungkan dengan satu variabel penyebab saja, maka persamaan regresi yang dihasilkan adalah regresi linier sederhana. Jika nilai konstanta dan koefisien diketahui, maka persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel akibat.

Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah memprediksi sisa usia pakai dari transformator dalam periode lima tahun mendatang untuk mengetahui sisa usia transformator distribusi

1250 kVA. Transformator ini mulai beroperasi tahun 2008 di Power House EKA HOSPITAL BSD Serpong sehingga dapat mengantisipasi pada tahun berapa transformator tersebut harus diganti agar penggunaannya tidak melebihi dari kapasitas yang telah ditentukan.

3. Hasil dan Pembahasan Data Yang diperoleh

Data Transformator Distribusi Transformator distribusi yang terdapat pada Power House EKA HOSPITAL BSD Serpong. Berikut adalah spesifikasi transformator yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Tranformator

Spesifikasi Transformator	
Tegangan Primer	20 kV
Tipe	3 Phasa
Jenis Pendinginan	ONAN
Suhu Sekitar	30°C
Jumlah Minyak	830 Liter
Jenis Gardu	Kubikel

Data pembebanan transformator yang menjadi bahan penelitian adalah transformator pada Power House EKA HOSPITAL BSD Serpong, yaitu seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Data Beban Transformator Panel LVMSB-1

No.	Tahun	Periode (3 Bulan)	Beban Transformator Panel LVMSB-1							
			Siang				Malam			
			Daya Semu (kVA)	Daya Aktif (kW)	Persentase (%)	Suhu (°C)	Daya semu (kVA)	Daya Aktif (kW)	Persentase (%)	Suhu (°C)
1	2021	1	823,07	781,917	65,85	42,14	777,538	738,661	62,2	41,78
2	2	837,818	795,927	67,03	42,14	786,785	747,446	62,94	41,86	
3	3	866,632	823,3	69,33	42,71	843,422	801,251	67,47	42,29	
4	4	907,518	862,142	72,6	42,86	906,902	861,557	72,55	42,8	
5	1	915,475	869,701	73,24	43	914,956	869,208	73,19	43	
6	2	960,075	912,071	76,81	43,57	918,94	872,993	73,52	43,43	
7	3	970,641	922,109	77,65	44,29	931,671	885,087	74,53	43,43	
8	4	1076,545	1022,718	86,12	44,43	997,402	947,532	79,79	44,29	

Ada 5 Transformator Distribusi 1250 kVA yang bertempat di area Power House pada lantai 1 eksternal yang mulai beroperasi tahun 2008. Transformator tersebut menyalurkan listrik ke beban dengan menggunakan panel utama, yaitu panel LVMSB-1. Berikut adalah data pembebanan pada

panel LVMSB-1 pada transformator 1250 kVA berdasarkan panel yang dijadikan bahan untuk penelitian. Perhatikan diketahui bahwa beban puncak pada panel LVMSB-1 pada tahun 2021 terjadi pada siang hari pada periode ke-4 dengan beban 862,1 Watt. Sedangkan pada tahun 2022 beban puncak terjadi pada siang hari pada periode ke-4 dengan beban 1022,7 Watt. Sedangkan beban puncak pada tahun 2021 yang terjadi pada malam hari terdapat pada periode ke-4 dengan beban 862,1 Watt dan beban puncak pada tahun 2022 yang terjadi pada malam hari terdapat pada periode ke-4 dengan beban 947,5 Watt.

Prediksi Beban Transformator

Dalam pengolahan data penelitian menggunakan metode regresi linier terdapat beberapa variabel yang harus ditentukan terlebih dahulu yang dimana variabel yang dimaksud ialah variabel penyebab dan variabel akibat. Variabel penyebab (X) merupakan periode pengambilan data dari tahun yang nantinya akan diprediksi, sedangkan untuk variabel akibat (Y) merupakan hasil yang didapat dari data persentase pembebanan transformator pada siang dan malam hari.

Kedua variabel tersebut nantinya akan diolah ke dalam nilai konstanta (a) dan koefisien regresi (b). Untuk menentukan nilai a dan b , maka derivative parsialnya harus nol, yaitu:

$$\partial s / \partial a = 0 \text{ dan } \partial s / \partial b = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$S = (y_1 - a - bx_1)^2 + (y_2 - a - bx_2)^2 + \dots + (y_n - a - bx_n)^2 \\ = \sum (y_i - a - bx_i)^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$\partial s / \partial a = -2 \sum (y_i - a - bx_i) \dots\dots\dots (7)$$

$$\partial s / \partial b = -2 \sum (y_i - a - bx_i) x_i \dots\dots\dots (8)$$

Dari persamaan 7 dan 8 maka akan didapat :

$$\sum y_i = na + b \sum x_i = 0 \dots\dots\dots (9)$$

$$\sum x_i y_i = a \sum x_i + b \sum x_i^2 = 0 \dots (10)$$

Dimana pengolahan data tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$a = \frac{\sum Y (\sum X^2) - (\sum X) (\sum XY)}{(n) (\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (11)$$

$$b = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{(n) (\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (12)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- a = Konstanta,
- b = Koefisien Regresi,
- n = Jumlah Data,
- $\sum X$ = Jumlah Periode Waktu t ,
- $\sum Y$ = Jumlah Pembebanan, Waktu t ,
- $\sum XY$ = Jumlah Periode Waktu t dikali Jumlah Pembebanan

Pada umumnya analisa regresi dilakukan bersamaan dengan analisa korelasi (r). Korelasi merupakan sebuah ukuran kesempurnaan hubungan antara variabel X dan variabel Y . Pada saat nilai variabel X dan Y bertambah, maka akan dinyatakan korelasi positif. Nilai dari r berkisar dari -1 hingga 1, apabila nilai $r = 1$, maka akan menunjukkan bahwa hubungan antara variabel X dan Y sempurna. Persamaan koefisien korelasi (r) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$r = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{\sqrt{(n (\sum X^2) - (\sum X)^2) (n (\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \dots\dots\dots (13)$$

Perhitungan Usia Transformator

Pembebanan yang terjadi pada transformator distribusi akan selalu mengalami perubahan, hal ini menyulitkan menentukan pola pembebanannya. Maka dalam penelitian ini pola pembebanan dibagi 4 periode pengambilan data. Prediksi usia transformator pada penelitian ini hanya memfokuskan terhadap pengaruh pembebanan pada transformator.

Agar dapat mengetahui usia pakai transformator maka harus menentukan kecepatan *relative* dari kenaikan titik suhu panas terlebih dahulu. Nilai

relative dari usia pemakaian transformator dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\theta H = \text{beban}_{\text{transformator}}(\%) \times T_{\text{max}} \dots (14)$$

$$V = 2 \left(\frac{\theta h - 98^\circ \text{C}}{6} \right) \dots \dots \dots (15)$$

θh = titik suhu panas (°C),

T_{max} = suhu lilitan (°C) dan

V = kecepatan relative.

Kemudian untuk penyusutan usia pakai transformator dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Susut usia (24 jam)} = (t \cdot V_{\text{siang}}) + (t \cdot V_{\text{malam}}) \dots \dots \dots (16)$$

Dimana:

t = Waktu (jam),

V_{siang} = Kecepatan relatif siang hari (V)

V_{malam} = Kecepatan relatif malam hari (V)

Transformator ini digunakan untuk melayani beban pada sebuah rumah sakit, dimana untuk pembebanan sehari selama 24 jam diasumsikan bahwa 15 jam berada di waktu beban puncak yaitu pada siang hari dan 9 jam berada di luar waktu beban puncak yaitu pada malam hari.

Setelah mendapatkan nilai – nilai yang dibutuhkan, maka prediksi terhadap usia pakai transformator dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Prediksi tahun ke } n = \frac{\text{umur dasar} - n}{\text{susut usia (p.u)}} \dots \dots \dots (17)$$

n = lama operasi tranformator (thn)

Hasil Pembahasan

Setelah dijabarkan mengenai teori tersebut diatas yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan usia pakai transformator beserta data – data yang dibutuhkan. Dengan dijabarkannya teori tersebut, selanjutnya akan dilakukan perhitungan, hasil, serta analisa dari sisa usia pakai transformator terhadap kebocoran tangka minyak transformator dan beban transformator yang terdapat pada Power House EKA HOSPITAL BSD Serpong dengan menggunakan metode regresi linear.

Perkiraan Beban Transformator

Penelitian ini dilakukan pada sebuah transformator distribusi dengan kapasitas 1250 kVA dilengkapi dengan data pembebanan pada transformator pada tahun 2021 hingga 2022. Langkah awal untuk menentukan perkiraan usia pakai transformator adalah dengan melakukan analisis regresi linear untuk menentukan variabel penyebab dan variabel akibat dalam metode regresi linear. Berdasarkan data beban transformator yang ditunjukkan pada Tabel 5 maka akan dijabarkan perhitungan dari variabel penyebab (X) dan variabel akibat (Y) yang akan dilakukan perhitungan dengan memasukkan ke dalam persamaan 11 dan 12 sebagai berikut :

Tabel 5 Data Transformator Dengan Variabel Regresi

No.	Tahun	Periode (X)	Beban		X ²	XY Siang	XY Malam
			Siang	Malam			
			Presentase (%)	Presentase (%)			
1.	2021	1	65,85	62,2	1	65,85	62,2
2.		2	67,03	62,94	4	134,06	125,88
3.		3	69,33	67,47	9	207,99	202,41
4.		4	72,6	72,55	16	290,4	290,2
5.	2022	1	73,24	73,19	1	73,24	73,19
6.		2	76,81	73,52	4	153,62	147,04
7.		3	77,65	74,53	9	232,95	223,59
8.		4	86,12	79,79	16	344,48	319,16
Total		20	588,63	566,19	60	1502,59	1443,67

Berdasarkan persamaan 11 dan 12 maka perhitungan nilai konstanta (a) dan nilai koefisien regresi (b) sebagai berikut :

A. Beban Siang Hari .

$$a = \frac{\sum Y (\sum X^2) - (\sum X) (\sum XY)}{(n) (\sum X^2) - (\sum X)^2} = \frac{(588,63)(60) - (20)(1502,59)}{(8)(60) - (20^2)} = 65,83$$

$$b = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{(n) (\sum X^2) - (\sum X)^2} = \frac{(8)(1502,59) - (20)(588,63)}{(8)(60) - (20^2)} = 3,1$$

nilai konstanta (a) dan koefisien energi (b) dengan menggunakan persamaan regresi linear sesuai dengan persamaan 4 pada siang hari adalah :

$$Y(t) = a + b \cdot X(t)$$

$$y = 65,83 + 3,10 X$$

Selanjutnya untuk memprediksi beban transformator pada periode 5 tahun yang akan datang, berdasarkan persamaan 4, maka hasil prediksi presentase beban transformator 1250 kVA pada siang hari untuk tahun yang akan datang dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y_{2023} &= 65,83 + 3,10 (4) = 78,23 \\ y_{2024} &= 65,83 + 3,10 (8) = 90,63 \\ y_{2025} &= 65,83 + 3,10 (12) = 103,03 \\ y_{2026} &= 65,83 + 3,10 (16) = 115,43 \end{aligned}$$

B. Beban Pada Malam Hari.

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum Y(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{(566,19)(60) - (20)(1443,67)}{(8)(60) - (20^2)} = 63,73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \\ &= \frac{(8)(1443,67) - (20)(566,19)}{(8)(60) - (20^2)} = 2,82. \end{aligned}$$

Dengan cara serupa setelah mendapatkan nilai a dan b dengan menggunakan persamaan 4 untuk malam hari diperoleh.

$$\begin{aligned} y &= 63,73 + 2,82 X \\ y_{2023} &= 63,73 + 2,82 (4) = 75,01 \\ y_{2024} &= 63,73 + 2,82 (8) = 86,29 \\ y_{2025} &= 63,73 + 2,82 (12) = 97,57 \\ y_{2026} &= 63,73 + 2,82 (16) = 108,85 \\ y_{2027} &= 63,73 + 2,82 (20) = 120,13 \end{aligned}$$

Tabel 6 Prediksi Beban Transformator

Tahun	Prediksi Beban (%)	
	Siang	Malam
2023	78,23	75,01
2024	90,63	86,29
2025	103,03	97,57
2026	115,43	108,85
2027	127,83	120,13

Prediksi yang ditunjukkan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa persentase beban transformator selama periode 5 tahun yang akan datang mengalami peningkatan beban di setiap tahunnya. Hal ini disebabkan bertambahnya alat alat medis dan fasilitas pada Rumah Sakit tersebut guna memaksimalkan pelayanan terhadap pasien.

Untuk koefisien korelasinya pada

pembebanan siang dan malam hari ditunjukkan sebagai berikut :

$$r_{siang} = \frac{8(2757,87) - (36)(588,63)}{\sqrt{\{8(204) - (36)^2\} \{8(43598,7029) - (588,63)^2\}}}$$

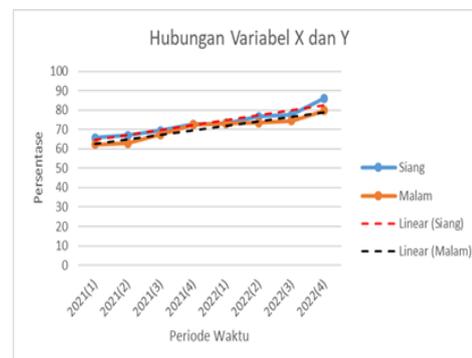
$$r_{siang} = 0,991$$

$$r_{malam} = \frac{8(2647,79) - (36)(566,19)}{\sqrt{\{8(204) - (36)^2\} \{8(40329,1185) - (566,19)^2\}}}$$

$$r_{malam} = 0,961$$

Nilai akhir tersebut menandakan bahwa hubungan variable penyebab (X) dengan variable akibat (Y) adalah korelasi sangat kuat, hal ini dikarenakan nilainya mendekati 1. Persentase r siang sebesar 99% dan r malam sebesar 96%.

Hubungan linear antara variabel penyebab (X) sebagai periode pengambilan data dan variabel akibat (Y) sebagai persentase pembebanan transformator 1250 kVA dapat dilihat pada Gambar 1 berikut;



Gambar 1. Hubungan Variabel X dan Y

Gambar diatas hubungan linear korelasi antara variabel penyebab (X) sebagai periode waktu pengambilan data dan variabel akibat (Y) sebagai persentase pembebanan pada transformator 1250 kVA yang dimana terdapat garis linear sebagai garis yang menunjukkan hubungan korelasi sempurna antara kedua variabel tersebut.

Perhitungan Usia Pemakaian Transformator.

Dari hasil perkiraan beban

transformator 1250 kVA yang terus mengalami peningkatan di setiap tahunnya, maka dapat dilakukan perhitungan sisa usia pemakaian transformator tersebut dalam periode 5 tahun yang akan datang guna mempersiapkan transformator agar dioperasikan sesuai dengan kebutuhan. Mengacu pada IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini (SPLN 17 A: 1979), sebuah transformator akan mengalami usia yang normal apabila dalam kondisi suhu hot spot 98 °C pada pembebanan 100% dari rating pengenal dengan suhu sekitar sebesar 20 °C. Dikarenakan suhu rata - rata sekitar di area Eka Hospital sebesar 30 °C, maka suhu belitan transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN akan mencapai 98 °C pada factor pembebanan 0,91 (91%) dari rating daya transformator. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada suhu sekitar 30 °C suhu belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100% dari rating daya transformator sebesar 107,7 °C. Berikut ini adalah perhitungan persamaannya.

$$\frac{91\%}{98^{\circ}\text{C}} = \frac{100\%}{P^{\circ}\text{C}}$$

$$P = \frac{98^{\circ}\text{C} \times 100\%}{91\%} = 107,69 \approx 107,7^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan data hasil prediksi beban transformator 1250 kVA, maka selanjutnya data tersebut akan diolah ke dalam persamaan 14 yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Siang Hari

$$\theta H = \text{beban transformator}(\%) \times T_{max}$$

$$\theta H = 78,23\% \times 107,7^{\circ}\text{C}$$

$$\theta H = 84,25^{\circ}\text{C}$$

Dari hasil perhitungan persamaan di atas telah diperoleh nilai suhu sebesar 84,25°C. Selanjutnya nilai suhu tersebut akan dimasukkan ke dalam persamaan 15. Maka didapatkan:

$$V = 2 \left((\theta h - [98]^{\circ}\text{C}) / 6 \right)$$

$$V = 2 \left(\frac{84,25 - 98^{\circ}\text{C}}{6} \right) = 0,204 \text{ p. u}$$

2. Malam hari

$$\theta H = \text{beban transformator}(\%) \times T_{max}$$

$$\theta H = 75,01\% \times 107,7^{\circ}\text{C}$$

$$\theta H = 80,79^{\circ}\text{C}$$

$$V = 2 \left((80,79 - [98^{\circ}\text{C}]) / 6 \right) = 0,137 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, selanjutnya nilai *V* pada siang hari dan malam hari akan dimasukkan ke dalam persamaan 16 yang bertujuan untuk menghitung susut usia pemakaian transformator dalam satu hari. Diperkirakan transformator tersebut dibebani 15 jam pada suhu 84,25°C dan selama 9 jam dengan suhu 80,79°C. Maka untuk perhitungan prediksi susut usia pemakaian transformator selama 24 jam ialah sebagai berikut:

$$\text{susut}_{usia} (24\text{jam}) = (t. V_{siang}) + (t. V_{malam})$$

$$\text{susut}_{usia} = (15 \times 0,204) + (9 \times 0,137)$$

$$\text{susut}_{usia} (24\text{jam}) = 4,293$$

Dari hasil persamaan di atas, maka didapatkan persentase susut usianya sebesar 17,89%. Persentase tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan 17. Pada penelitian ini menggunakan transformator 1250 kVA yang telah beroperasi sejak tahun 2008, sehingga untuk menghitung prediksi usia pemakaian transformator dapat ditentukan sebagai berikut :

Prediksi usia pada tahun ke *n* =

$$\frac{\text{Umur dasar} - n}{\text{Susut}_{usia} (p.u)}$$

$$= \frac{20 - (2023 - 2008)}{17,89\%}$$

Prediksi usia pakai pada tahun ke 2023 = 27,9 tahun

Jadi sisa usia pemakaian transformator tersebut di tahun 2023 ialah 27 tahun. Hasil perhitungan prediksi usia transformator di atas diasumsikan usia transformator tersebut >20 tahun. Dimana usia pemakaian transformator akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya tahun. Berikut adalah tabel susut usia pemakaian transformator 1250 kVA di 5 tahun yang akan datang. Perhatikan Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Nilai sisa usia pakai

Tahun	Prediksi Beban (%)		Titik Suhu Panas (°C)		V (p.u)		Susut Usia Per Hari (p.u)	Persentase Susut Usia Per Hari (%)	Sisa Usia Pakai (Tahun)
	Siang	Malam	Siang	Malam	Siang	Malam			
2023	78,23	75,01	84,25	80,79	0,204	0,137	4,293	17,89	27,95
2024	90,63	86,29	97,61	92,93	0,956	0,557	19,353	80,64	4,96
2025	103,03	97,57	110,96	105,08	4,469	2,266	87,429	364,29	0,82
2026	115,43	108,85	124,32	117,23	20,918	9,221	396,759	1653,16	0,12
2027	127,83	120,13	137,67	129,38	97,793	37,531	1804,674	7519,48	0,01

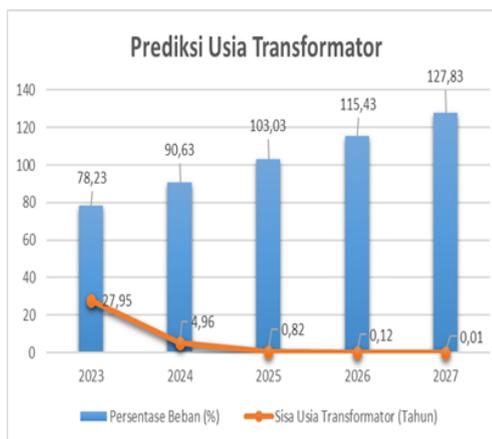
Pada IEC 354, hasil dari prediksi beban transformator dapat diketahui bahwa sisa usia pemakaian transformator 1250 kVA yang mulai beroperasi pada tahun 2008 pada power house Eka Hospital memiliki sisa usia pemakaian >20 tahun, hal ini menandakan bahwa pemakaian transformator masih sesuai standard.

Transformator tersebut akan mencapai masa pemakaian yang ke 20 tahun pada tahun 2028 yang dimana sebuah transformator akan mengalami usia yang normal pada kondisi suhu hot spot 98°C pada pembebanan 100% dari rating pengenalan. Karena transformator beroperasi pada temperature lingkungan rata - rata 30°C maka sesuai hasil perhitungan dalam penelitian ini, suhu titik panas transformator telah melebihi 107,7°C yang mencapai 137,67°C pada persentase pembebanan 127,83% dari rating daya transformator. Beban pada transformator setiap waktu mengalami kenaikan yang mempengaruhi susut usia pemakaian transformator.

Pada hasil prediksi tahun 2023 usia pemakaian transformator masih lebih dari 20 tahun. Hal ini dikarenakan nilai persentase beban masih berada di bawah 80%. Pada hasil prediksi di tahun 2024 pertumbuhan beban transformator sudah lebih dari 80%, sehingga mengakibatkan hasil prediksi usia pemakaian transformator mengalami penurunan yang sangat signifikan.

Pada tahun 2027 perkiraan usia transformator semakin berkurang hingga tersisa kurang dari 1 tahun dengan kondisi beban mencapai 127,83% dari rating daya transformator. Perhatikan Gambar 2 berikut, yang menunjukkan prediksi usia transformator 5 tahun

kedepan dan prosentasi beban (%).



Gambar 2 Prediksi Usia Tranformator

Gambar 2 di atas menunjukkan usia pemakaian transformator yang seiring bertambahnya tahun semakin berkurang. Hal ini diakibatkan oleh adanya kenaikan persentase pembebanan transformator. Pada transformator 1250 kVA ini pada tahun 2027 hasil prediksi pembebanannya mencapai 127,83% yang mana melebihi dari batas umum pengoperasian kapasitas transformator yang sebesar 80% dari kapasitas ratingnya. Hal tersebut merupakan faktor yang mempengaruhi penyusutan usia pemakaian pada transformator di tahun 2027 dengan sisa usia 0,01 tahun. Berdasarkan SPLN 17 (1979), standar usia sebuah transformator yaitu 20 tahun. Berdasarkan hasil prediksi yang telah diperoleh dari tranformator 1250 kVA yang mulai beroperasi pada tahun 2008, transformator tersebut pada tahun 2024 memiliki sisa usia selama kurang lebih 5 tahun apabila terbebani secara konstan, yang berarti transformator tersebut dapat beroperasi selama 20 tahun dari awal pengoperasiannya sesuai dengan SPLN 17 (1979). Penyusutan usia dasar transformator tersebut disebabkan oleh pembebanan yang melebihi 80% kapasitas pemakaian yang mulai terjadi pada tahun 2024. Faktor yang mengakibatkan terjadinya penyusutan usia dasar pada transformator ialah

beban yang berlebih sehingga menyebabkan suhu titik hotspot lilitan mengalami kenaikan karena berkerja melebihi batasannya. Beban berlebih dapat terjadi akibat adanya penggunaan energy listrik yang semakin bertambah.

4. Kesimpulan

Analisa perhitungan dari data yang telah diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Prediksi sisa usia pemakaian transformator yang terhubung panel LVMSB-1 pada tahun 2024 yang mulai beroperasi pada tahun 2008 adalah 4,96 tahun dengan persentase beban sebesar 90,63% yang dimana transformator tersebut masih sesuai standar usia transformator berdasarkan SPLN 17 (1979) yaitu selama 20 tahun.
2. Berdasarkan hasil perhitungan, pembebanan sangat mempengaruhi susut usia transformator yang dimana transformator yang terhubung pada panel LVMSB-1 yang mulai beroperasi dari tahun 2008 tersebut hanya dapat beroperasi hingga tahun 2025 dengan sisa usia kurang dari 1 tahun dengan prediksi beban mencapai 103,03% dan titik suhu panas sebesar 97,57°C yang berarti dapat bertahan selama 17 tahun dari awal transformator tersebut beroperasi.

Daftar Pustaka

- Anggy, E. S., Nasrulloh., Rizki, N. P. (2021).** Analisis Pembebanan dan Ketidakseimbangan Beban Pada Penentuan Susut Umur Transformator Distribusi. Teknik Elektro, Universitas Peradaban Bumiayu.
- Artema. (2020).** Jenis -Jenis Transformator. Bekasi : PT Arrasya Teknik Mandiri.
- Bicen, Y., Aras, F., and Kirkici, H. (2014).** Lifetime Estimation and Monitoring of Power Transformer Considering Annual Load Factors. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 21(3), 1360-1367.
- Hardityo, Rahmat. (2008).** Deteksi Dan Analisis Indikasi Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut. Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- IEC. (2006).** International Standard Time. Science, ns-1(6),159-160.9
- Julianto, E. (2017)** “Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Cabang Pontianak”,
- Kadir, Abdul. (1989).** Transformator. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Mangapul, Agung, Wahyu. (2015).** Kerja Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 150/20 kV 60 MVA. Teknik Elektro, STT-PLN, Jakarta.
- Meshkatodd, M. R. (2008).** Aging Study and Lifetime Estimation of Transformer Mineral Oil. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 1(4),384-388.
- Novian, Kartini. (2023).** Peramalan Loss Of Life Transformator Berdasarkan Loading dan Temperatur Menggunakan Deep Learning- LSTM di Gardu Induk 150 kV Buduran. S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Novie, Rosmaliati, Munir. (2021).** Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan Metode Backpropagation. Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya.
- Pandapotan, Junedy. (2013).** Studi Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya. Medan: Singuda Ensikom, Vol. 3 No. 1
- Parmar, Jignesh. (2012).** Gambar Transformer Berdasarkan Vektor Group Trafo.
- Suhinar,** Terjemahan Indonesia <https://www.listrik-praktis.com/2015/12/cara-memahami-pembaca-an-vektor-group-jam-trafo.html> - Diakses 22 Juli 2023

- SPLN-17. (1979).** Pedoman Transformator Terendam Minyak.
- Sujito. (2009).** Perhitungan Life Time Transformator Jaringan Distribusi 20kV di APJ Malang. Universitas Negeri Malang. TEKNO Vol.11 ISSN: 1693-8739.
- Syukri, Asyadi, Muliadi, (2022).** Analisa Pembebanan Transfor-mator Distribusi 20kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. Teknik Elektro, Universitas Iskandar Muda, Aceh.
- Slameto, Joko. (2018).** Analisis Regresi Linear. Gunadarma, Depok, Jawa Barat.
- Suryana, Alvian J,** “Analisis Keandalan Transformator Distribusi menggunakan Indikator Tegangan Regulasidan Efisiensi Transformator (Studi Kasus pada PT.PLN APJ Jember)”, Universitas Jember, Mei 2012.
- Syaroni, Z. (2019).** “Analisis Ketidak-seimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah”, Jurnal Teknik Elektro, vol 08, no. 01, pp. 173-180,
- Syafriyudin, (2011).** “Perhitungan Lama Waktu Pakai Transformator Jaringan Distribusi 20 Kv di APJ Yogyakarta”,
- Wiranto, Ikhsan M, (2021),** “Analisis Kinerja Transformator Distribusi Kawanua Emerald City-Amethys”