



Analisis Umur Pemakaian Transformator Distribusi 20 kV di PT Krakatau Tirta Industri

Agung Rizky Jamas^{1*}, Desmira²

^{1,2}Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Email: *agungjamas20@gmail.com¹, desmira@untirta.ac.id²

Korespondensi Penulis: agungjamas20@gmail.com

Abstract. Power station generates electricity that must be distributed through the electrical distribution system, the condition of existing and adequate electrical power equipment should be the reliability and stability of the system is guaranteed to provide comfort in service to consumers. One of the most powerful sources of electrical power that has been used is the power distribution system commonly referred to as a transformer. This research uses a survey research design that ignores or does not change/modify any variables. The form of facts in the form of data needed to be able to identify a calculation includes the fact of a distribution transformer data and facts in the form of peak loading data (every 4 hours). Based on statistics, there are a total of 4 transformers consisting of three-phase transformers with a capacity (rating) of 20kVA. All transformer units operate at loads greater than 80%. from the analysis of the data presented 1. Predicted remaining life of distribution transformers that are loaded above 80% of the transformer capacity in Substations II and IV of Cilegon city, is 39.12 years. 2. From the calculation results, it is predicted that the service life of distribution transformers that are loaded above 80% of the transformer capacity at Krenceng Substations II and IV of Cilegon city is 39.12 or 20 years.

Keywords: *Transformers, Distribution, Service Life*

Abstrak. Power station, atau pusat pembangkit, menghasilkan listrik dan didistribusikan ke tingkat tegangan yang dibutuhkan melalui sistem distribusi listrik, hal ini biasanya terjadi dalam pengoperasian sistem listrik. Karena kondisi peralatan tenaga listrik yang ada dan memadai seharusnya keandalan dan kestabilan sistem sangat dijamin untuk memberi kenyamanan dalam pelayanan kepada konsumen. Salah satu sumber daya listrik yang sangat kuat yang telah digunakan adalah sistem distribusi tenaga listrik yang biasa disebut dengan transformator. Penelitian ini menggunakan desain penelitian survei yang mengabaikan atau tidak merubah/memodifikasi variabel apapun. Bentuk fakta berupa data yang dibutuhkan untuk bisa mengidentifikasi suatu perhitungan meliputi fakta sebuah data transformator distribusi dan fakta berupa data puncak (setiap 4 jam). sebuah transformator diatas adalah 20 tahun yang bisa diasumsikan bahwa umur pakai transformator tersebut adalah lebih dari 20 tahun sesuai dengan tabel 2.Berdasarkan statistik, total terdapat 4 trafo yang terdiri dari trafo tiga fasa dengan kapasitas (rating) 20kVA. Semua unit trafo beroperasi pada beban lebih besar dari 80%. Terlihat bahwa rugi-rugi umur trafo tetap normal atau berdampak minimal terhadap umur layanan trafo. Transformator dengan perkiraan sisa umur rata-rata lebih dari 20 tahun atau lebih masih memenuhi kriteria. dari analisis data yang disajikan 1. Prediksi sisa umur pakai transformator distribusi yang terbebani diatas 80% dari kapasitas transformator pada Gardu II dan IV kota Cilegon, adalah 39,12 tahun. 2. Dari hasil perhitungan, diprediksikan umur pakai transformator distribusi yang terbebani diatas 80% dari kapasitas transformator pada Gardu Krenceng II dan IV kota Cilegon adalah 39,12 atau 20 tahun.

Kata Kunci : Transformator, Distribusi, Umur Pakai

1. PENDAHULUAN

Power station, atau pusat pembangkit, menghasilkan listrik dan didistribusikan ke tingkat tegangan yang dibutuhkan melalui sistem distribusi listrik, hal ini biasanya terjadi dalam pengoperasian sistem listrik. Karena kondisi peralatan tenaga listrik yang ada dan memadai seharusnya keandalan dan kestabilan sistem sangat dijamin untuk memberi kenyamanan dalam pelayanan kepada konsumen. Salah satu sumber daya listrik yang sangat

kuat yang telah digunakan adalah sistem distribusi tenaga listrik yang biasa disebut dengan transformator.

Transformator yang merupakan salah satu mesin listrik, biasanya memiliki usia desain yang sudah ditetapkan oleh perusahaan manufaktur tersebut maka dari itu hal ini juga berfungsi untuk memastikan bahwa mesin listrik tersebut dapat berfungsi selama jangka waktu tertentu. Namun, sesuai dengan penggunaan di lapangan, usia transformator distribusi tersebut dapat berkurang atau bertambah dari desain awalnya.

Beberapa faktor dapat menyebabkan turunnya umur transformator. Faktor pembebanan, yang menyebabkan peningkatan suhu transformator, merupakan salah satu alasan mengapa usia penggunaan transformator berkurang. Panas mengurai bahan-bahan transformator, mempercepat penuaan. Terlalu banyak panas dapat mengubah sifat konstruksi elemen transformator. Umur akan berkurang dengan adanya peningkatan suhu yang berlebih di atas batas yang ditetapkan. Maka dari itu suhu harus dibatasi. Jika belitan transformator terkena suhu tinggi, isolasi pengantar (konduktor) akan menyebabkan kerusakan.

Penelitian ini berfokus pada akibat pembebanan lebih terhadap umur transformator distribusi dan cukup meneliti transformator distribusi pada transformator 2 dan 4 di gardu trafo krenceng.

Penelitian ini bermaksud untuk menghitung dua tujuan: pertama, menghitung berapakah sisa umur pemakaian transformator distribusi yang dibebani di atas 80% dari jumlah yang ditentukan transformator pada transformator 2 dan 4 di gardu trafo krenceng dan kedua, menghitung perkiraan umur pemakaian transformator distribusi yang dibebani di atas 80% dari jumlah yang ditetapkan transformator di gardu trafo krenceng. Penelitian ini diharapkan dapat membantu institusi dan lembaga Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, terutama jurusan Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, dalam mengembangkan pengetahuan tentang transformator. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lanjutan. Serta sebagai sumbangan pikiran atau saran untuk PT. Krakatau Tirta Industri sebagai penyedia air bersih.

2. KAJIAN LITERATUR

Transformator adalah perangkat listrik yang menggunakan prinsip induksi magnet untuk mentransfer energi listrik antar rangkaian. Transformator terkenal karena kemampuannya mengubah energi listrik antara tingkat tegangan yang berbeda.

Dengan menggunakan transformator yang mudah dan tahan lama, pengguna bisa melakukan pilihan tegangan yang tepat dan hemat biaya untuk segala keperluan. Ini juga

biasanya menjadi alasan utama mengapa arus AC (bolak-balik) sangat diminati untuk digunakan sebagai penyuplai dan penyaluran tenaga listrik.

Dalam bentuknya yang paling dasar, transformator terdiri dari dua kumparan yang dihubungkan secara magnetis melalui jalur induksi namun diisolasi secara elektrik satu sama lain. Induksi timbal balik, atau induksi timbal balik antara dua rangkaian yang digandeng oleh fluks magnet, adalah prinsip pengoperasiannya. Induktansi timbal balik kedua kumparan ini sangat tinggi. Fluks bolak-balik terjadi di dalam inti besi yang terhubung ke kumparan lainnya ketika salah satu kumparan digandeng dengan sumber tegangan bolak-balik.

Hal ini menghasilkan gaya gerak listrik yang sering disebut induksi elektromagnetik atau ggl, dan hukum Faraday yang menyatakan bahwa arus listrik mempunyai kemampuan untuk menginduksi atau disebabkan oleh medan magnet. Hal ini bisa terjadi diakibatkan karena adanya kumparan yang dialiri arus (AC) bolak-balik, yang mengakibatkan besaran gaya magnetnya berganti-ganti. Konsekuensinya, karena garis gaya magnet dari arah utama dapat bergantian, induksi terjadi pada sisi primer dan sekunder. Akibatnya, ada perbedaan tegangan antara kedua ujungnya.

Hitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya trafo jika dilihat dari sebuah sisi tegangan tinggi (primer) didapatkan sebuah rumus sebagai berikut :

$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$ (VA) (1) diketahui:

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (kV)

I = Arus (A)

Untuk menghitung suatu arus beban penuh, bisa dipakai rumus sebagai berikut:

$$I_{FL} = S / \sqrt{3 \cdot V} \cdot (\text{Ampere}) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

diketahui :

I_{FL} = Arus beban(A)

S = Daya suatu trafor (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Sistem Jaringan Distribusi

Masuknya PMT dari Gardu Induk (GI) ke alat penghitung dan pembatas (APP) pada instalasi konsumen merupakan permulaan dari sistem penyaluran tenaga listrik. Tugasnya adalah mengarahkan dan menyebarluaskan daya listrik dari gardu induk, yang berfungsi sebagai pusat beban, ke klien baik secara langsung atau melalui gardu distribusi berukuran sesuai yang memenuhi persyaratan layanan yang relevan.

Saat ini terdapat dua macam sistem distribusi: distribusi primer (disebut juga Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan distribusi sekunder (disebut juga Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

Struktur Distribusi Listrik

Gardu Induk

(GI) atau gardu induk terdiri atas pangkal saluran distribusi, transformator, peralatan perlindungan, kontrol, ujung transmisi dan subtransmisi. Gardu induk memberikan jaringan distribusi tenaga listrik. Gardu induk menggunakan tegangan menengah untuk melakukan dua fungsi: (i) mengubah tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau ke tegangan tinggi lainnya; dan (ii) mengukur, mengawasi operasi, dan mengatur dan melindungi sistem listrik. Gardu induk sangat penting untuk sistem tenaga listrik; tanpa mereka, transmisi daya tidak dapat dilakukan. Perhitungan yang tepat diperlukan untuk membangun gardu induk. Gardu induk yang dirancang dengan baik juga harus aman dan dapat diandalkan.

Gardu Distribusi

Gardu distribusi tenaga listrik merupakan suatu bangunan gardu listrik yang menerima tegangan menengah 20 kV dari saluran kabel atau saluran udara tegangan menengah.

Gardu distribusi, yang mengandung transformator distribusi, berfungsi sebagai daerah atau tempat pertemuan antara suatu jaringan primer dan jaringan sekunder. Maka dari itu, tegangan menengah (TM) berubah menjadi ketegangan rendah (TR).

Rancangan Dasar Mengenai Kehebatan Sistem Distribusi

Kehebatan umumnya diartikan sebagai momentum suatu alat atau sistem untuk bekerja dengan memberikan nilai lebih dalam keadaan tertentu dan dalam kurun waktu tertentu. Hal ini juga bisa disebut potensi, atau rasa kepastian karena suatu alat atau sistem akan bekerja sesuai yang diharapkan dalam keadaan tertentu dan selama rentang waktu tertentu.

Pada hal ini, bukan hanya kemungkinan kegagalan yang signifikan akan tetapi juga kuantitas, durasi, dan frekuensi kegagalan yang signifikan. Meskipun tingkat kepastian atau kemungkinan seperti itu tidak dapat diprediksi dengan pasti, hal itu masih dapat dianalisis dengan menggunakan logika secara ilmiah.

Sebenarnya trasnformator bisa lebih hebat jika pengguna menerapkan suatu perhitungan yang sesuai dan tepat sasaran, melakukan tata kelola dengan baik yang nantinya akan berpengaruh pada kontinuitas pelayanan terhadap pihak konsumen. Trasnformator distribusi juga merupakan suatu elemen yang terlibat penting dalam tupoksinya sebagai

distributor tenaga listrik terhadap konsumen, ada beberapa hal yang menjadi patokan untuk mempengaruhi kehebatan dan jangka waktu dipakai pada trafo, diantaranya sebagai berikut:

Pemilihan Transformator Distribusi

Dalam hal ini beban yang akan dilayani menentukan kapasitas kVA trafo distribusi. Presentasi pembebanan Trafo Distribusi diperkirakan lebih dari 80%.

Transformator distribusi biasanya mencapai rugi-rugi trafo minimum atau efisiensi maksimum. Ada tiga solusi yang tersedia jika beban trafo terlalu tinggi: penyisipan trafo, penggantian, atau mutasi. Ketika trafo yang melayani beban kecil dipindahkan ke beban yang lebih besar dan sebaliknya, hal ini disebut mutasi trafo. Modifikasi trafo dapat dilakukan apabila hasil pengukuran beban sudah dikumpulkan.

Rumus berikut dapat digunakan untuk perhitungan rating trafo distribusi yang dipilih.

$$\text{Rating} = \frac{(KVA \text{ Beban})}{0,8} \dots \dots \dots \quad (3)$$

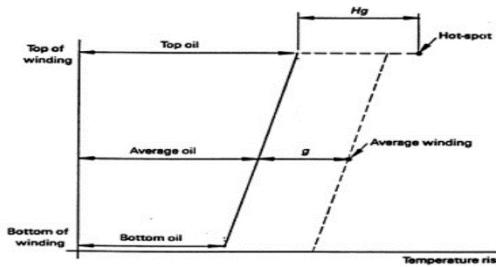
Susut Umur Pakai Transformator Distribusi

Penuaan adalah akibat dari penurunan kapasitas bahan isolasi yang disebabkan oleh panas. Ini adalah elemen utama yang membuatnya lebih sulit untuk menjaga trafo distribusi tetap beroperasi sepanjang masa pakainya. Dengan kata lain, beban akan menyebabkan belitan kumparan trafo menghasilkan panas tambahan, yang akan memperpendek umur trafo lebih awal dari sesuatu yang sudah ditetapkan.

Trafo yang menggunakan media pendingin air mempunyai suhu air maksimal 25 derajat Celcius. Trafo yang menggunakan media pendingin udara harus mempunyai suhu udara minimal 40 derajat Celcius; selain itu, suhu pemasangan di bagian luar tidak boleh lebih rendah dari -25 derajat Celcius, dan suhu pemasangan di dalam tidak boleh lebih rendah dari -5 derajat Celcius.

Dalam satu hari, suhu tidak naik di atas 30 derajat Celsius, kecuali pendingin udara. Diagram suhu langsung, seperti pada Gambar 1, dapat digunakan untuk menentukan kenaikan suhu. Karena merupakan gambaran sederhana dari distribusi yang lebih rumit, angka ini mudah dipahami. Tes kenaikan suhu digunakan untuk mengukur kenaikan suhu minyak bagian atas, bukan minyak yang keluar dari koil. Sumber minyak di bagian atas berkontribusi terhadap sebagian minyak yang bergerak di sepanjang kumparan. Namun perbedaan ini dianggap tidak cukup besar untuk mendukung metodologi tersebut. Pendekatan ini dibuat lebih sederhana dengan asumsi berikut: (i) Dari bawah ke atas, temperatur oli koil meningkat secara linier. (ii) Selisih konstan g antara dua garis lurus (g adalah selisih antara kenaikan suhu rata-rata minyak dan hambatannya) menunjukkan bahwa suhu minyak

meningkat secara linier dengan peningkatan tembaga. Selain itu, kenaikan suhu rata-rata puncak koil lebih kecil dibandingkan suhu hotspot.



Gambar 1. Diagram Thermal Trafo Distribusi

Sumber : Christov A. Lawalata,dkk, 2021

Pencarian isolasi akan bergerak lebih cepat jika suhu isolasi naik melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Khususnya suhu daerah yang panas. Dinyatakan dalam standar IEC 354 (SPLN 17 A: 1979) yang juga merupakan standar PLN saat ini, bahwa trafo akan berfungsi normal pada “suhu titik panas 98°C saat pembebanan yang berulang-ulang” (sekitar 20°C). Harapan hidup transformator mungkin lebih rendah dari yang diperkirakan jika suhu titik panasnya melebihi 98°C, karena hal ini akan menghasilkan umur yang lebih cepat dan lebih lama. Untuk metode pendinginan dan rentang suhu sekitar apa pun, standar IEC 354 menawarkan faktor beban berkelanjutan yang akan menghasilkan suhu titik panas 98°C. Hal ini memungkinkan untuk menentukan kemampuan pembebanan kontinyu menggunakan kriteria beban kontinyu yang bergantung pada suhu sekitar.

Tabel 1 Pembebanan yang di ijinkan pada temperatur sekitar yang berbeda

Ambient temperature (°C)	-25	-20	-10	0	10	20	30	40		
Hot-spot temperature rise (K)	123	118	108	98	88	78	68	58		
K ₂₄	Distribution	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Power	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
	transformator	OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

Sumber : Purnama Sigid, 2009

Berdasarkan SPLN, trafo Indonesia dibuat untuk beroperasi sepanjang tahun pada suhu antara 40 hingga 50 derajat Celcius. Komisi Elektroteknik Internasional (IEC) menyatakan bahwa sebuah transformator harus bertahan selama 20 tahun, atau 7300 hari, pada suhu kamar ketika dibebani hingga 100% dari nilai dayanya. Oleh karena itu, rata-rata kehilangan umur panjang harian adalah 0,0137%. Lihat tabel untuk mengetahui suhu daerah panas. Terdapat perbedaan pendapat di antara penelitian mengenai sejauh mana umur transformator dapat dikurangi pada suhu tertentu. Namun mereka setuju bahwa, pada kisaran 80 – 140°C,

laju penuaan transformator berlipat ganda setiap kenaikan suhu jika melewati batas yang sudah ditetapkan. Angka ini menjadi landasan penelitian.

Tabel 2 Hubungan kecepatan penuaan relatif (ζ), temp belitan (9) dan perkiraan umur trafo

9 ($^{\circ}$C)	ζ (p.u)	Perkiraan Umur (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

Sumber : Purnama Sigid, 2009

Hitungan Perkiraan Sisa Umur Transformator

Ketika beban nominal, suhu lingkungan referensi, dan kenaikan suhu kumparan berada di atas suhu biasanya (98°C), rumus Montsinger dapat digunakan untuk menentukan kecepatan relatif di setiap titik panas. Suhu titik panas menentukan nilai relatif masa pakai transformator yang dirancang sesuai dengan IEC 76 dan IEC 354. Hubungan suhu operasional ini menyebabkan peningkatan suhu hotspot dengan nilai 68 derajat Celcius atas nilai daya nominal transformator.

ζ Rumus Mountsinger dapat digunakan untuk memperkirakan kecepatan proses penuaan relatif transformator sebagai berikut:

$$\zeta = 2^{(\vartheta - 98)/6} \dots \quad (4)$$

Diketahui :

ζ = Cepat penuaan relatif

9 = Suhu belitan elemen terpanas

98 °C = Suhu sebagian dasar desain pada usia normal (20-30 tahun).

Perhitungan Mountsinger ini bisa digunakan dengan suhu 140 °C.

Untuk perhitungan pengurangan umur, persamaan yang diberikan adalah dengan menetapkan besaran suatu susut umur adalah sebagai berikut :

$t_1 = \text{lamanya pembebangan trato pada temp belitan}$ 91

t_2 = lamanya pembebanan trafo pada temp belitan 92

ζ_1 = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan 91

ζ_2 = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan 92

Menentukan pola pembebanan harian merupakan suatu tantangan, mengingat pembebanan trafo berfluktuasi tiap-tiap harinya dapat berubah (tidak konsisten). Hasilnya, penyelidikan ini menemukan bahwa pola pemuatan harian konsisten.

Kajian ini cukup mempertimbangkan dampak penurunan pada belitan isolasi; konsekuensi tambahan tidak dipertimbangkan.

$$\text{Perkiraan sisa umur} = \frac{(\text{Umur dasar}) - n}{(\% \text{Susut umur 24 jam})} \quad \dots(6)$$

Diketahui :

n = waktu transformator berfungsi(tahun).

3. METODE PENELITIAN

Trafo distribusi yang terletak di gardu II dan IV menjadi fokus penelitian yang dilakukan di gardu II dan IV pada PT. KTI Krenceng. Penelitian ini menggunakan desain penelitian survei yang mengabaikan atau tidak merubah/memodifikasi variabel apapun.

Bentuk fakta berupa data yang dibutuhkan untuk bisa mengidentifikasi suatu perhitungan meliputi (i) fakta sebuah data transformator distribusi; dan (ii) fakta berupa data pembebanan puncak (setiap 4 jam).

Perhitungan atau analisa umur trafo distribusi pada gardu trafo ini memakai standar IEC 354 yang juga merupakan ketetapan PLN sekarang (SPLN 17 A: 1979). Untuk menganalisis temuan penelitian ini, variabel-variabel berikut digunakan:

Tabel 3 Jenis variabel analisis

No	Variabel	Simbol	Satuan
1	Beban trafo	P _L	kVA
2	Presentasi beban trafo	-	%
3	Temperatur belitan	(θ)	°C
4	Susut umur 24 jam	ζ	p.u
5	Prediksi umur trafo	-	tahun

Sumber : H.L. Latupeirissa, 2017

Untuk menganalisis masa pakai trafo distribusi, harus dilakukan langkah-langkah sebagai berikut: pertama, nilai daya beban, tekanan keluaran, dan sebuah arus beban transformator distribusi harus dihitung; kedua, presentase penyajian error seumur hidup transformator distribusi harus dihitung; ketiga, hilangnya umur layanan harus dihitung; keempat, sisa masa manfaat harus dihitung; kelima, perkiraan umur layanan harus dihitung; dan akhirnya, kesimpulan harus dibuat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian didapatkan Pada dua dari empat trafo arus, trafo distribusi dengan tipe gardu trafo portal akan digunakan untuk keperluan penelitian ini, dan bebannya lebih besar dari 80%. Lokasi Gardu Induk PT. KTI Krenceng Cilegon, merupakan tempat seluruh trafo

tersebut berada. Untuk melakukan perhitungan, diperlukan data masukan dari 4 trafo distribusi yang diteliti sebagai berikut:

1. Data Trafo

- Trafo :3 Phasa
- Type Pendingin :ONAN
- Tegangan Inputan :20kV

2. Data Suhu

Pada penelitian ini, suhu sekitar atau lingkungan yang digunakan adalah 30°C. Ini karena temperatur rata-rata harian di Cilegon adalah antara 30°C-33°C.

3. Data Pembebanan

Dua trafo distribusi yang dijadikan sebuah objek penelitian memiliki data pembebanan sebagai berikut :

Tabel 4 Data Pembebanan

NO	Gardu	Alamat Lokasi	Tahun Operasi	Rating (kVA)
1	Gardu II Plant Krenceng	Plant Krenceng	2013	222
2	Gardu IV Plant Krenceng	Plant Krenceng	2013	112

Pembahasan

Ketetapan IEC 354 yang sama dengan ketetapan PLN terkini (SPLN 17 A: 1979) dipakai untuk perhitungan. Standar ini menyatakan bahwa transformator akan beroperasi secara normal pada "suhu titik panas 98°C pada beban 100% dari nilai pengenal" dan suhu sekitar 20°C. Penelitian ini mengacu pada suhu belitan sekitar 30°C karena suhu lingkungan pada umumnya di Cilegon adalah 30°C.

$$\frac{91\%}{98^\circ\text{C}} = \frac{100\%}{\theta^\circ\text{C}} \gg \theta = \frac{98^\circ\text{C} \times 100\%}{91\%}$$

$$= \frac{98^\circ\text{C}}{0,91} = 107,69 \approx 107,7^\circ\text{C}$$

Apabila terjadi pembebanan 4 jam maka beban siang hari diikuti beban luar puncak (LBP) 4 jam dan beban 4 jam. Berikut perhitungan masa manfaat trafo yang dijadikan objek kajian.

1. Gardu II dan IV

a. Data Trasnformator

- Tempat : Plant
Krenceng
- Merk Trafo : TRAFINDO
- Kapasitas : 20kV

Tegangan Input : 20kV
 Model Pendingin : ONAN

b. Data Pembebanan

Gardu II : 222 kVA
 Gardu IV : 112 kVA

c. Perhitungan

- Suhu Belitan

- Beban selama 4 jam trafo II :

$$\begin{aligned} \text{Suhu lilitan } (\vartheta) &= \% \text{ kVA} \times \text{suhu lilitan} \text{ maka didapatkan nilai pembebanan } 100\% \\ &= (13,9\% \times 107,7^\circ\text{C}) \\ &= 14,97^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka, (i) % kVA = 13,9 % dan (ii) suhu lilitan dapat bernilai pada pembebanan 100 % = 107,7 °C.

- Beban selama 4 jam trafo IV :

$$\begin{aligned} \text{Suhu lilitan } (\vartheta) &= \% \text{ kVA} \times \text{suhu lilitan} \text{ mendapatkan nilai pembebanan } 100\% \\ &= (7,0\% \times 107,7^\circ\text{C}) \\ &= 7,53^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka, (i) % kVA = 7,0 % dan (ii) suhu lilitan dapat bernilai pada pembebanan 100 % = 107,7 °C. Jadi diperkirakan nilai lilitan sebuah trafo tersebut pada saat adanya arus beban dalam waktu 4 jam dengan suhu 14,97 °C dan selama 4 jam pada trafo 4 dengan suhu 7,53 °C

- Susut Umur Selama 4 jam

Perkiraan perhitungan susut umur selama 4 jam, didasarkan karena adanya kenaikan suhu lilitan ϑ (°C) dihitung menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 sebagai berikut :

- Kecepatan penuaan relatif (ζ)

Luar Beban Puncak (4 jam)

$$\begin{aligned} \zeta &= 2(9-98)/6 = 2(14,97-98)/6 = 0,068 \text{ p.u} \\ \text{diketahui, suhu lilitan } (\vartheta) &= 14,97^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Beban Puncak (4 jam)

$$\begin{aligned} \zeta &= 2(9-98)/6 = 2(7,53-98)/6 = 0,0029 \text{ p.u} \\ \text{diketahui, suhu lilitan } (\vartheta) &= 7,53^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- Perkiraan susut umur selama 4 jam

$$\begin{aligned} \text{Susut umur (4 jam)} &= (t_1 \times \zeta_1) + (t_2 \times \zeta_2) = (4 \text{ jam} \times 0,068 \text{ p.u}) + (4 \text{ jam} \times 0,0029 \text{ p.u}) = 0,2836 \text{ atau setara dengan } 17,06 \text{ menit, atau } 17,06/4 = 4,26\% \end{aligned}$$

- Sisa Umur Trafo

Perkiraan sisa umur Trafo bisa dihitung menggunakan suatu persamaan 3.3 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Perkiraan Sisa Umur} &= \frac{(\text{Umur Dasar}) - n}{(\% \text{ Susut umur } 24 \text{ jam})} \\ \text{Sisa umur} &= \frac{20 - (2023 - 2013)}{4,26\%} = 234,74 \approx 235 \frac{\text{tahun}}{\text{Menit}} \text{ selama 4 jam} \end{aligned}$$

$$\text{Sisa umur} = \frac{10}{4,26\% \times 6} = 39,12 \approx 40 \text{ tahun}$$

Hitungan sisa umur pakai pada 2 trafo yang dibebani 80÷100% pada Gardu II dan IV, bisa diakses pada tabel 5.

Hasil perkiraan pada sisa umur pakai sebuah transformator diatas adalah 20 tahun yang bisa diasumsikan bahwa umur pakai transformator tersebut adalah lebih dari 20 tahun sesuai dengan tabel 2.

Berdasarkan statistik, total terdapat 4 trafo yang terdiri dari trafo tiga fasa dengan kapasitas (rating) 20kVA. Semua unit trafo beroperasi pada beban lebih besar dari 80%. Tabel 5 menampilkan hasil perhitungan yang dilakukan pada trafo dengan beban 80-100%. Terlihat bahwa rugi-rugi umur trafo tetap normal atau berdampak minimal terhadap umur layanan trafo. Transformator dengan perkiraan sisa umur rata-rata lebih dari 20 tahun atau lebih masih memenuhi kriteria.

Tabel 5 perkiraan sisa umur pakai trafo dengan beban 80÷100%

No	Gardu	Alamat	Lokasi	Merk	Rating kVA	Tahun Operasi	Perkiraan sisa umur (Tahun)
1	II	Plant Krenceng	Gardu II Ruang Produksi	SCHORCH	222	2013	39,12
2	IV	Plant Krenceng	Gardu IV Ruang Produksi	TRAFINDO	112	2013	

PENUTUP

Pengaruh beban terhadap umur pelayanan trafo distribusi pada Gardu Induk Krenceng II dan IV Kota Cilegon dapat disimpulkan dari analisis data yang disajikan pada bab sebelumnya dengan cara sebagai berikut: 1. Prediksi sisa umur pakai transformator distribusi yang terbebani diatas 80% dari kapasitas transformator pada Gardu II dan IV kota Cilegon, adalah 39,12 tahun. 2. Dari hasil perhitungan, diprediksikan umur pakai transformator distribusi yang terbebani diatas 80% dari kapasitas transformator pada Gardu Krenceng II dan IV kota Cilegon adalah 39,12 atau > 20 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyandi, O., Hardi, S., & Rohana, R. (2022). Perencanaan gardu hubung ditinjau dari aspek teknis drop tegangan untuk perbaikan sistem kelistrikan Kota Medan. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 6(1), 1–8.
- Arismunandar, & Kuwahara. (1979). *Teknik tenaga listrik* (Jilid III). Pradnya Paramita.
- Badaruddin, B., & Firdianto, F. A. (2016). Analisa minyak transformator pada transformator tiga fasa di PT X. *Jurnal Teknologi Elektro*, 7(2), 141–165.
- De Leon, F., Gómez, P., Martinez-Velasco, J. A., & Rioual, M. (2017). Transformers. In *Power system transients* (pp. 177–250). CRC Press.
- Gunawan, S. M., & Sentosa, J. (2013). Analisa perancangan gardu induk sistem outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. *Dimensi Teknik Elektro*, 1(1), 37–42.
- Kadir, A. (1991). *Transformator*. Pradnya Paramita.
- Kang, M., Enjeti, P. N., & Pitel, I. J. (1999). Analysis and design of electronic transformers for electric power distribution system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 14(6), 1133–1141.
- Lakervi, E., & Holmes, E. J. (1995). *Electricity distribution network design* (No. 212). IET.
- Manopo, K. G., Tumaliang, H., & Similang, S. (2022). Analisis indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan SAIFI dan SAIDI pada PT. PLN (Persero) Area Minahasa Utara. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 11(2), 33–40. (*Silakan lengkapi volume/halaman jika berbeda*)
- Prayoga, A., & E. M. S. (2002). *Teknik tenaga listrik* (No. 0806365412).
- Purnama, S. (2009). *Analisa pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator tenaga* [Skripsi, Universitas Diponegoro].
- Soeroso, B., Rindengan, Y. D., & Patras, L. S. (2016). Identifikasi gardu distribusi tenaga listrik di Kota Manado berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 5(1), 21–27.
- SPLN-17. (1979). *Pedoman pembebanan transformator terendam minyak*. PLN.
- Sumanto. (1991). *Teori transformator*. Andi Offset.
- Zuhal. (1994). *Ketenagaan listrik Indonesia*. Institut Teknologi Bandung.