

Analisis Pembebanan dan Ketidakseimbangan Beban pada Penentuan Susut Umur Transformator Distribusi

Anggy Eri Sodilesmana¹, Nasrulloh², Rizki Noor Prasetyono³

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Peradaban Bumiayu
anggyeri1@gmail.com

Article Info

Article history:

Received: 11 Agustus 2021

Received in revised form: 25 September 2021

Accepted: 06 Oktober 2021

Available online: November 2021

Keywords:

Load Imbalance,
Load Transformer,
Age Shrinkage,
Remaining Life

Kata Kunci:

Ketidakseimbangan Beban,
Pembebanan Transformator,
Susut Umur,
Sisa Umur

ABSTRACT

THE EFFECT OF LOADING AND UNBALANCED LOAD ON DETERMINATION OF LIFE LOSS OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS. Transformer life can be reduced due to several things. One of the causes of reduced age is loading. Loading causes an increase in the temperature of the transformer. The aging of this insulation is so fast if the insulation operates in temperatures that exceed the permissible limits, namely at a Hot Spot temperature of 98°C. If a transformer experiences a Hot Spot temperature of 98°C, then its life shrinkage will be so fast that it can reduce the expected life of the transformer. The type of research used is descriptive quantitative research to describe the effects of loading on the transformer. From the results of the study, the percentage of unbalance transformer loads with 100 kVA and 200 kVA TRAFINDO brands did not meet the standards because the percentage value was more than 20%. The results of the analysis of the calculation of life loss and the remaining life of all transformers that are burdened above 80% are still normal or have little effect on the life of the transformer and the estimated remaining life is still above 20 years. So, all transformers operating at PT. PLN (Persero) Rayon Bumiayu is still by the standard.

Umur transformator dapat berkurang akibat beberapa hal. Salah satu penyebab berkurangnya umur adalah pembebanan. Pembebanan mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator. Penuaan isolasi ini begitu cepat apabila isolasi tersebut beroperasi dalam suhu yang melampaui dari batas yang diizinkan yaitu pada suhu Hot Spot 98°C. Apabila suatu transformator mengalami suhu Hot Spot 98°C, maka susut umurnya akan begitu cepat sehingga dapat mengurangi umur transformator yang diharapkan. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kuantitatif untuk mendeskripsikan peristiwa pengaruh pembebanan pada transformator. Dari hasil penelitian presentase ketidakseimbangan beban transformator dengan daya 100 kVA dan 200 kVA merk TRAFINDO belum memenuhi standar karena nilai presentase lebih dari 20%. Adapun hasil analisa perhitungan susut umur dan sisa umur semua transformator yang terbebani diatas 80% susut umur masih normal atau tidak banyak berpengaruh pada umur pemakaian transformator dan perkiraan sisa umur masih diatas 20 tahun semua. Jadi, semua transformator yang beroperasi di PT. PLN (Persero) Rayon Bumiayu tersebut masih sesuai dengan standar.

Corresponding author:

Nasrulloh

Universitas Peradaban

Jalan Raya Pagojengan Km.3 Bumiayu Kab. Brebes 52276

E-mail addresses: arul.ste@gmail.com

1. Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen [1]. PLN (Persero) Rayon Bumiayu dari tahun ke tahun mengalami perkembangan yang sangat pesat. Seiring dengan perkembangan tersebut pertambahan jumlah pelanggan baik rumah tangga, rumah sakit, maupun instansi harus diperhatikan kualitas dan kuantitasnya serta keandalannya. Dalam operasi sistem tenaga listrik, keandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik sangat penting agar dapat memberi kenyamanan dalam pelayanan kepada konsumen. Hal ini dapat terpenuhi dengan memperhatikan dan mengecek kondisi peralatan-peralatan tenaga listrik yang ada. Salah satu peralatan tenaga listrik yang sangat penting dalam operasi sistem tenaga listrik salah satunya adalah transformator.

Penyaluran tenaga listrik baik di jaringan transmisi maupun distribusi, transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal dan terus menerus. Tidak hanya menyediakan tenaga listrik, PLN juga dituntut untuk mendesain jaringan distribusi tenaga listrik secara seimbang. Tetapi kenyataannya saluran distribusi tenaga listrik seringkali mengalami ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban terjadi karena salah satu atau semua fasa besar nilai arus dan tegangannya berbeda dan juga terjadi karena adanya arus netral pada transformator.

Peralatan sistem tenaga listrik seperti transformator distribusi memiliki umur desain yang sudah ditentukan oleh perusahaan manufaktur sehingga dapat beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Namun sejalan dengan pemakaian dan kondisi dilapangan, umur transformator tersebut dapat berkurang atau bertambah dari umur desainnya. Umur transformator dapat berkurang akibat beberapa hal. Salah satu penyebab berkurangnya umur penggunaan transformator adalah pembebanan. Pembebanan dapat mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator. Panas yang timbul mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan. Terjadinya panas yang terlalu tinggi akan dapat merubah sifat konstruksi bagian-bagian transformator. Setiap kenaikan sekitar 6°C dari batas yang diizinkan akan mengakibatkan berkurangnya umur [2].

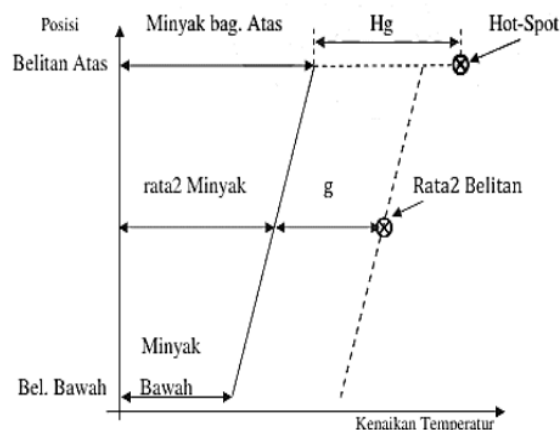
Penuaan isolasi ini akan begitu cepat apabila isolasi tersebut beroperasi dalam suhu yang melampaui dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah Hot Spot). Menurut standar IEC 354, sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi suhu Hot Spot 98°C pada pembebanan yang terus menerus. Apabila transformator tersebut mengalami suhu Hot Spot yang melampaui dari 98°C , maka dapat mempercepat proses penuaan dan susut umurnya akan begitu cepat sehingga dapat mengurangi umur transformator yang tidak diharapkan [3].

Penggunaan yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik [4]. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step-down 20 kV/400V 3 fasa dan satu fasa, dan ada juga yang menggunakan 3 buah transformator satu fasa. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada tegangan rendahnya dibuat diatas 380V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380V [5].

Ketidakseimbangan beban merupakan suatu keadaan dimana salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Perbedaan tersebut bisa dilihat dari nilai besarnya arus atau tegangan dan sudut dari masing-masing fasa dari transformator tersebut. Tiap-tiap fasa transformator dinyatakan dalam keadaan seimbang apabila memenuhi syarat sebagai berikut, (a) ketiga vektor arus dari masing-masing fasa (R,S,T) mempunyai nilai yang sama besar dan (b) Perbedaan sudut dari ketiga vektor fasa adalah masing-masing sebesar 120° [6]. Menurut standar IEEE 446-1995 dimana untuk standar ketidakseimbangan beban nilai presentase 5% sampai 20% apabila nilai presentase ketidakseimbangan beban melebihi dari 20% maka tidak sesuai dengan standar [7].

Penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas disebut penuaan (aging). Hal ini merupakan faktor utama yang membatasi kemampuan mempertahankan perkiraan umur dari transformator distribusi. Dengan kata lain, akibat adanya pembebanan lebih akan menimbulkan panas pada lilitan kumparan transformator sehingga pada suatu saat akan menurunkan umur transformator (penyusutan umur) dari yang diharapkan. Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka temperatur air tidak boleh lebih dari 25°C , sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka temperatur udaranya tidak boleh lebih dari 40°C serta tidak boleh dibawah -25°C untuk pemasangan luar dan -5°C untuk pemasangan dalam [8].

Sebagai tambahan untuk pendinginan dengan udara, temperturnya tidak melebihi rata-rata 30°C untuk satu hari. Kenaikan temperatur dapat diasumsikan dengan diagram temperatur sederhana seperti pada gambar 2.1 merupakan diagram penyederhanaan dari distribusi yang lebih rumit, dan dapat dijelaskan bahwa kenaikan temperatur minyak bagian atas yang diukur selama pengujian kenaikan temperatur, berbeda dengan minyak yang meninggalkan kumparan. Minyak pada bagian atas adalah campuran sebagian dari minyak yang bersirkulasi sepanjang kumparan. Tetapi perbedaan ini tidak dipertimbangkan dengan cukup signifikan untuk memvalidasi metode. Adapun metode dari gambar 1.1 yang telah disederhanakan sebagai asumsi yang telah dibuat dapat dijelaskan sebagai berikut (1) Temperatur minyak didalam kumparan bertambah secara linear dari bawah ke atas. (2) Kenaikan temperatur rata-rata dari tembaga pada setiap posisi diatas kumparan meningkat secara linear sejalan kenaikan temperatur minyak yang mempunyai selisih konstan g antara dua garis lurus (g adalah selisih antara kenaikan temperatur rata-rata tahanan dan kenaikan temperatur rata-rata minyak). (3) Kenaikan temperatur hot spot adalah lebih tinggi dibanding kenaikan temperatur rata-rata puncak kumparan.



Gambar 1.1 Model Thermal Transformator

Pemburukan isolasi akan semakin cepat apabila isolasi tersebut bekerja dengan temperatur yang melebihi dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah temperatur hot spot). Menurut standar IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini [10], sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi “temperatur hot spot 98° C pada pembebanan terus menerus” dengan temperatur sekitar (ambient temperature) 20° C. Apabila transformator tersebut mengalami temperatur hot spot yang lebih besar dari 98° C, susut umurnya akan semakin cepat (besar) sehingga dapat memperpendek umur dari yang diharapkan [9].

Standar IEC 354 memberikan faktor pembebanan terus menerus yang akan menghasilkan temperatur hot spot 98° C dari berbagai temperatur atau kondisi lingkungan di area tempat pemasangan transformator dan untuk setiap jenis pendinginan pada transformator, sehingga memungkinkan untuk dapat menghitung kemampuan pembebanan yang terus menerus berdasarkan temperatur sekitar.

Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40° C dan pada temperatur rata-rata harian 30° C serta temperatur rata-rata tahunan 30° C. IEC menetapkan bahwa umur transformator berkisar 20 tahun atau setara 7300 hari apabila dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada temperatur sekitar 20° C, sehingga susut umur normal adalah 0.0137% per hari. Berbagai peneliti belum sepenuhnya sependapat mengenai susut umur transformator di temperatur tertentu. Tetapi mereka setuju bahwa selama rentang 80÷140° C laju penuaan transformator mengganda untuk setiap 6° C kenaikan temperatur dan nilai ini digunakan sebagai dasar penelitian [10].

Berdasarkan dari latar belakang diatas untuk mengetahui ketidakseimbangan beban serta susut umur dan sisa umur pada transformator distribusi akibat pembebanan perlu adanya studi analisa untuk mengetahui susut umur dan sisa umur.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Rayon Bumiayu. Jenis rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Survey Research (penelitian survei), dimana tidak dilakukan perubahan atau tidak ada perlakuan khusus terhadap variabel yang diteliti [11], [12].

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan dalam penelitian ini yaitu data spesifik transformator distribusi dan data pembebanan transformator distribusi pada siang hari dan malam hari. Dimana untuk memperoleh data pembebanan dilakukan pengukuran secara langsung pada transformator tiga fasa dengan daya 100 kva dengan merk SINTRA, TRAFINDO, 160 kva dengan merk SINTRA dan daya 200 kva dengan merk B&D, TRAFINDO yang berada di wilayah Bumiayu. Pengukuran beban menggunakan alat tang ampere untuk mengetahui beban transformator pada fasa R, S, T.

Adapun tahapan yang dilakukan dalam menganalisis data dalam penelitian ini antara lain :

2.1. Menghitung nilai beban penuh dan presentase pembebanan transformator distribusi pada siang hari dan malam hari.

Daya transformator apabila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) sesuai dengan persamaan 2.1 [13]:

$$S = \sqrt{3}V.I \quad (2.1)$$

Dimana :

S : Daya Transformator (kVA)

V : Tegangan sisi primer transformator (kV)

I : Arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus 2.2:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}.V} \quad (A) \quad (2.2)$$

Dimana :

I_{FL} : Arus beban penuh (A)

S : Daya transformator (kVA)

V : Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

2.2. Menentukan nilai dan presentase ketidakseimbangan beban transformator pada siang hari dan malam hari.

Adapun untuk mencari nilai ketidakseimbangan untuk fasa R, S dan T pada transformator dapat dapat dicari dengan persamaan 2.3, 2.4 dan 2.5 [13] :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} \quad (2.3)$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I} \quad (2.4)$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I} \quad (2.5)$$

Untuk mengetahui presentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Rata-rata} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (2.6)$$

2.3. Menghitung Susut Umur dan Perkiraan Sisa Umur Transformator Distribusi.

Metode Montsinger digunakan untuk memperoleh kecepatan relatif pada tiap titik panas diatas suhu normal (98°C) pada beban nominal serta suhu lingkungan acuan serta peningkatan suhu kumparan. Untuk desain transformator berdasarkan standar IEC 76 dan IEC 354, nilai relatif dari umur pemakaian tergantung pada suhu titik panas. Hubungan suhu ini terhadap operasi dalam suhu sekitar 30°C pada nilai daya nominal transformator memberikan kenaikan suhu titik panas sebesar 98°C.

Pada transformator, kecepatan proses penuaan relatif itu secara pendekatan dapat dinyatakan dengan rumus montsinger sebagai berikut [14]:

$$\zeta = 2^{\frac{\vartheta - 98}{6}} \quad (2.7)$$

Dimana :

ζ : Kecepatan penuaan relatif

ϑ : Temperatur belitan bagian terpanas (*hot spot*)

98°C : Temperatur sebagai dasar desain untuk umur yang ajar (20-30 tahun)

Dalam menghitung pengurangan umur diberikan persamaan untuk dapat menentukan besarnya susut umur yaitu sebagai berikut [6], [15]:

$$\text{Susut Umur (24 jam)} = (t_1 \times \zeta_1) + (t_2 \times \zeta_2) \quad (2.8)$$

Dimana :

t_1 : waktu pembebanan trafo pada temperatur belitan ϑ_1

t_2 : waktu pembebanan trafo pada temperatur belitan ϑ_2

ζ_1 : kecepatan penuaan relatif pada temperatur belitan ϑ_1

ζ_2 : kecepatan penuaan relatif pada temperatur belitan ϑ_2

Karena pembebanan transformator berubah-ubah setiap harinya atau tidak kontinyu sehingga sulit menentukan pola pembebanan harinya, maka dalam penelitian ini diasumsikan pola pembebanan hariannya sama [16],[17]. Perhitungan perkiraan umur transformator pada penelitian ini hanya memperhitungkan pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain.

$$\text{Perkiraan sisa umur} = \frac{(\text{umur dasar}) - n}{(\% \text{ susut umur 24 jam})} \quad (2.9)$$

Dimana :

n : Lama waktu trafo telah beroperasi (tahun)

3. Hasil dan Pembahasan

Transformator distribusi yang akan dijadikan sebagai obyek penelitian adalah transformator tiga fasa berjumlah 6 unit dengan daya 100 kVA di lokasi Jatisawit dan Bumiayu, 160 kva di lokasi Jatisawit dan daya 200 kva di lokasi Bumiayu dan Dukuhturi yang berada di wilayah PT. PLN (Persero) Rayon Bumiayu. Pengambilan data dilakukan siang dan malam seperti pada gambar 3.1 dan gambar 3.2. Temperatur rata-rata harian daerah Bumiayu sekitar 27°C - 32°C berdasarkan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) serta perkiraan cuaca atau *Accuweather*. Oleh karena itu pada penelitian ini suhu sekitar (*ambient temperature*) yang digunakan adalah 30°C. Oleh karena itu pada penelitian ini suhu sekitar (*ambient temperature*) yang digunakan adalah 30°C. Data suhu sekitar (*ambient temperature*) yang digunakan diambil berdasarkan tabel 2.3 yaitu pada suhu sekitar 30°C suhu belitan transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN akan mencapai 98°C pada faktor pembebanan 0,91 (91%) dari rating daya transformator [18],[6]. Maka dapat dinyatakan bahwa pada suhu sekitar 30°C, suhu belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100% dari rating daya transformator adalah 107.7°C.



Gambar 3.1 Pengambilan data Pembebanan Siang Hari



Gambar 3.2 Pengambilan data Pembebanan pada Malam Hari

Adapun untuk keseluruhan hasil perhitungan beban penuh dan presentase pembebanan transformator pada siang hari dan malam hari dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Hasil perhitungan beban penuh dan presentase pembebanan transformator siang dan malam hari

Trafo	Lokasi	Daya (kVA)	Pembebanan			
			Siang		Malam	
			kVA	%	kVA	%
1	Jatisawit	100	81,2	81,54	83,13	83,14
2	Jatisawit	100	76,67	76,67	82,22	82,22
3	Bumiayu	100	75,75	75,75	81,52	81,52
4	Jatisawit	160	110,38	69,99	130,02	81,26
5	Bumiayu	200	69,28	34,64	88,21	44,10
6	Dukuhturi	200	57,04	28,51	80,83	40,41

Dari tabel 3.1 untuk nilai beban penuh transformator pada siang hari dan malam hari dapat dijelaskan pada transformator dengan daya 100 kVA dan 160 kVA terbebani diatas 70% dan untuk transformator dengan daya 200 kVA terbebani kurang dari 50%. Berdasarkan hasil perhitungan presentase ketidakseimbangan beban transformator pada siang hari dan malam hari dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Hasil perhitungan presentase ketidakseimbangan beban pada siang dan malam hari

Trafo	Lokasi	Daya (kVA)	Ketidakseimbangan	
			Siang (%)	Malam (%)
1	Jatisawit	100	27	10,67
2	Jatisawit	100	7	4,33
3	Bumiayu	100	3,67	3,33
4	Jatisawit	160	3,33	12
5	Bumiayu	200	10	8,67
6	Dukuhturi	200	6,33	24,33

Untuk hasil penelitian presentase ketidakseimbangan beban transformator pada siang hari dan malam hari pada tabel 3.2 dapat dijelaskan bahwa daya 100 kVA nilai presentase ketidakseimbangan beban belum sesuai dengan standar karena nilai ketidakseimbangan beban pada siang hari melebihi dari 20% dengan presentase sebesar 27%. Dimana untuk dua transformator dengan daya 100 kVA serta transformator dengan daya 160 kVA nilai presentase ketidakseimbangan beban semuanya sesuai dengan standar. Transformator dengan daya 200 kVA nilai presentase ketidakseimbangan beban masih sesuai dengan standar. Transformator dengan daya 200 kVA di lokasi Dukuhturi nilai presentase ketidakseimbangan beban pada malam hari masih belum memenuhi standar karena melebihi dari 20% dengan presentase sebesar 24.33%.

Perhitungan dilakukan dengan mengacu pada standar IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini [10], [19] sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi temperatur hot spot 98°C pada pembebanan 100% dari rating pengenalan, dengan temperatur sekitar (*ambient temperature*) 20°C. Untuk pembebanan selama satu hari (24 jam) diasumsikan 20 jam diluar beban puncak (LBP) mengikuti beban siang dan 4 jam pada beban puncak (BP) mengikuti beban malam. Transformator distribusi yang akan dilakukan analisa perhitungan susut umur dan sisa umur adalah pada transformator yang terbebani diatas 80% [20]. Setelah dilakukan perhitungan beban penuh transformator pada siang hari dan malam hari terdapat 4 buah transformator yang terbebani diatas 80% dari 6 buah transformator sesuai dengan table 3.3.

Tabel 3.3. Transformator yang terbebani diatas 80%

Trafo	Lokasi	Daya (kVA)	Pembebanan			
			Siang		Malam	
			kVA	%	kVA	%
1	Jatisawit	100	81,2	81,54	83,13	83,14
2	Jatisawit	100	76,67	76,67	82,22	82,22
3	Bumiayu	100	75,75	75,75	81,52	81,52
4	Jatisawit	160	110,38	69,99	130,02	81,26

Berdasarkan hasil keseluruhan perhitungan perkiraan sisa umur transformator dapat dilihat tabel 3.4 berikut :

Tabel 3.4 Hasil analisa perhitungan susut umur dan perkiraan sisa umur transformator

Trafo	Lokasi	Beban Temperatur Belitan				Perkiraan Susut Umur			Perkiraan Sisa Umur
		Siang		Malam		LBB (p.u)	BP (p.u)	Satu Hari (jam)	
		%	°C	%	°C				
1	Jatisawit	81,54	87,80	83,14	89,54	0,30	0,37	7,48	45 Tahun
2	Jatisawit	76,67	82,58	82,22	88,60	0,16	0,33	4,52	90 Tahun
3	Bumiayu	75,75	81,58	81,52	87,80	0,15	0,30	4,2	97 Tahun
4	Jatisawit	69,99	74,30	81,26	87,52	0,06	0,29	2,36	173 Tahun

Adapun untuk analisa perhitungan susut umur dan sisa umur semua transformator yang terbebani diatas 80% pada tabel 3.4 susut umur masih normal atau tidak banyak berpengaruh pada umur pemaikaian transformator dan perkiraan sisa umur masih diatas 20 tahun semua. Jadi, semua transformator yang beroperasi di PT. PLN (Persero) Rayon Bumiayu tersebut masih sesuai dengan standar.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa nilai beban penuh transformator pada siang hari dan malam hari dapat dijelaskan pada transformator dengan daya 100 kVA dan 160 kVA terbebani diatas 70% dan untuk transformator dengan daya 200 kVA terbebani kurang dari 50%. Presentase ketidakseimbangan beban transformator pada siang hari dan malam hari transformator dengan daya 100 dan 200 kVA merk TRAFINDO nilai presentase ketidakseimbangan beban belum sesuai dengan standar karena nilai ketidakseimbangan beban melebihi dari 20%. Perhitungan susut umur dan sisa umur semua transformator yang terbebani diatas 80% susut umur masih normal atau tidak banyak berpengaruh pada umur pemaikaian transformator dan perkiraan sisa umur masih diatas 20 tahun semua. Jadi, semua transformator yang beroperasi di PT. PLN (Persero) Rayon Bumiayu tersebut masih sesuai dengan standar.

Daftar Pustaka

- [1] Reksa Alviona (2014). Analisa Perbaikan Susut Daya Pada Jaringan Distribusi Sekunder Melalui Penyulang Gatot Kaca Rayon Sukarni. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [2] Gultom Parlindungan (2018). Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 kV Akibat Pembebanan Lebih Di PT. PLN (PERSERO) Kota Pontianak. Universitas Tanjungpura.
- [3] M. A. Muzar, Syahrizal and M. Syukri (2018). Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro. Universitas Syiah Kuala. Jurnal Online Teknik Elektro e-ISSN 2252-7036 Vol.3 No.2 2018: 1-8.
- [4] Kodoati Alvian Krestovel (2015). Analisa Perkiraan Umur Transformator. UNSRAT. E-journal Teknik Elektro dan Komputer (2015), ISSN : 2301-8402.
- [5] Pandapotan Junedy & Warman Eddy (2015). Studi Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi (Aplikasi Pada Gardu Induk Pematangsiantar. Universitas Sumatera Utara. SINGUDA ENSIKOM VOL.3 NO.1
- [6] Latupeirissa Leonardo Hamles (2018). Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 kV Di PT. PLN Cabang Ambon. Politeknik Negeri Ambon. Jurnal Simetrik Vol.8 No.2, e-ISSN 2581-2866.
- [7] Zuhul. Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama, 1988.
- [8] Dewi Febriatika Ayu (2014). Analisis Gangguan Ketidakseimbangan Beban Antara Fasa Pada Transformator Distribusi U.168 PT. PLN (PERSERO) Rayon Ampera. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [9] Pratama Aditya Riko (2018). Analisa Kinerja Dan Susu Umur Transformator Daya (Studi Kasus PLTA Kota Panjang). Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [10] SPLN-17 : 1979. Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak.
- [11] Sugiyono. (2014). Metode Penelitian Kombinasi (Cetakan Ke-6; Sutopo, Ed.). Bandung: Alfabeta.
- [12] Sarwono Jonathan (2014). Statistik Multivariat Aplikasi Untuk Riset Skripsi. Penerbit : Andi Yogyakarta
- [13] Gamma Ayu Kartikasari (2018). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [14] IEE std 446-1995. IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications.

- [15] Gianto Satrya Adhie, dkk (2015). Perhitungan Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Suhu Lingkungan. Universitas Trisakti. JETri Vol.13 No.1 ISSN : 1412-0372.
- [16] Sutjipto Rachmat, dkk (2019). Studi Perencanaan Peningkatan Kinerja Trafo Distribusi Dengan Relokasi Antara 2 Buah Trafo. Politeknik Negeri Malang. Jurnal ELTEK Vol.17 No.02 ISSN : 1693-40244.
- [17] Sangathan Shakti Kisan Mazdoor and Nehru Jawaharlal. IS 6600 (1972). Guide For Loading Of Oil Immersed Transformers [ETD 16 : Transformers.
- [18] Sujito (2009). Perhitungan Life Time Transformator Jaringan Distribusi 20 kV Di APJ Malang. Universitas Negeri Malang. TEKNO Vol.11 ISSN : 1693-8739.
- [19] Juhaeriyah & Satyo Nuryadi. Analisis Pengaruh Pembebanan Dan Suhu Lingkungan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi Di Daerah Istimewa Yogyakarta Dengan Menggunakan Metode Monstinger. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- [20] Dimiyati Ali Mohamad, dkk. Studi Analisa Evaluasi Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Transformator Distribusi Area Crusher Di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Universitas Islam Malang.