

Analisis Perkiraan Umur Transformator Distribusi Terhadap Pembebanan Di Ulp Mattirotasi Dengan Metode Montsinger

Burhan¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Alamsyah Achmad³⁾

¹Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang
burhanrb08@gmail.com

²Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang
rizal.sultan@poliupg.ac.id,

³Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang
alamsyahachmad@poliupg.ac.id.

Abstract

Faktor-faktor yang mempengaruhi masa pakai transformator adalah beban berlebih dan suhu sekitar. Pada penelitian ini membahas tentang Analisis perkiraan umur transformator terhadap pembebanan menggunakan metode *time series* dan metode montsinger. Dari analisis menggunakan metode *time series* dan montsinger maka di peroleh hasil penelitian berdasarkan pembebanan 2023 sisa umur setiap trafo berbeda-beda dimana untuk transformator gardu GD 062 dengan pembebanan 70,80% didapatkan perkiraan sisa umur transformator 200 tahun, gardu GD 136 dengan pembebanan 71,60% didapatkan perkiraan sisa umur transformator 37,5 tahun, gardu GD 203 dengan pembebanan 64,80% didapatkan perkiraan sisa umur transformator 236,84 tahun, gardu GD 277 dengan pembebanan 78,68% didapatkan perkiraan sisa umur transformator 66,66 tahun, gardu GD 153 dengan pembebanan 82,35% didapatkan perkiraan umur transformator 32,35 tahun.

Kata kunci : Transformator, Pembebanan, Susut umur

I. PENDAHULUAN

Transformator distribusi adalah komponen kunci dalam sistem tenaga listrik yang memainkan peran penting dalam mentransformasikan tegangan listrik dari distribusi tinggi menjadi distribusi rendah, sehingga memungkinkan penyediaan listrik yang andal dan efisien kepada pelanggan. Analisis yang cermat terhadap perkiraan umur transformator dapat membantu dalam perencanaan perawatan yang efektif, penggantian yang tepat waktu, dan pengoptimalan penggunaan sumber daya dalam sistem distribusi.

Di ULP (Unit Layanan Pelanggan) Mattirotasi, transformator distribusi digunakan secara luas untuk menyediakan listrik kepada berbagai jenis pelanggan, termasuk rumah tangga, komersial, dan industri. Transformator- transformator ini berada dalam berbagai kondisi operasional yang dipengaruhi oleh pembebanan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perkiraan umur transformator distribusi di ULP Mattirotasi dengan menggunakan Metode Montsinger.

Metode Montsinger telah terbukti sebagai alat yang berguna dalam memahami tingkat pembebanan dan dampaknya terhadap umur operasional transformator distribusi. Dalam penelitian ini, kami akan mengaplikasikan Metode Montsinger untuk memeriksa pembebanan transformator di ULP Mattirotasi, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi umur operasional, dan menyusun perkiraan umur berdasarkan data pembebanan historis.

Hasil dari penelitian ini diharapkan akan memberikan wawasan yang berharga bagi operator sistem distribusi dan manajemen perawatan untuk

mengoptimalkan penggunaan transformator distribusi, meminimalkan gangguan, dan meningkatkan ketersediaan listrik di ULP Mattirotasi. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi kontribusi penting dalam pemahaman yang lebih baik tentang peran transformator distribusi dalam sistem tenaga listrik yang berkelanjutan dan handal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

(Juhaeriyah, 2019) menyatakan bahwa Pengaruh Pembebanan terhadap suatu bahan isolasi akibat panas yang disebut penuaan (aging). Transformator distribusi adalah perangkat kunci dalam sistem tenaga listrik distribusi.

Penelitian oleh Wang et al. (2017) menunjukkan bahwa pembebanan transformator dapat memengaruhi umur operasionalnya. Terlalu tinggi atau terlalu rendahnya pembebanan dapat mempercepat degradasi transformator. Metode Montsinger telah digunakan dalam berbagai penelitian untuk menganalisis pembebanan transformator. Dalam studi Montsinger dan Stewart (2009), metode ini digunakan untuk mengidentifikasi tingkat pembebanan optimal yang meminimalkan kerusakan transformator.

Penelitian sebelumnya pada ULP Mattirotasi terbatas. Namun, penelitian oleh Ali dan Rahman (2020) telah menunjukkan pentingnya analisis umur transformator distribusi dalam meningkatkan keandalan listrik di unit layanan pelanggan serupa.

Dalam analisis ini metode *time series* digunakan secara luas untuk memprediksi perilaku umur transformator seiring waktu. Pada tahun 1976 George Box dan Gwilyn Jenkins memperkenalkan analisis *time series*(Damodar, 2003).

Transformator adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang digunakan untuk mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang berbeda (Roman S 2020).

Sistem distribusi berfungsi mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen yang berupa pabrik, industri, perumahan dan sebagainya (Warmi, 2000).

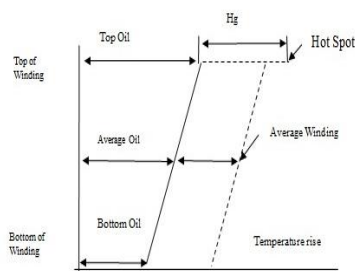
Menurut (Marsudi, 2006)“Yang dimaksud dengan Sistem Tenaga Listrik di sini adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (Pusat Beban) yang satu sama lain.

Trafo *indoor* adalah trafo yang harus diletakan di dalam ruangan yang ditutupi dengan atap seperti trafo-trafo yang digunakan pada industri-industri sedangkan trafo *outdoor* adalah trafo yang dapat ditempatkan diluar ruangan seperti trafo distribusi yang ditempatkan di gardu induk dan lain-lainnya (Artema, 2020)

Transformator membuat perubahan arus dan tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah (Angga, 2015).

III. LANDASAN TEORI

Pembebanan berlebih pada transformator dapat menghasilkan peningkatan suhu pada kumparan transformator, yang pada akhirnya akan menyebabkan penurunan masa pakai transformator lebih cepat dari yang diperkirakan. Hasilnya, kemampuan isolasi bahan yang digunakan dalam transformator akan mengalami penurunan seiring waktu akibat efek panas, yang sering disebut sebagai proses penuaan (aging). Ilustrasi di Gambar 1, meskipun merupakan penyederhanaan dari distribusi yang lebih kompleks, memberikan gambaran tentang peningkatan suhu yang



dapat terjadi.

Gambar 1: Diam Thermal Transformator

Dalam standar IEC 354, disebutkan bahwa transformator akan mencapai masa pakai yang normal jika terus-menerus diberi beban dengan suhu titik panas (hotspot) sekitar 98°C pada kondisi suhu sekitar 20°C. Pada Tabel 1, terlihat bahwa apabila transformator mengalami suhu titik panas (hot spot) yang melebihi angka 98°C, maka masa pakai transformator akan mengalami penurunan yang lebih cepat, sehingga umur transformator akan lebih singkat dari yang seharusnya. Standar IEC 354 menyediakan faktor beban terus-menerus yang akan menghasilkan suhu titik panas sekitar 98°C pada berbagai suhu lingkungan dan jenis pendinginan yang

berbeda. Pembebanan yang di izinkan berdasarkan suhu sekitar bisa di lihat pada Tabel 1, berikut.

Tabel 1: Pembebanan Yang di Izinkan Pada Suhu Sekitar Yang Berbeda

Ambient Temperature (°C)			-25	-20	-10	0	10	20	30	40
K24	Distribution	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Power Transformer	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		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

Sesuai dengan SPLN 20-1:1990 (Pedoman Pembebanan Transformator), transformator di Indonesia biasanya dioperasikan pada suhu lingkungan yang tidak melebihi 40°C. Selain itu, suhu rata-rata harian di Indonesia seringkali mencapai 30°C dan suhu rata-rata tahunan juga berada pada kisaran tersebut. Faktor-faktor ini diambil sebagai pertimbangan dalam merancang dan mengoperasikan transformator di Indonesia, agar transformator dapat berfungsi secara optimal.

Beberapa penelitian sebelumnya belum sepenuhnya setuju terhadap susut umur transformator temperatur tertentu. Namun mereka sepakat selama rentang waktu 80°C-140°C penuaan transformator melaju mengganda untuk setiap 6°C mengalami kenaikan suhu sehingga dari nilai ini dijadikan sebagai dasar penelitian.

Tabel 2: Susut Umur Akibat Kenaikan Suhu

(°C)	Susut Umur (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 : Parlindungan Gultom, 2015)

1. Metode Time series

Dalam analisis ini, untuk menghitung peramalan beban untuk tahun-tahun berikutnya menggunakan metode *time series*, adapun yang akan digunakan untuk menghitung peramalan beban yaitu komponen trend, kemudian untuk menghitung komponen trend dapat menggunakan persamaan , seperti berikut:

$$T_t = a + b.t \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

- Tt = Komponen trend
- a,b = Koefisien regresi
- t = Waktu Pengambilan Data

Simbol a dan b adalah koefisien regresi, dan nilai-nilai dari koefisien-koefisien regresi ini dapat dihitung menggunakan persamaan, berikut:

$$a = \frac{(\sum z)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum t.z)}{n\sum t^2 - (\sum t)^2} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$b = \frac{n(\sum t.z) - (\sum t)(\sum z)}{n(\sum t^2) - (\sum t)^2}$$

Keterangan:

- n = Banyaknya data
- t = Waktu(tahun) pengambilan data
- tz = Hasil perkalian jumlah tahun pengambilan data beban
- z = Data pembebanan

2. Metode Montsinger

Metode Montsinger adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk menghitung suhu belitan pada transformator, serta digunakan untuk meramalkan sisa umur transformator berdasarkan kondisi pembebanan yang diterapkan pada masing-masing transformator. Metode ini juga berguna untuk mendapatkan kecepatan relatif pada titik-titik panas di atas suhu normal (98°C) pada beban nominal, suhu lingkungan acuan, dan peningkatan suhu pada belitan transformator.

Untuk menghitung suhu titik panas pada pembebanan 100% dapat digunakan persamaan berikut:

$$\theta h 100\% = \frac{98^{\circ}C \times 100\%}{\%faktor\ pembebanan} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\theta h = beban (\%) \times \theta h\ pembebanan\ 100\% \dots\dots(3.4)$$

Nilai relatif dari umur pemakaian didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Vp.u. = \frac{\theta h - 98^{\circ}C}{2^{\frac{\theta h - 98^{\circ}C}{6}}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan:

- V p.u = Nilai kecepatan relatif dari umur pemakaian (p.u)
- θh = Suhu belitan °C
- 98C = Standar normal suhu hotspot dengan suhu lingkungan(30C)

Untuk mengetahui susut umur yang terjadi maka dilakukan persamaan berikut:

$$Susut\ umur = (t \times Vp.u) \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan:

- T = Waktu (jam)
- V p.u = Kecepatan nilai relatif susut umur pemakaian (p.u)

Perkiraan umur transformator pada tahun ke n:

$$n = \frac{umur\ dasar - n}{susut\ umur (\%)} \dots\dots\dots(3.7)$$

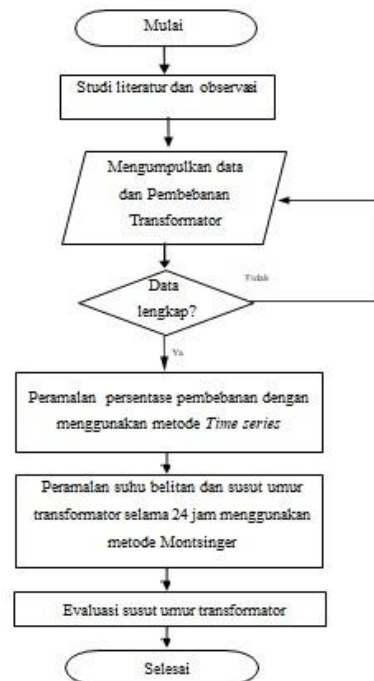
Keterangan :

- n = lama waktu transformator bekerja
- umur dasar = 20 tahun (standar IEC)

IV. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan di PT ULP Mattirotasi.



Gambar 2: Flowchart Analisis Transformator

V. DATA DAN PEMBAHASAN

A. Data Transformator

PT. PLN ULP Mattirotasi merupakan entitas yang aktif dalam industri tenaga listrik dan beroperasi dibawah naungan unit kerja PT. PLN (Persero) UP3 Parepare. ULP Mattirotasi yang berhubungan langsung dengan konsumen pengguna listrik baik untuk tegangan menengah maupun tegangan rendah. Menurut data aset pada ULP Mattirotasi tahun 2023 memperlihatkan bahwa terdapat 7 penyulang dengan gardu distribusi 361 unit yang beroperasi di wilayah ULP Mattirotasi. Data yang akan digunakan 5 unit transformator dengan data pengukuran diambil 3 tahun terakhir dengan pembebanan yang berbeda-beda. Dapat dilihat

transformator yang menjadi sampel penelitian mulai tahun 2021 hingga 2023 dengan gardu dari penyulang yang berbeda-beda pada Tabel 3, berikut ini.

Tabel 3: Data Transformator

DATA TRANSFORMATOR 3 TAHUN TERAKHIR					
GARDU	kVA 3 fasa	TAHU N	BEBAN (%)		
			2021	2022	2023
GD 062	250	2019	64,49	69,88	70,80
GD 136	25	2006	51,30	69,62	71,60
GD 203	50	2012	54,45	59,74	64,80
GD 277	100	2017	77,12	66,70	78,68
GD 153	200	2014	80,85	76,07	82,35

B. Pembahasan

1. Gardu GD 062

Dalam memperoleh hasil peramalan beban dan perkiraan sisa umur transformator pada gardu GD 062 Menggunakan persamaan 3.1, sampai persamaan 3.7

a. Metode time series

Untuk melakukan peramalan beban di perlukan data komponen trend seperti pada tabel 4, yang akan digunakan untuk melakukan peramalan beban dengan menggunakan persamaan 2.2, sampai 2.3.

Tabel 4: Komponen Trend Beban Gardu GD 062

Tahun	Tahun n	Data Pembebanan n (%)	t.z	t ²
	Ke(t)	Z		
2021	0	64,49	0	0
2022	1	69,88	69,88	1
2023	2	70,80	141,6	4
Jumlah(Σ)	3	205,17	211,4	5

Setelah memperoleh komponen trend seperti pada table 3, diatas, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan yang akan digunakan untuk melakukan peramalan beban tahun-tahun berikutnya dengan menggunakan persamaan 3.1, dan 3.2, di mana persamaan 3.1, di sini digunakan untuk menghitung komponen trend pada taransformator untuk tahun- tahun berikutnya sedangkan persamaan 3.2, digunakan untuk menghitung koefisien regresinya.

$$T_t = a + b.t$$

Dari persamaan di atas a dan b adalah koefisien regresi, koefisien regresinya bisa didapatkan

dengan menggunakan persamaan 3.1, seperti berikut:

untuk memperoleh koefisien a dapat menggunakan data komponen trend pada tabel 5.1, sebagai acuan menghitung koefisien-koefisiennya :

$$a = \frac{(\sum z)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum tz)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

$$a = \frac{(205,17)(5) - (3)(211,48)}{3(5) - 3^2}$$

$$a = 65,23$$

Kemudian untuk koefisien b didapatkan dengan persamaan berikut:

$$b = \frac{n(\sum tz) - (\sum t)(\sum z)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

$$b = \frac{3(211,48) - (3)(205,17)}{3,5 - 3^2}$$

$$b = 3,15$$

Setelah diperoleh nilai koefisien a dan b masukkan kedalam persamaan yang akan digunakan, kemudian dilakukan perhitungan peramalan beban untuk tahun-tahun berikutnya menggunakan persamaan 3.2, berikut.

$$T_t = 65,23 + 3,15.t$$

Setelah menghitung peramalan beban tahun-tahun berikutnya, menggunakan persamaan seperti di atas maka akan diperoleh perkiraan beban tahun-tahun berikutnya dapat dilihat pada tabel 5. Kemudian pada saat data beban transformator tahun-tahun berikutnya telah diketahui maka akan di lakukan pehitungan suhu hotspot dan susut umur transformator menggunakan metode montsinger berdasarkan data pembebanan yang ada.

b. Metode Montsinger

Dalam standar IEC 354, dijelaskan bahwa transformator akan mencapai masa pakai yang normal jika terus-menerus diberi beban dengan suhu titik panas (hot spot) sekitar 98°C, pembebanan yang di izinkan secara terus menerus untuk suhu sekitar 30° dapat di bebani sebesar 91%, suhu belitan yang diperoleh pada pembebanan 100% dari rating daya transformator adalah 107,7°C dengan menggunakan persamaan 3.3, berikut

$$\theta_h \text{ pada pembebanan } 100\% = \frac{98^\circ\text{C}}{91\%} \times 100\%$$

$$= 107,7^\circ\text{C}$$

Pada pembebanan tahun 2023 dengan pembebanan 70,80 % kemudian dilakukan persamaan 3.4, untuk mendapatkan nilai hotspot pada transformator seperti berikut:

$$\theta h = 70,80\% \times 107,7^\circ$$

$$\theta h = 76,25^\circ\text{C}$$

Kemudian setelah nilai hotspot diperoleh, nilainya dimasukkan ke metode montsinger yang ada pada persamaan 3.5, digunakan untuk memperoleh nilai kecepatan relatif transformator sebagai berikut :

$$V p.u = 2^{\frac{\theta h - 98^\circ\text{C}}{6}}$$

$$V p.u = 2^{\frac{76,25^\circ\text{C} - 98^\circ\text{C}}{6}}$$

$$V p.u = 0,08$$

Setelah memperoleh nilai kecepatan susut umur per unit (Vp.u) seperti di atas, langkah selanjutnya untuk mengestimasi jumlah susut umur yang terjadi selama 24 jam adalah dengan menggunakan persamaan 3.6, seperti berikut.

$$\text{Susut umur} = (t \times Vp.u)$$

$$= 24 \times 0,08 p.u$$

Kemudian untuk memperkirakan masa pakai transformator pada gardu GD 062 menggunakan persamaan yang ada pada 3.7, seperti berikut.

Untuk umur transformator diperkirakan tahun ke n

$$= \frac{\text{susut umur} - n}{\text{susut umur} (\%)}$$

$$= \frac{20 - (2023 - 2019)}{8\%}$$

$$\text{Perkiraan umur} = 200 \text{ tahun}$$

Kemudian diperkirakan umur transformator gardu GD 062 pada tahun 2023 untuk pembebanan 70,80 % diperoleh usia transformator adalah 200 tahun. Dengan menggunakan persamaan sebelumnya sehingga diperoleh hasil perkiraan sisa umur transformator dari tahun 2021 hingga 2032 dapat dilihat pada tabel 5, berikut ini.

Tabel 5 Hasil Perkiraan Umur Transformator Gardu GD 062

Tahun	Data Pembebanan	(°C)	V (p.u)	Sisa Umur (tahun)
2021	64,49	69,45	0,03716	486,48
2022	69,88	75,26	0,07229	242,85
2023	70,8	76,25	0,08133	200
2024	74,68	80,43	0,13213	115,38
2025	77,83	83,82	0,19479	73,68
2026	80,98	87,21	0,28917	46,42
2027	84,13	90,6	0,42632	28,57
2028	87,28	94	0,63288	17,46
2029	90,43	97,39	0,93303	10,75

2030	93,58	100,8	1,37554	6,56
2031	96,73	104,2	2,02792	3,96
2032	99,88	107,6	3,01049	2,33

Pada tabel 5, di atas, diperoleh hasil perhitungan peramalan beban dan susut umur transformator yang meningkat dari tahun ketahun, dimana untuk pembebanan pada tahun 2021 sebesar 64,49% maka diperkirakan sisa umur transformator dengan pembebanan tersebut adalah 486,48 tahun, namun seiring dengan peningkatan beban yang terjadi setiap tahun maka di perkirakan umur transformator sampai pada tahun 2032 dengan pembebanan sebesar 99,88% dengan perkiraan sisa umur transformator 2,33 tahun.

c. Hasil

Dari hasil pembahasan semua transformator maka di dapatkan data berupa hasil perkiraan waktu layak operasi masing-masing transformator berdasarkan hasil peramalan beban menggunakan metode time series dan perhitungan susut umur transformator menggunakan metode montsinger maka di dapatkan data seperti pada tabel 6, berikut.

Tabel 6 Hasil Analisis Keseluruhan Transformator

No	Gardu	Tahun	Hasil Perkiraan Layak Operasi
1	GD 062	2019	2032
2	GD 136	2006	2025
3	GD 203	2012	2029
4	GD 277	2017	2036
5	GD 153	2014	2033

Berdasarkan perhitungan menggunakan dua metode yaitu metode time series dan metode montsinger pada seluruh transformator maka di dapatkan hasil berupa data perkiraan layak operasi transformator berdasarkan beban yang telah di perkiraka, dapat dilihat pada tabel 6, di atas diperkirakan transformator untuk gardu GD 062 layak digunakan sampai dengan tahun 2032, gardu GD 136 sampai dengan tahun 2025, gardu GD 203 sampai dengan tahun 2029, untuk gardu GD 277 sampai dengan tahun 2036, dan gardu GD 153 sampai dengan tahun 2033.

VI. PENUTUP

A. Kesimpulan

- Setelah melakukan perhitungan peramalan beban menggunakan metode *time series* maka didapatkan data mengenai perubahan beban setiap tahunnya yang berbeda yaitu sebesar 0,93%, untuk GD 062, sebesar sekitar 12% GD 136, sebesar 4,8% untuk GD 203, sebesar 0,8% untuk GD 277, sebesar 0,75% untuk GD 153.

2. Dari perhitungan susut umur transformator maka didapatkan hasil perkiraan sisa umur transformator dengan pembebanan berbeda pada tahun 2023, pada GD 062 sisa umur 200 tahun, GD 136 sisa umur 37,5 tahun, GD 203 sisa umur 236 tahun, GD 277 sisa umur 66,66 tahun, GD 153 sisa umur 32,35 tahun.
3. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, sisa umur diperkirakan sampai ketahun yang berbeda-beda, GD 062 sampai tahun 2032, GD 136 sampai 2025, GD 203 sampai 2029, GD 277 sampai 2036, GD 153 sampai 2033, sejalan dengan pembebanan yang telah di perkirakan.

B. Saran

Di sini penulis akan memberi beberapa saran setelah melakukan penelitian:

1. Tetap melakukan pengawasan dan perawatan terhadap transformator untuk menjaga kehandalan transformator
2. Melakukan pendataan berkala pada transformatorrrmator sehingga memudahkan untuk dianalisis kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angga. (2015). *Prinsip Kerja Transformator*. 19 Desember 2021 Pukul 20.11. <https://skemaku.com/prinsip-kerja-transformator>
- [2] Ali dan Rahman (2020) pentingnya analisis umur transformator distribusi dalam meningkatkan keandalan listrik di unit layanan pelanggan serupa
- [3] George Box dan Gwilyn Jenkins memperkenalkan analisis *tim series*(Damodar, 2003).
- [4] Gultom, P., MT, Danial., Rajagukguk, M. (2017), *Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan Lebih Di PT. PLN (Persero) Kota Pontianak*, Jurnal UNTAN, Vol 2(1), 2-5.
- [5] IEC 354, L. G. for O.-I. P. T. (1972). *Loading Guide For Oil Immersed Transformers*.yulius.<https://id.scribd.com/document/506690085/IEC-354-Loading-Guide-for-Oil-Immersed-Power-Transformers#>
- [6] Juhaeriyah. (2019). Analisis Pengaruh Dan Suhu Lingkungan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi Di Daerah Istimewa Yogyakarta Dengan Menggunakan Metode Monstinger. Yogyakarta: Universitas Teknologi Yogyakarta.
- [7] Singh (2018), transformator distribusi berperan dalam mentransformasikan tegangan listrik, sehingga listrik dapat disalurkan ke berbagai jenis pelanggan
- [8] SPLN 20-1:1990 (Pedoman Pembebanan Transformator),
- [9] Wang et al. (2017), pembebanan-transformator-dapat memen-garuhi umur operasionalnya
- [10] Warmi, Y. (2000). *Analisis Sistem Tenaga*. Jakarta: Erlangga.
- [11] Marsudi, D. (2006). *Operasi sistem tenaga listrik* (3rd ed.). Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006. © 2016.
- [12] Artema. (2020). *Jenis-jenis Transformator*. 19 Desember 2021. PT. ARRASYA TEKNIK MANDIRI (artema.co.id).
- [13] BambangMS (2016) *Jaringan Distribusi* [https://trafoinstrumen.wordpress.com/category/jaringan- distribusi/](https://trafoinstrumen.wordpress.com/category/jaringan/distribusi/)