

## Studi Analisa Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan

Chairul Nazalul Anshar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ekasakti-AAI Padang, Indonesia

\* Corresponding-Author. Email: [chairulnazalulanshar@unespadang.ac.id](mailto:chairulnazalulanshar@unespadang.ac.id)

### Abstrak

Susut umur transformator dipengaruhi oleh isolasi belitan transformator dan minyak transformator. Salah satu kerusakan atau kegagalan isolasi dari minyak transformator diakibatkan dari perubahan suhu atau suhu sekitar pada transformator daya terendam minyak tersebut. Pada tugas akhir ini meneliti pengaruh pembebanan transformator distribusi terhadap susut umur, pengaruh suhu lingkungan terhadap susut umur transformator, dan menganalisis susut umur transformator distribusi di feeder bandara PT. PLN (Persero) Rayon Tabing dengan mengacu pada standar IEC 354 tahun 1972. Susut umur transformator daya pada pembebanan 155,01 sebesar 1,53 p.u/hari, pada pembebanan 158,42 sebesar 1,97 p.u/hari, sedangkan pada pembebanan 175,77 sebesar 9,92 p.u/hari. Disimpulkan bahwa susut umur yang didapatkan di atas hanya berasal dari pengaruh penurunan kemampuan isolasi akibat pemanasan dari pembebanan dan suhu sekitar belum memperhitungkan dari pengaruh lain, seperti pengaruh penurunan isolasi akibat ketidak- seimbangan beban menghasilkan panas yang dapat mengakibatkan penambahan laju penyusutan umur.

**Kata kunci:** transformator distribusi, 20kv, susut umur

### Abstract

*Transformer life shrinkage is affected by transformer winding insulation and transformer oil. One of the damage or failure of insulation from transformer oil is caused by changes in temperature or ambient temperature in the oil-immersed power transformer. In this final project examines the effect of distribution transformer loading on life shrinkage, the effect of ambient temperature on transformer life shrinkage, and analyzes distribution transformer life loss at the airport feeder of PT. PLN (Persero) Rayon Tabing with reference to the IEC standard 354 of 1972. The life loss of a power transformer at a loading of 155.01 is 1.53 p.u/day, at a loading of 158.42 it is 1.97 p.u/day, while at a loading of 175.77 of 9.92 p.u/day. It is concluded that the age shrinkage obtained above only comes from the effect of the decrease in insulation capability due to heating from loading and ambient temperature has not taken into account other influences, such as the effect of decreased insulation due to load imbalance generating heat which can result in additional age shrinkage rates.*

**Keywords:** distribution transformer, 20kv, life shrinkage

### PENDAHULUAN

Di zaman modern sekarang ini, kebutuhan akan tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan utama baik di kota-kota besar maupun kota-kota kecil. PT. PLN (Persero) Rayon Tabing sebagai satu-satunya perusahaan yang bergerak di bidang penyaluran tenaga listrik ke seluruh

wilayah di Koto Tengah Kota Padang harus mampu menjaga ketersediaan listrik.

Dalam operasi sistem tenaga listrik, keandalan dan kestabilan sistem sangat penting agar dapat memberi kenyamanan dalam pelayanan kepada konsumen (Dwiyanto, 2018). Hal ini dapat terpenuhi dengan memperhatikan kondisi dari peralatan-peralatan tenaga listrik yang ada.

Submitted  
20-10-2022

Accepted  
12-01-2023

Published  
12-01-2023

 <https://doi.org/10.56248/marostek.v1i2.26>

Salah satu peralatan yang sangat penting dalam operasi sistem tenaga listrik adalah transformator (Adam, Mohamad & Tolago, 2021).

Transformator distribusi peralatan tenaga listrik berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah, agar tegangan yang dipakai sesuai dengan rating peralatan listrik konsumen (Andriyan, Nasrulloh & Murdiantoro, 2022; Tony, 2019). Transformator merupakan peralatan listrik yang mahal, maka harus dijaga dan dipelihara agar memiliki umur penggunaan yang panjang (Sofwan, Tias & Lubis, 2018). Umur transformator dapat berkurang akibat beberapa hal. Salah satu penyebab berkurangnya umur penggunaan trafo adalah pembebanan. Pembebanan mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator. Panas yang timbul mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan suatu transformator.

Terjadinya panas yang terlalu tinggi akan dapat merubah sifat konstruksi bagian-bagian trafo. Setiap kenaikan sekitar  $6^{\circ}\text{C}$  dari batas yang diizinkan akan mengakibatkan berkurangnya umur. Oleh karena itu, kenaikan suhu ini harus dibatasi. Isolasi dari penghantar (*conductor*) pada belitan trafo akan mengakibatkan kerusakan jika dikenai suhu yang tinggi (Dwiyanto, 2018; Zainal & Tri, 2019).

### Transformator Distribusi

Transformator merupakan suatu peralatan listrik (elektromagnetik statis) yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan (transformasi) tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi (elektromagnetik) di mana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya (Hamles, 2018).



Gambar 1. Transformator Distribusi

Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik (Putra, Prasetyono & Murdiantoro, 2022).

### Susut Umur Transformator Distribusi

Penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas disebut penuaan (*aging*) (Nugraha & Desnanjaya, 2021). 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.

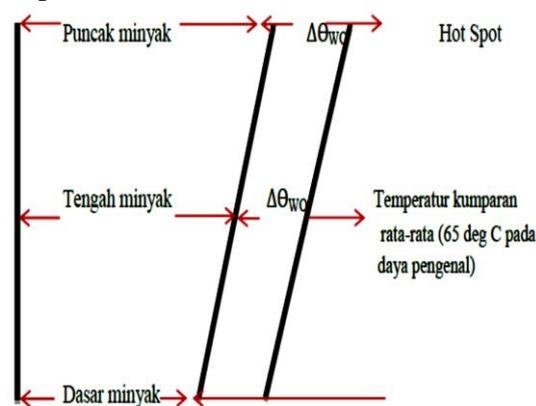
Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka temperatur air tidak boleh lebih dari  $25^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka temperatur udaranya tidak boleh lebih dari

40<sup>o</sup> C dan tidak boleh di bawah -25<sup>o</sup> C untuk pemasangan luar dan tidak boleh di bawah -5<sup>o</sup> C untuk pemasangan dalam. Sebagai tambahan untuk pendinginan dengan udara, temperaturnya tidak melebihi rata-rata 30<sup>o</sup> C untuk satu hari. Kenaikan temperatur dapat diasumsikan dengan diagram temperatur sederhana seperti ditunjukkan gambar 2. Gambar ini dapat dipahami karena merupakan diagram penyederhanaan dari distribusi yang lebih rumit. 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 mevalidasi metode.

Metode ini disederhanakan sebagai asumsi yang telah dibuat sebagai berikut :

- Temperatur minyak bertambah secara linear sesuai kumparan
- Kenaikkan temperatur rata-rata minyak adalah sama untuk semua kumparan dari kolom yang sama.
- Perbedaan temperatur antara minyak pada puncak kumparan (asumsinya sepadan dengan yang di puncak) dan minyak yang berada di dasar kumparan (asumsinya sepadan dengan yang dipendingin) adalah sama untuk semua bagian kumparan.
- Kenaikkan temperatur rata-rata dari tembaga pada setiap posisi diatas kumparan meningkat secara linear sejalan kenaikan temperature minyak yang mempunyai selisih kostan  $\Delta\theta_{wo}$  antara dua garis lurus ( $\Delta\theta_{wo}$  adalah selisih antara kenaikan temperatur rata-rata tahanan dan kenaikan temperatur rata-rata minyak ).
- Kenaikkan temperatur rata-rata puncak kumparan adalah kenaikan temperatur rata-rata minyak ditambah  $\Delta\theta_{wo}$ .
- Kenaikkan temperatur hot spot adalah lebih tinggi disbanding kenaikan temperatur rata-rata puncak kumparan. Untuk menghitung perbedaan antara

kedua kenaikan temperatur ini, nilai  $\Delta\theta_{wo}$  diasumsikan 0,1 untuk sirkulasi minyak secara alami. Sehingga kenaikan temperatur hot spot adalah sepadan dengan kenaikan temperatur top oil di tambah 1.1  $\Delta\theta_{wo}$

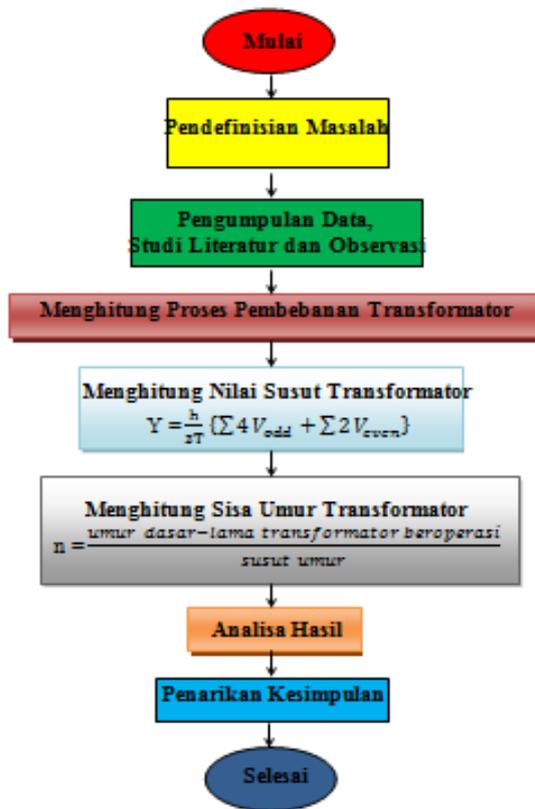


Kumparan sisi bawah                      Kenaikkan temperatur  
 Gambar 2. Diagram Thermal Transformator

Pemburukan isolasi akan semakin cepat apabila isolasi tersebut bekerja dengan suhu yang melebihi dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah suhu hot spot). Menurut standar IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini (Ediwan et al., 2021), sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi “suhu hot spot 98<sup>o</sup>C pada pembebanan yang terus - menerus” dengan suhu sekitar (ambient temperature) 20<sup>o</sup>C. Apabila transformator tersebut mengalami suhu hot spot yang lebih besar dari 98<sup>o</sup>C, susut umurnya akan semakin cepat (besar) sehingga dapat memperpendek umur dari yang diharapkan.

Standar IEC 354 memberikan faktor beban terus menerus yang akan menghasilkan suhu hot spot 98<sup>o</sup>C dari berbagai suhu lingkungan dan untuk setiap jenis pendinginan, sehingga memungkinkan untuk menghitung kemampuan pembebanan terus menerus berdasarkan suhu sekitar.

**METODE**



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian Yang Dilakukan

**Dasar Perhitungan Perkiraan Susut Umur Transformator**

Rumus Montsinger untuk memperoleh kecepatan relatif pada tiap titik panas di atas 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 29°C pada nilai daya nominal transformator memberikan kenaikan suhu titik panas sebesar 68°C. Nilai relatif dari umur pemakaian didefinisikan sebagai :

$$V = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6}$$

Dalam menghitung pengurangan umur, diberikan persamaan untuk dapat menentukan besarnya susut umur transformator adalah:

$$\text{Susut umur} = Y = \frac{h}{3T} \{ \sum 4 V_{odd} + \sum 2 V_{even} \}$$

Di mana:

T = Waktu ( jam )

h = Konstanta = 1

$V_{odd}, V_{even}$  = Laju penuaan thermal relatif

Karena pembebanan transformator berubah-ubah setiap harinya atau tidak kontinyu sehingga sulit menentukan pola pembebanan hariannya. Maka diasumsikan pola pembebanan hariannya adalah sama. Perhitungan perkiraan umur transformator di bawah ini hanya memperhitungkan pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain.

$$n = \frac{\text{umur dasar-lama traFO beroperasi}}{\text{susut umur}}$$

**Data Masukan**

Untuk dapat melakukan perhitungan maka diperlukan sejumlah data-data masukan, yaitu;

1. Data Transformator
  - Daya pengenal = 160-200 kVA
  - Jenis pendingin = ONAN
  - Tegangan sekunder = 400 V
  - Tegangan primer = 20 Kv
2. Data Temperatur
  - Temperatur harian maksimum ( $\theta_a$ ) pada bulan April 2019 adalah 29°C
  - Suhu kenaikan temperatur ( $\Delta\theta_{br}$ ) adalah 55°C
  - Kenaikan temperatur awal minyak ( $\Delta\theta_{o(n-1)}$ ) adalah 40°C
3. Data Pembebanan

Untuk data pembebanan pada bulan April 2019 dapat di lihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Tabel Tranformator Berdasarkan Pembebanan Pada Feeder Bandara

No	Data Gardu	Kapasitas (kVA)	Daya Terpakai k KW	Tahun Operasional
1	RBT 006 T	200	156,47	2014
2	RBT 009 T	200	163,58	2013
3	RBT 098 T	160	149,41	2010
4	RBT 169 T	160	121,75	2013
5	RBT 298 T	160	125,41	2013
6	RBT 328 T	160	134,66	2010
7	RBT 411 T	160	131,75	2016

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Menghitung Perubahan Temperatur Akibat Pembebanan

Berdasarkan data pembebanan feeder bandara rayon tabung tahun 2019 dapat diambil sebagai contoh untuk perhitungan pengaruh pembebanan (Azhar, Rahmawati & Fadlika, 2019). Perhitungan-perhitungan untuk beban transformator pada gardu RBT 098 T

1. Menentukan daya semu

$$S = \frac{P}{\cos\phi}$$

$$= \frac{149,41}{0,85}$$

$$= 175,77 \text{ kVA}$$

2. Menentukan rasio pembebanan

$$K = \frac{S}{S_r}$$

$$= \frac{175,77}{160}$$

$$= 1,098$$

1. Menentukan kenaikan temperatur stabil top oil

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left( \frac{1 + dK^2}{1 + d} \right)^x$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left( \frac{1 + 4(1,098)^2}{1 + 4} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left( \frac{6,03}{5} \right)^{0,9}$$

$$= 65,079^{\circ}\text{C}$$

2. Menentukan kenaikan temperatur top oil

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/\tau})$$

$$= 40 + (65,079 - 40) (1 - e^{-1/3})$$

$$= 40 + (-7,55) (0,88)$$

$$= 62,07^{\circ}\text{C}$$

3. Sirkulasi minyak alami

$$\Delta\theta_{cr} = \Delta\theta_{br} + 1,1 \Delta\theta_{wo}$$

$$= 55 + 23,1$$

$$= 78,1^{\circ}\text{C}$$

4. Menentukan selisih temperatur antara hot spot dengan top oil

$$\Delta\theta_c = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

$$= (78,1 - 55) 1,098^{2(0,8)}$$

$$= 26,80^{\circ}\text{C}$$

5. Menentukan temperatur hot spot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_c$$

$$= 29 + 62,07 + 26,80$$

$$= 117,87^{\circ}\text{C}$$

Selanjutnya Menghitung Perkiraan Umur Transformator Distribusi

1. Menentukan laju penuaan Thermal relatif

$$V = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6}$$

$$= 2^{(117,78 - 98)/6}$$

$$= 9,92$$

2. Menghitung pengurangan umur transformator distribusi

Karena bebannya konstan maka besarnya laju penuaan relatif untuk tiap jam perhari sama

$$Y = \frac{h}{3T} \{ \sum 4 V_{odd} + \sum 2 V_{even} \}$$

$$= \frac{1}{3 \times 24} \{ 4 (9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92) + 2 (9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92 + 9,92) \}$$

$$= 9,92 \text{ pu / hari}$$

3. Menghitung sisa umur transformator distribusi

Lama transformator sudah dipakai  
= umur dasar - (n × susut umur)

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama trafo sudah dipakai}}{\text{susut umur}}$$

$$= \frac{30 - (2019 - 2010)}{9,82}$$

$$= \frac{21 \text{ tahun}}{9,82 \text{ p.u./hari}}$$

$$= \frac{7665 \text{ hari}}{9,82 \text{ p.u./hari}}$$

$$= 772,68 \text{ hari}$$

$$= 2 \text{ tahun } 1 \text{ bulan } 13 \text{ hari } 19 \text{ jam } 12 \text{ menit}$$

Sedangkan untuk pembebanan yang lain umurnya juga dapat ditentukan dengan cara yang sama, sehingga didapatkan Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Susut Tranformator Di Feeder Bandara Rayon Tabing Padang

No	Data Transformator	Kapasitas (kVA)	Beban (kVA)	Tahun Operasional	Susut Umur (p.u./hari)	Sisa Umur (Tahun)
1	RBT 006 T	200	184,06	2014	0,76	32,89
2	RBT 009 T	200	192,45	2013	1,20	20
3	RBT 169 T	160	143,24	2013	0,49	48,98
4	RBT 298 T	160	147,54	2013	0,76	31,58
5	RBT 411 T	160	155,01	2016	1,53	17,65
6	RBT 328 T	160	158,42	2010	1,97	10,66
7	RBT 098 T	160	175,77	2010	9,92	2,12

Berdasarkan hasil perhitungan diatas baik pada tabel 4.3 dan 4.4. yang merupakan data real lapangan maupun perhitungan variasi pembebanan untuk data pembanding diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Berdasarkan data real lapangan .Diperoleh ratio pembebanan (K) sama dengan 1,098 diperoleh kenaikan suhu minyak atas ( $\Delta\theta_{on}$ ) sebesar  $62,07^{\circ}\text{C}$ . Nilai tersebut tidak melebihi batas suhu yang diizinkan yaitu sebesar 65 . sedangkan untuk suhu titik panas ( $\theta_c$ ) yang diperoleh yaitu sebesar  $117,78^{\circ}\text{C}$ . Nilai tersebut melebihi batas maksimum kenaikan suhu titik panas yaitu sebesar  $110^{\circ}\text{C}$ . Sehingga didapat susut umurnya sebesar 9,82 pu / hari dan sisa umur transformator selama 2,13 tahun
2. Pada ratio pembebanan (K) sama dengan 0,99 diperoleh kenaikan suhu minyak atas ( $\Delta\theta_{on}$ ) sebesar  $52,23^{\circ}\text{C}$ . Nilai tersebut tidak melebihi batas suhu yang diizinkan yaitu sebesar 65 . sedangkan untuk suhu titik panas ( $\theta_c$ ) yang diperoleh yaitu sebesar  $103,77^{\circ}\text{C}$ . Nilai tersebut melebihi batas maksimum kenaikan suhu titik panas yaitu sebesar  $110^{\circ}\text{C}$ . Sehingga didapat susut umurnya sebesar 1,98 pu / hari dan sisa umur transformator selama 10,61 tahun
3. Pada ratio pembebanan (K) sama dengan 0,96 diperoleh kenaikan suhu minyak atas ( $\Delta\theta_{on}$ ) sebesar  $48,84^{\circ}\text{C}$ . Nilai tersebut tidak melebihi batas suhu yang

diizinkan yaitu sebesar 65 . sedangkan untuk suhu titik panas ( $\theta_c$ ) yang diperoleh yaitu sebesar  $99,55^{\circ}\text{C}$ . Nilai tersebut melebihi batas maksimum kenaikan suhu titik panas yaitu sebesar  $110^{\circ}\text{C}$ . Sehingga didapat susut umurnya sebesar 1,20 pu / hari dan sisa umur transformator selama 20 tahun.

4. Berdasarkan penjelasan di atas dapat dinyatakan bahwa transformator distribusi RBT 098 T khususnya transformator pada PT PLN (Persero) Rayon Tabing Feeder Bandara dalam kondisi tidak layak pakai dengan sisa umur yaitu sebesar 2,13, dengan pembebanan 175,77 yang melebihi kapasitas sebesar 160

## KESIMPULAN

Berdasarkan proses yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, mulai dari perhitungan dan analisis, dapat disimpulkan bahwa susut umur yang didapatkan di atas hanya berasal dari pengaruh penurunan kemampuan isolasi akibat pemanasan dari pembebanan dan suhu sekitar belum memperhitungkan dari pengaruh lain, seperti pengaruh penurunan isolasi akibat ketidak- seimbangan beban menghasilkan panas yang dapat mengakibatkan penambahan laju penyusutan umur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M. A., Mohamad, Y. & Tolago, A. I. (2021). Analysis of the influence of loading on age of use of transformers in Botupingge substation,. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 1098(4), p. 042039. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/4/042039>
- Andriyan, R., Nasrulloh, N., & Murdiantoro, R. A. (2022). Analysis Of Coordination Of Over Current Relay (OCR) And Ground Fault Relay (GFR) On 20 KV Distribution System Case Study At PT. PLN (Persero) ULP Sidareja. *Journal of Electronic and Electrical Power Applications*, 2(1), 43–49.

- Azhar, F., Rahmawati, Y., & Fadlika, I. (2019). Estimasi Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima. *SENIATI*, 2(2), 43–49.
- Dwiyanto T. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di PT. PLN (Persero) Area Sorong. *Electro Lucea*, 4(1), 5 – 14.
- Ediwan, E., Muliadi, M., Mahalla, M., Nazaruddin, N. & Mulkan, A. (2021). The Reconfiguration of Network at 20 kV Distribution System Nagan Raya Substation with the Addition of the Krueng Isep Hydroelectric Power Plant. *JNTE: Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 10(2), 62-70. <https://doi.org/10.25077/jnte.v10n2.888.2021>
- Hamles L. L. (2018). Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 KV di PT. PLN Cabang Ambon. *Jurnal Simetrik*, 8(2), 126 – 132.
- Nugraha, I. M. A., & Desnanjaya, I. G. M. N. (2021). Penempatan Dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Optimal Pada Penyulang Perumnas. *Resistor: Jurnal Rekayasa Sistem Komputer*, 4(1), 33-44. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v4i1.722>
- Putra, Y. A., Prasetyono, R. N., & Murdiantoro, R. A. (2022). The Analysis Of The Effect Of Rainfall dan Overload Imbalance Toward An Electrical Power Loss At PT. PLN (PERSERO) ULP Bumiayu. *Journal of Electronic and Electrical Power Applications*, 2(1), 50–56.
- Sofwan, A, Tias, R. D. & Lubis, N. (2018). Analisis Susut Umur Transformator Akibat Beban Lebih Dengan Penambahan Transformator Distribusi Sisipan. *Jurnal Program Studi Teknik Elektro - ISTN*, XX(1), 24–33.
- Tony K. (2019). Studi Evaluasi Pemadaman Pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 20 kV. *Jurnal Ilmiah Energi & Kelistrikan*, 8(2), 133-136.
- Zainal S., & Tri R. (2019). Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 173 – 180.