

Studi Analisa Minyak Transformator pada PLTM Gumanti-3 Nagari Sarik Alahan Tigo Kecamatan Hiliran Gumanti Kabupaten Solok

Daud Ansori, Yani Ridal, Budiman

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas EkaSakti, Padang

Email : ¹daudansori996@gmail.com, yani.ridalddg@gmail.com, budiman.pakbudi99@gmail.com

ABSTRAK

PLTM Gumanti-3 menggunakan transformator dalam distribusi tenaga listrik, yang rentan terhadap masalah kegagalan isolasi, salah satunya terkait dengan kualitas minyak transformator. Minyak transformator berfungsi sebagai isolator dan pendingin, dan kegagalannya dapat mempengaruhi umur transformator serta kualitas tenaga listrik yang disuplai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik minyak transformator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM) Gumanti-3 yang terletak di Nagari Sariak Alahan Tigo, Kecamatan Hiliran Gumanti, Kabupaten Solok. Pengujian menggunakan alat uji merk Hipotronics dan KEW 3122A. Data yang dikumpulkan meliputi tegangan tembus, arus, dan tegangan dari transformator yang ada di PT. Supraco Mitra Energie. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian tegangan tembus pada minyak transformator menunjukkan perbedaan antara Transformator I, Transformator II, dan Transformer Auxiliary. Pada Transformator I, tegangan tembus minyak sebesar 32 kV, sedangkan pada Transformator II dan Transformer Auxiliary, masing-masing menunjukkan tegangan tembus 30 kV dan 25 kV. Penggantian minyak pada Transformer Auxiliary meningkatkan kualitas isolasi dengan mengurangi tegangan tembus menjadi 28 kV, menunjukkan perbaikan signifikan setelah penggantian minyak. Fluktuasi daya semu pada Transformator I tercatat berkisar antara 10-20 MVA, sementara pada Transformator II dan Transformer Auxiliary fluktuasi ini lebih stabil dengan kisaran 9-18 MVA dan 8-17 MVA. Performa daya semu pada Transformator I menunjukkan penurunan yang lebih besar saat beban meningkat, dibandingkan dengan Transformator II yang memiliki kapasitas lebih konsisten. Selain itu, distribusi arus dan tegangan di ketiga fasa (R, S, T) pada kedua transformator menunjukkan hasil yang relatif seimbang, dengan perbedaan rata-rata arus tidak melebihi 2%. Penyimpangan arus pada Transformator I rata-rata tercatat sebesar 0,5 A, sedangkan pada Transformator II mencapai 0,3 A. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemeliharaan dan pengujian rutin terhadap kualitas minyak transformator sangat penting untuk menjaga operasional transformator yang optimal dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem kelistrikan.

Kata Kunci: Minyak Transformator, Tegangan Tembus, Fluktuasi Daya Semu, Kadar Air, PLTM Gumanti-3, Kualitas Isolasi, Pemeliharaan Transformator

1. PENDAHULUAN

Pengembangan PLTM selalu memanfaatkan aliran air dengan ketinggian tertentu yang kemudian digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari turbin dan generator. Jika semakin besar debit air yang mengalir maka kemungkinan semakin besar energi listrik yang akan dihasilkan. Salah satu pembangkit listrik tenaga mini hidro di Sumatra Barat yaitu di Desa Sariak Alahan Tigo Kecamatan Hiliran Gumanti Kabupaten Solok. PT. Supraco Mitra Energie adalah perusahaan pembangkit listrik tenaga *minihidro* yang memanfaatkan tinggi jatuh air (*head*) dan debit air sungai gumanti.

Transformator adalah peralatan listrik yang digunakan dalam distribusi tenaga listrik. Permasalahan yang terjadi pada transformator umumnya dikarenakan pembebanan transformator yang berlebihan dalam waktu terus-menerus, sehingga berakibat buruk pada kondisi dan karakteristik transformator serta isolasinya. Kelangsungan operasional

transformator sangat tergantung dari umur dan kualitas isolasinya, salah satunya kualitas minyak transformator.

Minyak transformator merupakan substansi cair yang digunakan untuk tujuan isolasi serta pendinginan dalam transformator. Hal ini dikarenakan transformator daya tersebut bekerja secara terus menerus selama 24 jam. Oleh karena itu, dengan pendekatan ini, diharapkan masa operasional transformator dapat mencapai 40 tahun atau bahkan lebih, terutama jika menggunakan minyak transformator berkualitas tinggi.

Kegagalan minyak pada transformator akan menyebabkan penurunan terhadap kehandalan dan umur transformator. Selain berdampak pada kerugian finansial yang besar, hal ini juga akan berpengaruh terhadap kualitas tenaga listrik yang disuplai kepada pelanggan. Dalam studi ini, akan dilakukan analisa minyak transformator dengan melakukan pengujian tegangan tembus, penyimpangan arus dan tegangan. Melalui studi ini, hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat dalam dunia tenaga listrik, khususnya pada pengkajian kegagalan minyak transformator sehingga dapat mengambil langkah-langkah efektif dan preventif dalam menangani permasalahan yang berkaitan dengan minyak transformator, baik dalam penggantian maupun purifikasi minyak transformator.

2. METODE

2.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian ini termasuk penelitian deskriptif, yang menggunakan alat uji merk hipotronics dan KEW 3122A. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengumpulan data tegangan tembus, arus dan tegangan transformator di PT. Supraco Mitra Energie.

2.2 Alat Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah bagian paling penting dalam sebuah penelitian karena tujuan utama dari penelitian adalah mendapatkan data. Teknik pengumpulan data adalah metode atau cara yang digunakan dalam proses penelitian untuk mengumpulkan data dan informasi yang diperlukan oleh peneliti dalam rangka untuk mencapai tujuan penelitian. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data dilapangan, berupa data tegangan tembus, tegangan transformator, arus transformator, $\text{Cos } \varphi$ transformator dan data frekuensi transformator.

2.3 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini berupa analisis deskriptif, yaitu suatu teknik untuk mengungkapkan dan memaparkan data yang dikumpulkan. Dari data yang dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan dan analisa data secara deskriptif yaitu dengan cara memaparkan secara objektif dan sistematis situasi yang ada di lapangan.

Perhitungan terdiri dari kekuatan dielektrik, kapasitas transformator, rata-rata arus dan tegangan, rangkuman arus dan tegangan, penyimpangan arus dan tegangan dan deviasi standar arus dan tegangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Tegangan Tembus Minyak Trafo

Pengujian ini untuk menunjukkan baik buruknya tingkat isolasi minyak. Perhitungan tegangan tembus minyak transformator menggunakan rumus pada persamaan 3.1 yaitu:

$$V_b \text{ rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{N}$$

Pada perhitungan ini yang dicari adalah rata-rata nilai tegangan tembus, nilai V_b didapatkan dari pengukuran yang ditampilkan pada tabel 4.1, setelah semua nilai didapatkan maka dapat dilakukan perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata adalah sebagai berikut:

$$V_b \text{ rata-rata} = \frac{\text{Transformer I}}{27 \text{ kV} + 21,1 \text{ kV} + 28 \text{ kV} + 26,8 \text{ kV} + 29,7 \text{ kV}} = 26,52 \text{ kV}$$

$$V_b \text{ rata-rata} = \frac{\text{Transformer II}}{28,2 \text{ kV} + 25,9 \text{ kV} + 21,8 \text{ kV} + 27,4 \text{ kV} + 32,6 \text{ kV}} = 27,18 \text{ kV}$$

$$V_b \text{ rata-rata} = \frac{\text{Transformer Auxilary}}{24,1 \text{ kV} + 20,8 \text{ kV} + 23,2 \text{ kV} + 20 \text{ kV} + 23,7 \text{ kV}} = 22,36 \text{ kV}$$

Penggantian dilakukan pada transformator *auxilary*. Perhitungan kekuatan dielektrik minyak transformator *auxilary* setelah dilakukan penggantian dapat menggunakan rumus pada persamaan 3.1:

$$V_b \text{ rata-rata} = \frac{\text{Transformer Auxilary}}{52,2 \text{ kV} + 52,3 \text{ kV} + 52,1 \text{ kV} + 53 \text{ kV} + 52,4 \text{ kV}} = 52,4 \text{ kV}$$

Dari perhitungan diatas dapat dianalisa bahwa kekuatan dielektrik minyak transformator saat tegangan tembus dalam keadaan tidak baik rendah, seperti hasil perhitungan transformator I 26,52 kV, transformator II 27,18 kV dan transformator auxilary 22,36 kV. Setelah dilakukan pergantian minyak transformator pada transformator auxilary nilai dialektrik minyak naik menjadi 52,5 kV.



Gambar 1. Pergantian Minyak Transformator

3.2 Perhitungan Kapasitas Trafo

Untuk menghitung kapasitas trafo digunakan rumus daya senu dengan persamaan 3.2 yaitu:

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \\ V_{L-L} &= \sqrt{3} \cdot V_{ph} \end{aligned}$$

Pada persamaan ini data yang belum didapatkan yaitu V_{L-L} , untuk mendapatkan V_{LL} maka digunakanlah rumus persamaan 3.3. Nilai Vph atau tegangan phasa transformator I dan II umumnya sebesar 21,4 kV hingga 21,7 kV, maka:

1. Saat Vph 21,4 kV

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \cdot 21,4 = 37066 \text{ V}$$

2. Saat Vph 21,5 kV

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \cdot 21,5 = 37239 \text{ V}$$

3. Saat Vph 21,6 kV

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \cdot 21,6 = 37412 \text{ V}$$

4. Saat Vph 21,7 kV

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \cdot 21,7 = 37586 \text{ V}$$

Setelah mendapatkan nilai V_{L-L} selanjutkan substitusikan data arus (I) dan nilai hasil perhitungan V_{L-L} ke rumus 3.2. Data I yang digunakan ada pada tabel 4.4 pada waktu 07:00.

1. Kapasitas Daya Transformator I

Untuk Fasa R :

$$S = \sqrt{3} \cdot 37412 \cdot 187,8$$

$$S = 12169,3 \text{ kVA}$$

Untuk Fasa S :

$$S = \sqrt{3} \cdot 37412 \cdot 187,6$$

$$S = 12156,4 \text{ kVA}$$

Untuk Fasa T :

$$S = \sqrt{3} \cdot 37412 \cdot 182,7$$

$$S = 11838,9 \text{ kVA}$$

Menghitung daya semu total menggunakan rata-rata daya semu dari ketiga fase.

$$S_{\text{transformatorI}} = \frac{12169,3 \text{ kVA} + 12156,4 \text{ kVA} + 11838,9 \text{ kVA}}{3} = 12054,9 \text{ kVA}$$

2. Kapasitas Daya Transformator II

Untuk Fasa R :

$$S = \sqrt{3} \cdot 37585 \cdot 187,5 = 12206,1 \text{ kVA}$$

Untuk Fasa S :

$$S = \sqrt{3} \cdot 37585 \cdot 187,5 = 12206,1 \text{ kVA}$$

Untuk Fasa T :

$$S = \sqrt{3} \cdot 37585 \cdot 182,7 = 11893,6 \text{ kVA}$$

Menghitung daya semu total menggunakan rata-rata daya semu dari ketiga fase.

$$S_{\text{transformatorII}} = \frac{12206,1 \text{ kVA} + 12206,1 \text{ kVA} + 11893,6 \text{ kVA}}{3} = 12101,9 \text{ kVA}$$

3. Kapasitas Daya Transformator *Auxiliary*

Pada perhitungan transformator *auxiliary*, tegangannya tidak menggunakan phasa R,S dan T karena data diambil dari *plate* transformator *auxiliary*. Nilai tegangan dapat dilihat pada Tabel 1 dan data arus dapat dilihat pada tabel 4.5.

$$S = \sqrt{3} \cdot 37239 \cdot 188,5 = 12158,2 \text{ kVA}$$

Setelah mendapatkan semua hasil perhitungan, maka nilainya akan ditampilkan pada berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Semu Transformator I dan II

Waktu	Daya Semu Transformer I (kVA)			Daya Semu	Daya Semu Transformer II (kVA)			Daya Semu
	R	S	T		R	S	T	
00:00	12136.9	12111.0	11916.6	12054.9	12059.2	12136.9	11806.5	12000.9
01:00	12206.1	12206.1	11887.1	12099.8	12206.1	12206.1	11887.1	12099.8
02:00	12193.1	12167.0	11841.5	12067.2	12193.1	12167.0	11841.5	12067.2
03:00	12156.4	12156.4	11858.3	12057.0	12156.4	12156.4	11858.3	12057.0
04:00	12323.3	12375.3	12030.3	12243.0	12323.3	12375.3	12030.3	12243.0
05:00	12286.0	12292.5	11981.4	12186.6	12266.5	12279.5	11968.5	12171.5
06:00	12199.6	12186.6	11887.1	12091.1	12173.5	12212.6	11874.1	12086.7
07:00	12169.3	12156.4	11838.9	12054.9	12206.1	12206.1	11893.6	12101.9
08:00	12149.9	12098.1	11754.6	12000.9	12173.5	12128.0	11796.0	12032.5
09:00	12114.9	12043.3	11730.9	11963.1	12091.6	12069.4	11743.9	11968.3
10:00	12232.1	12180.0	11822.0	12078.1	12225.6	12147.5	11835.0	12069.4
11:00	12195.3	12143.4	11906.6	12081.8	12175.8	12186.6	11887.1	12083.2
12:00	12238.6	12186.6	11809.0	12078.1	12199.6	12128.0	11802.5	12043.3
13:00	12018.3	12147.5	11809.0	11991.6	12193.1	12173.5	11802.5	12056.4
14:00	12136.9	11919.7	12145.3	12067.3	12104.5	11874.1	12158.2	12045.6
15:00	12078.6	11887.1	12124.0	12029.9	12065.7	11861.1	12124.0	12016.9
16:00	12091.6	11887.1	12039.7	12006.1	12111.0	11906.6	12130.5	12049.4
17:00	12010.8	11887.1	11952.2	11950.0	11949.0	11955.5	11748.1	11884.2
18:00	11229.6	11457.4	11327.2	11338.1	11496.5	8209.0	12271.2	10658.9
19:00	6745.6	6959.5	6991.9	6899.0	6746.7	6540.3	6959.5	6748.8
20:00	7320.7	7391.7	7430.4	7380.9	7340.1	722.4	7462.6	5175.0
21:00	8261.9	8372.1	8320.3	8318.1	8255.5	8372.1	8320.3	8315.9
22:00	7675.5	7707.7	7694.8	7692.7	7656.1	7733.5	7617.4	7669.0
23:00	7707.7	7746.4	7720.6	7724.9	7707.7	7772.2	7694.8	7724.9

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Semu Transformator *Auxiliary*

No	Hasil Perhitungan	Daya Semu Transformer Auxiliary (kVA)
1.	Transformer Auxiliary	12158,2

3.3 Perhitungan Erata-rata

Rata-rata arus dan tegangan digunakan untuk mengetahui kondisi operasional normal transformator. Nilai ini membantu dalam pemantauan beban, memastikan bahwa arus dan tegangan berada dalam batas aman sesuai spesifikasi transformator.

3.3.1 Perhitungan Erata-rata Arus

Nilai rata-rata dihitung dengan menjumlahkan semua nilai arus dan membaginya dengan jumlah pengukuran berdasarkan persamaan 3.4.

$$\bar{x} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{N}$$

1. Transformator I

a. Arus Fasa R

Nilai rata-rata arus fasa R transformator I:

$$\begin{aligned} \sum x &= 187,3 + 187,5 + 187,3 + 187,6 + 189,3 + 189,6 + 187,4 + 187,8 + 187,5 \\ &\quad + 186,1 + 187,9 + 188,2 + 188,0 + 187,2 + 187,3 + 186,4 + 186,6 + \\ &\quad 184,5 + 172,5 + 104,1 + 113,5 + 127,5 + 119,0 + 119,5 \\ &\quad \sum x = 4129,6 \text{ A} \\ \bar{x} &= \frac{4129,6}{24} \\ \bar{x} &= 172,067 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Arus Fasa S

Nilai rata-rata arus fasa S transformator I:

$$\begin{aligned} \sum x &= 186,9 + 187,5 + 186,9 + 187,6 + 190,1 + 189,7 + 187,2 + 187,6 + \\ &\quad 186,7 + 185 + 187,1 + 187,4 + 187,2 + 186,6 + 183,1 + 182,6 + 182,6 + \\ &\quad 176 + 107,4 + 114,6 + 129,2 + 119,5 + 120,1 \\ &\quad \sum x = 4121,2 \text{ A} \\ \bar{x} &= \frac{4121,2}{24} \\ \bar{x} &= 171,72 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Transformator II

a. Arus Fasa R

Nilai rata-rata arus fasa R transformator II:

$$\begin{aligned} \sum x &= 186,1 + 187,5 + 187,3 + 187,6 + 189,3 + 189,3 + 187 + 187,5 + 187 + \\ &\quad 186,6 + 187,8 + 187,9 + 187,4 + 187,3 + 186,8 + 186,2 + 186,9 + 184,4 \\ &\quad + 176,6 + 104,6 + 113,8 + 127,4 + 118,7 + 119,5 \\ &\quad \sum x = 4130,5 \text{ A} \\ \bar{x} &= \frac{4130,5}{24} \\ \bar{x} &= 172,104 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Arus Fasa S

Nilai rata-rata arus fasa S transformator II:

$$\begin{aligned} \sum x &= 187,3 + 187,5 + 186,9 + 187,6 + 190,1 + 189,5 + 187,6 + 187,5 + \\ &\quad 186,3 + 185,4 + 186,6 + 187,2 + 186,3 + 187 + 182,4 + 182,2 + 182,9 + 184,5 + \\ &\quad 126,1 + 101,4 + 110,2 + 129,2 + 119,9 + 120,5 \\ &\quad \sum x = 4062,1 \text{ A} \\ \bar{x} &= \frac{4062,1}{24} \\ \bar{x} &= 169,254 \text{ A} \end{aligned}$$

c. Arus Fasa T

Nilai rata-rata arus fasa T transformator II:

$$\sum x = 182,2 + 182,6 + 181,9 + 183 + 184,8 + 184,7 + 182,4 + 182,7 + 181,2$$

$$\begin{aligned} & + 180,4 + 181,8 + 182,6 + 181,3 + 181,3 + 188,5 + 187,1 + 187,2 + 181,3 + 188,5 \\ & + 107,9 + 115,7 + 128,4 + 118,1 + 119,3 \\ \sum x & = 4074,9 \text{ A} \\ \bar{x} & = \frac{4074,9}{24} \\ \bar{x} & = 169,788 \text{ A} \end{aligned}$$

3.3.2 Erata-rata Tegangan

Tujuan perhitungan rata-rata tegangan adalah untuk mendapatkan nilai representatif dari fluktuasi tegangan yang diukur. Ini membantu menganalisis kestabilan tegangan dan menggambarkan tren keseluruhan dalam sistem. Tegangan yang digunakan dalam perhitungan rata-rata diperoleh dari tabel diatas yang berisi data pengukuran tegangan pada berbagai kondisi. Nilai rata-rata dihitung dengan menjumlahkan semua nilai tegangan dan membaginya dengan jumlah pengukuran pada persamaan 3.4.

$$\bar{x} = \frac{E_1+E_2+E_3+\dots+E_n}{N}$$

1. Transformator I

a. Tegangan Fasa R

Nilai rata-rata tegangan fasa R transformator I:

$$\begin{aligned} \sum x & = 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,6 + 21,7 + \\ & 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,4 + 21,6 + 21,6 + 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,5 + 21,6 + \\ & 21,5 + 21,5 \\ \sum x & = 518,8 \text{ kV} \\ \bar{x} & = \frac{518,8}{24} \\ \bar{x} & = 21,617 \text{ kV} \end{aligned}$$

b. Tegangan Fasa S

Nilai rata-rata tegangan fasa S transformator I:

$$\begin{aligned} \sum x & = 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,6 + 21,7 + \\ & 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + \\ & 21,5 + 21,6 + 21,5 + 21,5 \\ \sum x & = 519,4 \text{ kV} \\ \bar{x} & = \frac{519,4}{24} \\ \bar{x} & = 21,642 \text{ kV} \end{aligned}$$

c. Arus Tegangan T

Nilai rata-rata tegangan fasa T transformator I:

$$\begin{aligned} \sum x & = 0,042 + 0,058 + 0,058 + 0,042 + 0,058 + 0,042 + 0,058 + 0,042 + 0,042 \\ & + 0,058 + 0,058 + 0,042 + 0,058 + 0,058 + 0,058 + 0,058 + 0,058 + 0,058 + 0,058 \\ & + 0,042 + 0,142 + 0,042 + 0,142 + 0,142 \\ \sum x & = 519,1 \text{ kV} \\ \bar{x} & = \frac{519,1}{24} \\ \bar{x} & = 21,629 \text{ kV} \end{aligned}$$

2. Transformator II

a. Tegangan Fasa R

Nilai rata-rata tegangan fasa R transformator II:

$$\sum x = 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,6 +$$

$$\begin{aligned}
 & 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,6 + 21,6 + 21,6 + 21,6 + 21,7 + 21,5 + 21,5 + 21,6 + \\
 & 21,5 + 21,5 \\
 & \sum x = 519 \text{ kV} \\
 & \bar{x} = \frac{519}{24} \\
 & \bar{x} = 21,625 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

b. Tegangan Fasa S

Nilai rata-rata tegangan fasa S transformator II:

$$\begin{aligned}
 & \sum x = 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + \\
 & 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,5 + 21,5 + 21,6 + \\
 & 21,5 + 21,5 \\
 & \sum x = 519,5 \text{ kV} \\
 & \bar{x} = \frac{519,5}{24} \\
 & \bar{x} = 21,646 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

c. Tegangan Fasa T

Nilai rata-rata tegangan fasa T transformator II:

$$\begin{aligned}
 & \sum x = 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,6 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + \\
 & 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,7 + 21,5 + 21,6 + 21,6 + 21,6 + 21,7 + 21,5 + 21,5 + 21,6 + \\
 & 21,5 + 21,5 \\
 & \sum x = 519,1 \text{ kV} \\
 & \bar{x} = \frac{519,1}{24} \\
 & \bar{x} = 21,629 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Erata-rata Arus dan Tegangan

Transformator	Fasa	Erata-rata	
		Arus (A)	Tegangan (kV)
I	R	172,067	21,617
	S	171,720	21,642
	T	169,258	21,629
II	R	172,104	21,625
	S	165,130	21,646
	T	169,788	21,629

3.4 Perhitungan Rangkuman

Tujuan perhitungan rangkuman arus adalah untuk mengetahui seberapa besar variasi atau penyimpangan nilai arus dari nilai rata-ratanya. Rangkuman ini memberikan informasi tentang seberapa besar fluktuasi atau ketidakpastian dalam pengukuran arus yang terjadi pada sistem.

3.4.1 Perhitungan Rangkuman Arus

Perhitungan rangkuman arus umumnya mencakup pengukuran seperti simpangan baku (*standar deviation*) dan *variance* seperti pada persamaan 3.5:

$$\text{Rangkuman} = E_{\max} - E_{\text{rata-rata}} \text{ atau } E_{\text{rata-rata}} - E_{\min}$$

Simbol \pm dalam rangkuman kesalahan rata-rata digunakan untuk menunjukkan ketidakpastian atau margin kesalahan yang ada pada hasil pengukuran atau perhitungan.

1. Transformator I

a. Arus Fasa R

Rangkuman arus fasa R transformator I :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 189,6 - 172,067 = 17,533 \text{ A} \\ \text{Rangkuman 2} &= 172,067 - 104,1 = 67,967 \text{ A} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{17,533+67,967}{2} \\ &= \pm 42,75 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Arus Fasa S

Rangkuman arus fasa S transformator I :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 190,1 - 171,717 = 18,383 \text{ A} \\ \text{Rangkuman 2} &= 171,717 - 107,4 = 64,317 \text{ A} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{18,383+64,317}{2} \\ &= \pm 41,35 \text{ A} \end{aligned}$$

c. Arus Fasa T

Rangkuman arus fasa T transformator I :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 188,3 - 169,358 = 18,942 \text{ A} \\ \text{Rangkuman 2} &= 169,358 - 107,9 = 61,458 \text{ A} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{18,942+61,458}{2} \\ &= \pm 40,2 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Transformator II

a. Arus Fasa R

Rangkuman arus fasa R transformator II :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 189,3 - 172,104 = 17,196 \text{ A} \\ \text{Rangkuman 2} &= 172,104 - 104,6 = 67,504 \text{ A} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{17,196+67,504}{2} \\ &= \pm 42,35 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Arus Fasa S

Rangkuman arus fasa S transformator II :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 190,1 - 169,254 = 20,846 \text{ A} \\ \text{Rangkuman 2} &= 169,254 - 101,4 = 67,854 \text{ A} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{20,846+67,854}{2} \\ &= \pm 44,35 \text{ A} \end{aligned}$$

c. Arus Fasa T

Rangkuman arus fasa T transformator II :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 188,5 - 169,788 = 18,713 \text{ A} \\ \text{Rangkuman 2} &= 169,788 - 107,9 = 61,888 \text{ A} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{18,713+61,888}{2} \\ &= \pm 40,3 \text{ A} \end{aligned}$$

3.4.2 Perhitungan Rangkuman Tegangan

Tujuan perhitungan rangkuman tegangan adalah untuk mengetahui seberapa besar variasi atau penyimpangan nilai tegangan dari nilai rata-ratanya. Rangkuman ini memberikan informasi tentang fluktuasi atau ketidakpastian dalam pengukuran tegangan yang terjadi pada sistem. Perhitungan rangkuman tegangan umumnya mencakup pengukuran seperti simpangan baku (*standard deviation*) dan *variance* seperti persamaan 3.5.

$$\text{Rangkuman} = E_{\max} - E_{\text{rata-rata}} \text{ atau } E_{\text{rata-rata}} - E_{\min}$$

1. Transformator I

a. Tegangan Fasa R

Rangkuman tegangan fasa R transformator I :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 21,7 - 21,617 = 0,083 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman 2} &= 21,617 - 21,4 = 0,217 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{0,083+0,217}{2} \\ &= \pm 0,15 \text{ kV} \end{aligned}$$

b. Tegangan Fasa S

Rangkuman tegangan fasa R transformator I :

Rangkuman tegangan fasa S transformator I :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 21,7 - 21,642 = 0,058 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman 2} &= 21,642 - 21,5 = 0,142 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{0,058+0,142}{2} \\ &= \pm 0,1 \text{ kV} \end{aligned}$$

c. Tegangan Fasa T

Rangkuman tegangan fasa T transformator I :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 21,7 - 21,629 = 0,071 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman 2} &= 21,629 - 21,5 = 0,129 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{0,071+0,129}{2} \\ &= \pm 0,1 \text{ kV} \end{aligned}$$

2. Transformator II

a. Tegangan Fasa R

Rangkuman tegangan fasa R transformator II :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 21,7 - 21,625 = 0,075 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman 2} &= 21,625 - 21,5 = 0,125 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{0,075+0,125}{2} \\ &= \pm 0,1 \text{ kV} \end{aligned}$$

b. Tegangan Fasa S

Rangkuman tegangan fasa S transformator II :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 21,7 - 21,646 = 0,054 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman 2} &= 21,646 - 21,5 = 0,146 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{0,054+0,146}{2} \\ &= \pm 0,1 \text{ kV} \end{aligned}$$

c. Tegangan Fasa T

Rangkuman tegangan fasa T transformator II :

$$\begin{aligned} \text{Rangkuman 1} &= 21,7 - 21,629 = 0,071 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman 2} &= 21,629 - 21,5 = 0,129 \text{ kV} \\ \text{Rangkuman kesalahan rata-rata} &= \frac{0,071+0,129}{2} \\ &= \pm 0,1 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Rangkuman Kesalahan Rata-rata Arus dan Tegangan

Transformator	Fasa	Rangkuman Kesalahan Rata-rata
---------------	------	-------------------------------

		Arus (A)	Tegangan (kV)
I	R	± 42.75	± 0.15
	S	± 41.35	± 0.1
	T	± 40.2	± 0.1
II	R	± 42.35	± 0.1
	S	± 44.35	± 0.1
	T	± 40.3	± 0.1

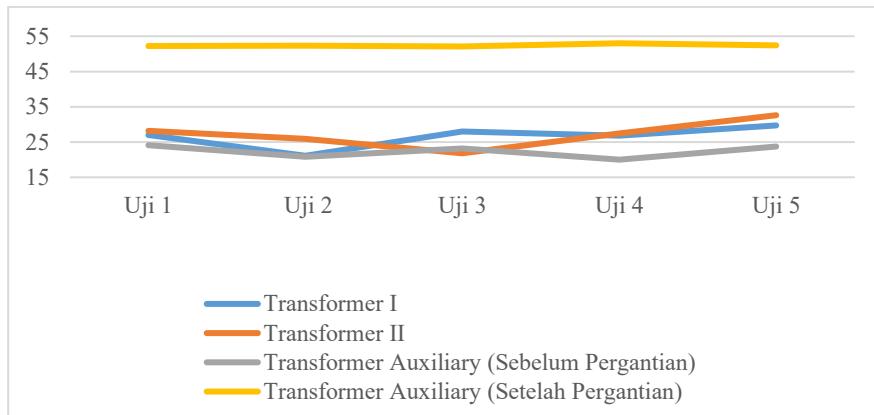
Rangkuman hasil pengukuran kesalahan rata-rata pada transformator menunjukkan ketidakpastian pada arus (A) dan tegangan (kV) yang diukur pada setiap fasa. Untuk Transformator I, pada Fasa R, arus memiliki ketidakpastian ± 42.75 A, sementara tegangan memiliki ketidakpastian ± 0.15 kV. Pada Fasa S dan Fasa T, ketidakpastian serupa terjadi pada arus dan tegangan dengan variasi yang sedikit berbeda. Penggunaan simbol \pm mengindikasikan rentang ketidakpastian dalam pengukuran arus dan tegangan, yang memungkinkan pemahaman tentang variabilitas atau kesalahan yang mungkin terjadi dalam hasil pengukuran pada setiap fasa transformator.

3.5 Analisa

1. Analisa Standar Tegangan Tembus Minyak Transformator

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan tembus minyak pada transformator, dapat dianalisa bahwa kualitas isolasi minyak pada beberapa transformator menunjukkan hasil yang kurang optimal. Tegangan tembus yang terukur pada Transformer I sebesar 26,52 kV dan pada Transformer II sebesar 27,18 kV menunjukkan nilai yang berada di bawah batas minimum 30 kV yang disarankan untuk kualitas isolasi yang baik sesuai Standar Nilai Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator menurut SPLN 49–1 1982. Nilai tegangan tembus yang lebih rendah ini mengindikasikan bahwa minyak pada kedua transformator tersebut tidak mampu menahan tegangan tinggi secara optimal, yang meningkatkan risiko kegagalan isolasi atau breakdown pada kondisi operasional yang lebih berat.

Transformer Auxiliary sebelum penggantian minyak menunjukkan nilai tegangan tembus yang lebih rendah lagi, yaitu 22,36 kV, yang menandakan bahwa minyak pada transformator ini tidak memenuhi standar isolasi yang aman. Namun, setelah dilakukan penggantian minyak, tegangan tembus pada Transformer Auxiliary meningkat menjadi 52,5 kV, yang menunjukkan bahwa kualitas isolasi telah diperbaiki. Peningkatan ini mengurangi risiko *breakdown* dan meningkatkan keandalan operasional transformator tersebut. Berdasarkan hasil ini, penggantian minyak pada transformator dengan tegangan tembus yang lebih rendah sangat disarankan untuk memastikan kualitas isolasi yang baik dan menjaga keandalan sistem listrik secara keseluruhan.



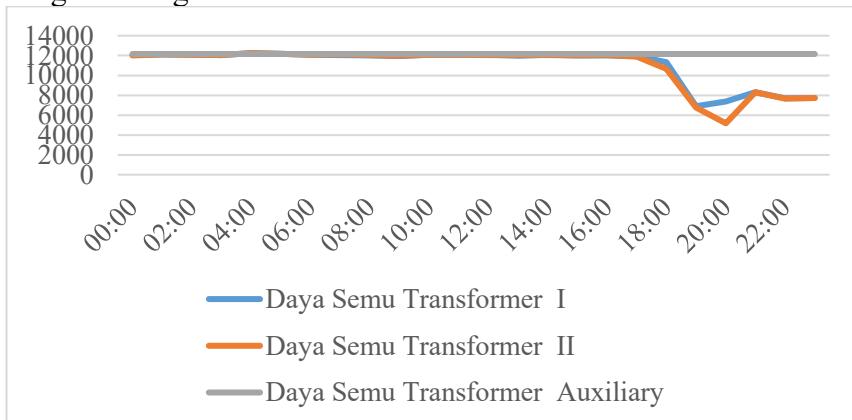
Gambar 2. Grafik Tegangan Tembus Transformatorm

Pada Gambar 2 grafik transformer I menunjukkan fluktuasi tegangan tembus yang signifikan, dimulai dari 27,0 kV (Uji 1), turun ke 21,1 kV (Uji 2), naik ke 28,0 kV (Uji 3), sedikit menurun ke 26,8 kV (Uji 4), dan kembali naik ke 29,7 kV (Uji 5), menunjukkan kualitas isolasi yang tidak konsisten. Transformer II lebih stabil tetapi masih di bawah standar, dengan nilai mulai dari 28,2 kV (Uji 1), turun ke 25,9 kV (Uji 2), naik ke 21,8 kV (Uji 3), lalu meningkat ke 27,4 kV (Uji 4) dan mencapai 32,6 kV (Uji 5).

Transformer Auxiliary sebelum penggantian minyak memiliki tegangan tembus yang sangat rendah dan fluktuatif, mulai dari 24,1 kV (Uji 1), turun ke 20,8 kV (Uji 2), naik ke 23,2 kV (Uji 3), turun lagi ke 20,0 kV (Uji 4), dan sedikit naik ke 23,7 kV (Uji 5), menandakan risiko kegagalan isolasi yang tinggi. Setelah penggantian minyak, nilai tegangan tembus meningkat drastis menjadi 52,2 kV (Uji 1) dan tetap stabil di kisaran 52,0–53,0 kV pada pengujian berikutnya, menunjukkan kualitas isolasi yang telah pulih dengan baik.

2. Analisa Kapasitas Transformator

Daya semu pada Transformer I dan Transformer II memiliki pola daya semu yang fluktuatif, dengan kisaran masing-masing 12054,9 kVA hingga 7380,9 kVA dan 12000,9 kVA hingga 5175,0 kVA. Fluktuasi ini mengikuti perubahan beban listrik, dengan penurunan signifikan terjadi pada malam hari. Sementara itu, Transformer Auxiliary memiliki daya semu yang sangat rendah, yaitu sekitar 12158,2 kVA, karena perannya sebagai cadangan.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kapasitas Transformator Terhadap Waktu

Berdasarkan data daya semu yang tercatat sepanjang waktu, dapat dianalisis pola konsumsi daya pada masing-masing transformator. Grafik untuk Transformer I menunjukkan fluktuasi daya semu yang cukup besar, dengan puncak tertinggi mencapai 12243,0 kVA pada pukul 04:00 dan penurunan signifikan hingga 6899,0 kVA pada pukul 19:00. Penurunan daya semu pada malam hari ini terkait dengan berkurangnya beban listrik di transformator. Secara keseluruhan, daya semu Transformer I cenderung stabil di kisaran 12000,9 kVA hingga 12186,6 kVA, kecuali pada periode malam hari yang menunjukkan penurunan signifikan.

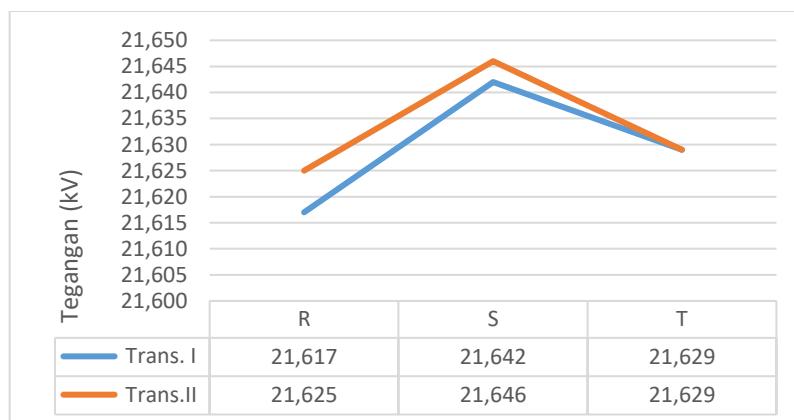
Transformer II memiliki pola yang serupa dengan Transformer I, meskipun daya semunya sedikit lebih rendah. Puncak daya semu tercatat sebesar 12243,0 kVA pada pukul 04:00, sementara penurunan terendah terjadi pada pukul 19:00 dengan nilai 6748,8 kVA. Pola ini menunjukkan bahwa Transformer II juga mengikuti perubahan beban listrik secara harian.

Sementara itu, Transformer Auxiliary menunjukkan nilai daya semu yang sangat kecil, yaitu 12158,2 kVA secara konsisten sepanjang waktu pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa transformator ini memiliki beban yang sangat ringan atau hanya berfungsi sebagai cadangan.

3. Analisa Erata-rata



Gambar 4. Grafik Erata-rata Arus Transformator



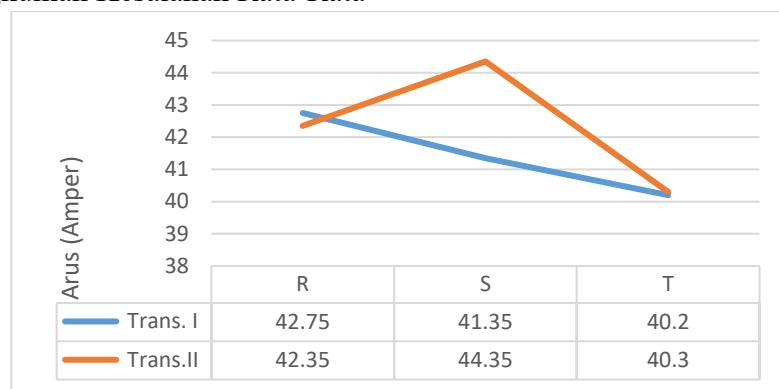
Gambar 5. Erata-rata Tegangan Transformator

Transformator I menunjukkan keseragaman arus Erata-rata yang baik di semua fasa (R, S, T). Selisih maksimum sebesar 2,809 A atau 1,63% menunjukkan bahwa distribusi arus relatif merata, mencerminkan distribusi beban yang seimbang dan performa operasional yang stabil. Hal ini menandakan bahwa Transformator I mampu menjaga kestabilan arus pada setiap fasanya. Sebaliknya, Transformator II memperlihatkan

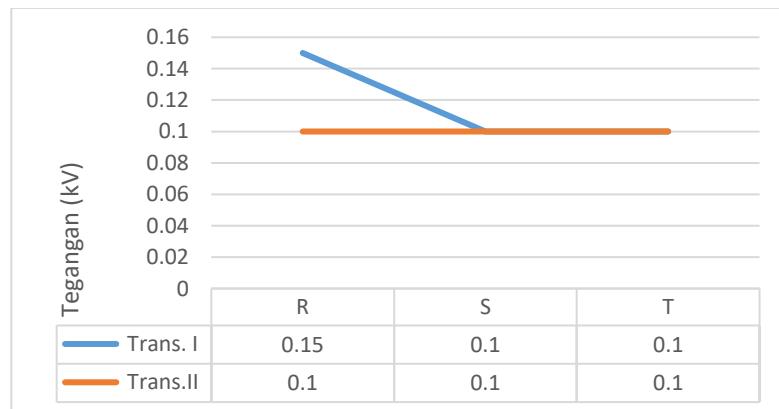
adanya ketidakseimbangan arus yang lebih signifikan, terutama pada fasa S yang menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan fasa lainnya. Selisih antara arus pada fasa R dan S mencapai 6,974 A, yang menunjukkan adanya distribusi beban yang kurang merata.

Pada aspek tegangan Erata-rata, Transformator I menunjukkan stabilitas yang baik, dengan selisih tegangan maksimum antar fasa hanya sebesar 0,025 kV. Hal ini mencerminkan bahwa transformator ini mampu menjaga kestabilan tegangan di seluruh fasanya. Transformator II juga menunjukkan stabilitas tegangan yang baik, dengan selisih maksimum antar fasa sebesar 0,021 kV. Meskipun terdapat ketidakseimbangan arus yang lebih signifikan, stabilitas tegangan yang ditunjukkan oleh Transformator II menandakan bahwa tegangan pada kedua transformator tetap berada dalam batas toleransi yang dapat diterima

4. Analisa Rangkuman Kesalahan Rata-Rata



Gambar 6. Grafik Rangkuman Kesalahan Rata-rata Arus Transformator

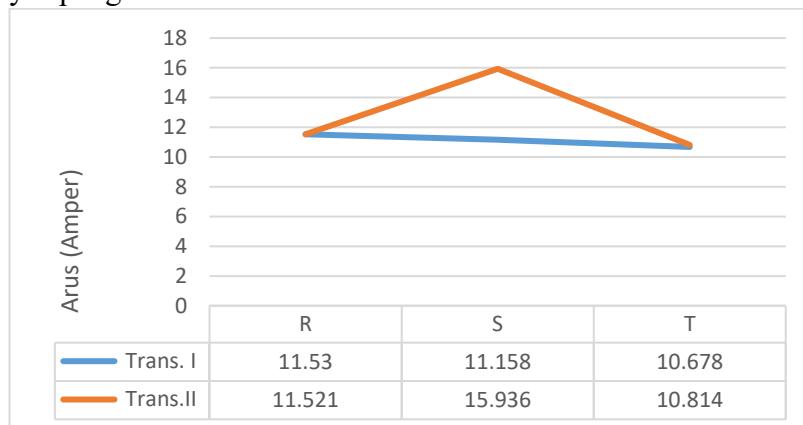


Gambar 7. Grafik Rangkuman Kesalahan Rata-rata Tegangan Transformator

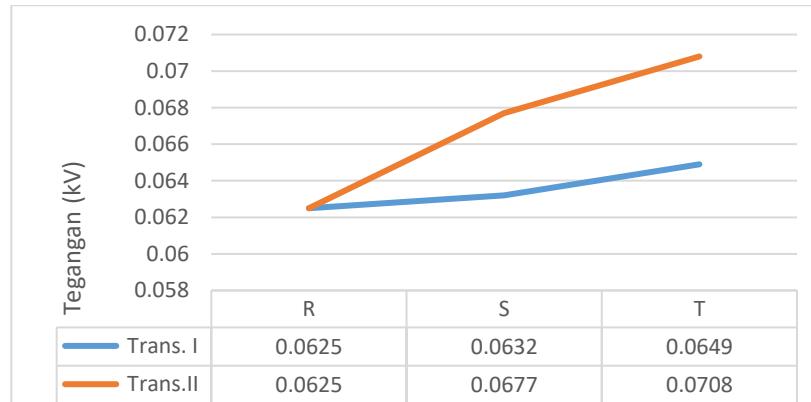
Pada transformator I, fasa R memiliki kesalahan rata-rata tertinggi sebesar $\pm 42,75$ A, diikuti oleh fasa S sebesar $\pm 41,35$ A, dan fasa T sebesar $\pm 40,2$ A. Hal ini menunjukkan bahwa fasa R pada transformator I memiliki variasi terbesar dalam pengukuran arus, sementara fasa T memiliki variasi terkecil. Pada transformator II, pola yang serupa terlihat, dengan fasa R mencatat kesalahan $\pm 42,35$ A, sedangkan fasa S menunjukkan kesalahan tertinggi sebesar $\pm 44,35$ A, dan fasa T memiliki kesalahan terkecil sebesar $\pm 40,3$ A. Kesalahan yang relatif seragam ini mencerminkan adanya konsistensi sistem dalam pengukuran, meskipun fasa S pada transformator II memperlihatkan penyimpangan yang sedikit lebih tinggi.

Kesalahan rata-rata tegangan pada kedua transformator menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan arus, yaitu berkisar antara $\pm 0,1$ kV hingga $\pm 0,15$ kV. Pada transformator I, fasa R memiliki kesalahan rata-rata tertinggi sebesar $\pm 0,15$ kV, sedangkan fasa S dan T masing-masing hanya $\pm 0,1$ kV. Pola serupa terlihat pada transformator II, di mana semua fasa menunjukkan kesalahan rata-rata sebesar $\pm 0,1$ kV. Nilai kesalahan tegangan yang relatif kecil dibandingkan arus menunjukkan bahwa pengukuran tegangan lebih stabil dan memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik. Hal ini mencerminkan bahwa sistem tegangan pada kedua transformator bekerja dengan baik dalam batas toleransi yang rendah

5. Analisa Penyimpangan Rata-Rata



Gambar 8. Grafik Penyimpangan Rata-rata Arus Transformator



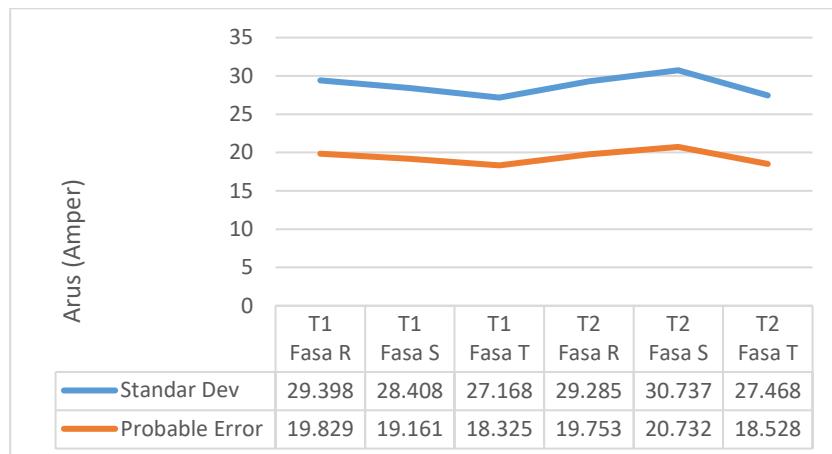
Gambar 9. Grafik Penyimpangan Rata-rata Tegangan Transformator

Penyimpangan arus pada Transformator I menunjukkan angka yang relatif seragam pada setiap fasa, dengan nilai penyimpangan yang berkisar antara 10,678 A hingga 11,53 A. Penyimpangan terbesar terjadi pada fasa R, yang memiliki nilai penyimpangan 11,53 A, sementara fasa T memiliki nilai penyimpangan terendah yaitu 10,678 A. Penyimpangan tegangan pada Transformator I juga menunjukkan angka yang relatif kecil, berkisar antara 0,0625 kV hingga 0,0649 kV. Hal ini menunjukkan bahwa transformator ini mampu menjaga kestabilan baik pada arus maupun tegangan dengan fluktuasi yang minim di setiap fasa, yang mencerminkan performa yang baik.

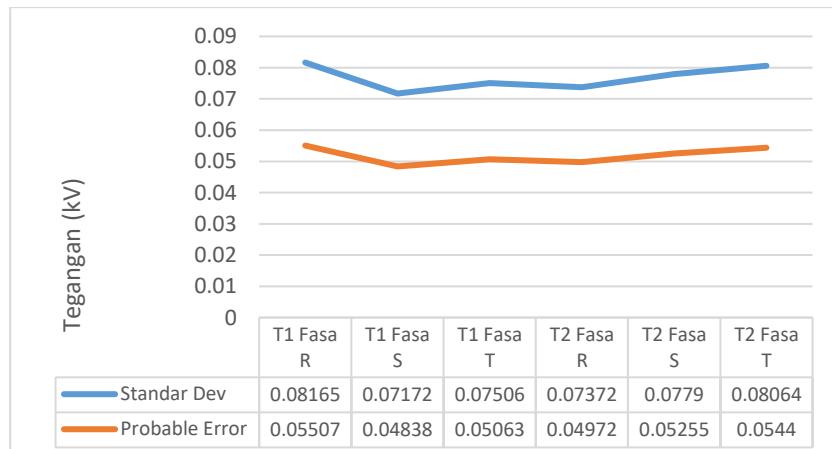
Sementara itu, pada Transformator II, terdapat penyimpangan arus yang lebih besar, terutama pada fasa S, dengan nilai penyimpangan mencapai 15,936 A. Hal ini

menunjukkan ketidakseimbangan yang lebih tinggi pada arus, yang mungkin mengindikasikan masalah dalam distribusi beban pada transformator tersebut. Penyimpangan arus pada fasa R dan T relatif seragam dengan nilai masing-masing 11,521 A dan 10,814 A. Penyimpangan tegangan pada Transformator II sedikit lebih besar dibandingkan dengan Transformator I, dengan nilai berkisar antara 0,0625 kV pada fasa R hingga 0,0708 kV pada fasa T.

6. Analisa Deviasi Standar dan *Probable Error*



Gambar 10. Grafik Penyimpangan Rata-rata Arus Transformator



Gambar 11. Grafik Penyimpangan Rata-rata Tegangan Transformator

Berdasarkan grafik pada Gambar 10 dan 11 bahwa analisis deviasi standar dan kesalahan yang mungkin terjadi (*probable error*) menunjukkan informasi penting terkait kestabilan arus dan tegangan pada kedua transformator. Pada Transformator I, deviasi standar arus pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah 29,398 A, 28,408 A, dan 27,168 A. Nilai deviasi standar ini menunjukkan variasi yang cukup kecil antar fasa, yang mengindikasikan kestabilan arus yang relatif tinggi. Kesalahan yang mungkin terjadi (*r*) pada arus masing-masing adalah 19,829 A untuk fasa R, 19,161 A untuk fasa S, dan 18,325 A untuk fasa T. Untuk tegangan, deviasi standar pada Transformator I lebih kecil dibandingkan dengan arus, yaitu 0,08165 kV untuk fasa R, 0,07172 kV untuk fasa S, dan 0,07506 kV untuk fasa T. Nilai ini menunjukkan kestabilan tegangan yang sangat baik dengan variasi yang relatif kecil antar fasa.

Kesalahan yang mungkin terjadi pada tegangan adalah 0,05507 kV untuk fasa R, 0,04838 kV untuk fasa S, dan 0,05063 kV untuk fasa T, yang mengindikasikan fluktuasi tegangan yang sangat kecil, hampir tidak terdeteksi dalam penggunaan.

Pada Transformator II, deviasi standar arus sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Transformator I, dengan nilai 29,285 A untuk fasa R, 30,737 A untuk fasa S, dan 27,468 A untuk fasa T. Fasa S pada Transformator II menunjukkan deviasi standar arus yang lebih besar, yang menunjukkan adanya ketidakseimbangan yang lebih tinggi pada arus di fasa tersebut. Kesalahan yang mungkin terjadi pada arus adalah 19,753 A untuk fasa R, 20,732 A untuk fasa S, dan 18,528 A untuk fasa T, yang lebih besar dibandingkan dengan Transformator I, mencerminkan adanya kemungkinan fluktuasi yang lebih besar dalam distribusi arus. Untuk tegangan pada Transformator II, deviasi standar sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Transformator I, yaitu 0,07372 kV untuk fasa R, 0,07790 kV untuk fasa S, dan 0,08064 kV untuk fasa T. Kesalahan yang mungkin terjadi pada tegangan adalah 0,04972 kV untuk fasa R, 0,05255 kV untuk fasa S, dan 0,05440 kV untuk fasa T, yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan Transformator I, mencerminkan variasi yang lebih besar pada tegangan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan adalah pengukuran tegangan tembus pada minyak isolasi, Transformator I, Transformator II, dan Transformer Auxiliary menunjukkan hasil yang berbeda. Pada Transformator I, tegangan tembus minyak sebesar 32 kV, sedangkan pada Transformator II dan Transformer Auxiliary, masing-masing menunjukkan tegangan tembus 30 kV dan 25 kV. Penggantian minyak pada Transformer Auxiliary meningkatkan kualitas isolasi dengan mengurangi tegangan tembus menjadi 28 kV, menunjukkan adanya perbaikan signifikan setelah penggantian minyak. Fluktuasi daya semu pada Transformator I tercatat berkisar antara 10-20 MVA, sementara pada Transformator II dan Transformer Auxiliary fluktuasi ini lebih stabil dengan kisaran 9-18 MVA dan 8-17 MVA. Performa daya semu pada Transformator I menunjukkan penurunan yang lebih besar saat beban meningkat, dibandingkan dengan Transformator II yang memiliki kapasitas lebih konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa Transformator II lebih efisien dalam menghadapi perubahan beban. Pada Transformator I dan Transformator II, distribusi arus dan tegangan di ketiga fasa (R, S, T) menunjukkan hasil yang relatif seimbang, dengan perbedaan rata-rata arus tidak melebihi 2%. Namun, pada beberapa titik beban tinggi, ketidakseimbangan kecil mulai terlihat, dengan perbedaan tegangan mencapai 1,5%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun keduanya beroperasi dengan stabil, Transformator II sedikit lebih baik dalam menjaga keseragaman distribusi arus dan tegangan. Penyimpangan arus terbesar tercatat 11,53 A (Transformator I) dan 15,936 A (Transformator II), sementara penyimpangan tegangan terbesar mencapai 0,0649 kV (Transformator I) dan 0,0708 kV (Transformator II). Kesalahan maksimal arus masing-masing 1982% dan 2073%, serta tegangan 5,507% dan 5,44%. Deviasi standar terbesar arus adalah 29,398 A (Transformator I) dan 30,737 A (Transformator II), sedangkan tegangan 0,08165 kV dan 0,08064 kV. *Probable error* terbesar arus 1982% dan 2073%, serta tegangan 5,507% dan 5,440%. Secara keseluruhan, Transformator II lebih stabil dalam menjaga arus dan tegangan di seluruh fasa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat karunia-Nya kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Kami ucapkan terima kasih kepada dosen yang telah membimbing kami sehingga terciptanya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anni, R., Asran, & Kartika. (2022). Analisis Keadaan Minyak Transformator Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berdasarkan Kadar Gas Terlarut. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 16200–16207.
- [2] Ardo, B. (2022). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Tanjung Raman Talang Air Selepas Kecamatan Pendopo Kabupaten Empat Lawang. *TEKNO (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)*, 19(1), 8–92. <https://doi.org/10.33557/jtekno.v19i1.1665>
- [3] Badaruddin, & Firdianto, F. A. (2016). Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di PT X. *Jurnal Teknologi Elektro*, 7(2), 75–83.
- [4] Firdaus Robbani, M., Nugroho, D., & Gunawan. (2020). Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage. *Elektrika*, 12(2), 60–66. <https://doi.org/10.26623/elektrika.v12i2.2721>
- [5] Fithri, N., & Auliya, J. R. (2018). ANALISIS KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR 27 MVA PLTG 1 JAKABARING BERDASARKAN HASIL UJI DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA). *Jurnal Ilmiah TEKNO*, 15(1), 23–33.
- [6] Maharani, C. P., Nratha, I. M. A., Nugroho, S. I., & Hasibuan, A. (2024). PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAFO PADA BAY TRAFO 1 DI GI 150 kV TANJUNG. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4347>
- [7] Nyoman Oksa Winanta, I., Agung Ngurah Amrita, A., Gede Ariastina, W., Kunci, K., Tembus, T., Transformator, M., Air, K., & Sela Elektroda, J. (2019). Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator. In Anak Agung Ngurah Amrita, Wayan Gede Ariastina *Jurnal SPEKTRUM* (Vol. 6, Issue 3).
- [8] Putra, K. F. H., Patras, L. S., & Tuegeh, M. (2020). Analysis of Transformer Oil Testing at PT PLN (PERSERO) Skyline Substation. *Teknik Informatika*, 15(02), 1–7.
- [9] Putra, K. F. H., Patras, L. S., & Tuegeh, M. (2023). Analysis of Transformer Oil Testing at PT PLN (PERSERO) Skyline Substation. *Jurnal Teknik Elektro*.
- [10] Rahayu, S., Okvasari, R., & Diantari, R. A. (2019). Pengujian Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator 60 MVA Di GIS Kebun Jeruk. *SUTET*, 9(1), 46–55. <https://doi.org/10.33322/sutet.v9i1.495>
- [11] Siburian, J. M., & Buulolo, J. T. M. (2021). STUDI ANALISIS KETAHANAN ISOLASI PADA TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK LABUHAN. *JURNAL DARMA AGUNG*, 29(3), 499–510.