

STUDI PENGARUH BEBAN TAK SEIMBANG PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI GARDU SL.247 DI PT PLN (PERSERO) ULP SUNGGAL

STUDY OF THE INFLUENCE OF UNBALANCED LOAD ON SL.247 SUBSTATION DISTRIBUTION TRANSFORMERS AT PT PLN (PERSERO) ULP SUNGGAL

Mhd. Ridho Al Hafizh

Program Studi Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan
Email: ridhohafizh@students.polmed.ac.id

Abstract

The increasing demand for new pairs of electrical energy is often not managed properly so that the installation of 1 phase power is not balanced with the use of 3 phases. This causes an unbalanced load to be borne by the distribution transformer. Very high temperatures in the winding cause damage to the insulation and an increase in temperature causes the insulation value of the transformer oil to decrease, the decrease in the insulation level affects the useful life of the transformer. What percentage is generated due to the load imbalance? The aim is expected to be able to optimize the ability of distribution transformers in distributing electrical energy to consumers. According to SPLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) where the good imbalance between phase currents is <10% and bad ones are $\geq 25\%$, also the neutral current TR (% of transformer load current) is good <10% and bad ones are $\geq 20\%$. Seen from table 4.4, the average current is calculated which is 86.6 amperes, the percentage of load unbalance is calculated which is 47.3%. The large percentage of load unbalance produces a current of 41 amperes at the transformer neutral. Power loss due to load imbalance on the transformer increases up to 1,840.6 Watts. The amount of power loss produces high heat in the transformer of 1,590,278.4 Joules. So load equalization is carried out to increase the reliability of the transformer and extend the life of the transformer which gets good results by reducing the percentage of load unbalance on the transformer to 2.6%. In this case the load on the distribution transformer is balanced. The neutral current flowing decreased to 3 amperes. The power loss of the distribution transformer at a balanced load is 936.3 Watt. The amount of heat generated at the balanced load decreased to 808,963.2 Joules.

Keywords: Effect of Unbalanced Load, Distribution, Transformer

Abstrak

Meningkatnya permintaan pasang baru energi listrik sering tidak termenejemen dengan baik sehingga pemasangan daya 1 fasa tidak seimbang dengan pemakaian 3 fasa. Hal tersebut menyebabkan terjadinya beban tak seimbang yang ditanggung oleh transformator distribusi. Temperatur yang sangat tinggi pada belitan mengakibatkan kerusakan pada isolasi dan kenaikan temperatur mengakibatkan nilai isolasi dari minyak transformator menurun, penurunan tingkat isolasi berpengaruh pada masa guna dari transformator tersebut. Berapakah persentase yang dihasilkan akibat ketidakseimbangan beban tersebut? Tujuannya diharapkan dapat mengoptimalkan kemampuan transformator distribusi dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen. Menurut SPLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) yang dimana ketidakseimbangan arus antar fasa yang baik < 10% dan yang buruk $\geq 25\%$, juga besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo) yang baik < 10% dan yang buruk $\geq 20\%$. Dilihat dari tabel 4.4, dihitunglah besar arus rata-rata yang dimana sebesar 86,6 amper, dihitunglah persentase ketidakseimbangan beban yang dimana besarnya 47,3%. Besarnya persentase ketidakseimbangan beban tersebut menghasilkan arus sebesar 41 amper pada netral transformator. Rugi daya akibat ketidakseimbangan beban pada transformator meningkat hingga 1.840,6 Watt. Besarnya rugi daya menghasilkan panas yang tinggi pada transformator sebesar 1.590.278,4 Joule. Maka dilakukanlah pemerataan beban untuk meningkatkan keandalan pada tranformator dan memperpanjang masa pakai transformator yang dimana mendapatkan hasil yang bagus dengan menurunnya persentase ketidakseimbangan beban pada transformator menjadi 2,6%. Dalam hal ini beban pada transformator distribusi telah seimbang. Arus netral yang mengalir menurun menjadi 3 amper. Rugi daya transformator distribusi pada beban seimbang sebesar 936,3 Watt. Besar panas yang dihasilkan pada beban seimbang menurun menjadi 808.963,2 Joule.

Kata Kunci: Pengaruh Beban Tak Seimbang, Distribusi, Transformator

I. PENDAHULUAN

Kota Medan semakin lama mengalami peningkatan permintaan pemasangan baru pemakaian energi listrik dikarenakan pembangunan pemukiman baru dan kawasan industri yang juga semakin bertambah. Meningkatnya permintaan pemasangan baru pemakaian energi tersebut kadang sering tidak termenejemen dengan baik sehingga pemasangan daya 1 fasa kadang tidak seimbang dengan pemakaian 3 fasa. Hal tersebut menyebabkan terjadinya beban yang tidak seimbang yang ditanggung oleh sebuah transformator distribusi. Hal tersebut berdampak pada keberlangsungan umur pakai transformator distribusi.

Menurut Krisnadi (2011) Mengungkapkan bahwa "Temperatur yang sangat tinggi pada belitan akan mengakibatkan kerusakan pada isolasi dan kenaikan temperatur tersebut dapat mengubah sifat isolator minyak trafo yang mengakibatkan nilai isolasi dari minyak menurun dan penurunan kemampuan tingkat isolasi berpengaruh pada masa guna dari transformator tersebut"

Transformator distribusi yang beban penyaluran energi listriknya tidak seimbang dapat menyebabkan peningkatan temperatur pada sebagian lilitan fasanya, panas yang melebihi daya tahan transformator menyebabkan minyak trafo menjadi menguap dan akhirnya mengalami kebocoran dan semakin lama akan habis didalam tranformator itu sendiri. Jika minyak pada tansformator sudah habis, maka tahanan isolasi pada trasnformator menurun, pendingin transformator juga berkurang, lambat laun transformator akan overheat dan memungkinkan terjadinya short circuit pada lilitan transformator.

Sesuai dengan SPLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) yang dimana ketidakseimbangan arus antar fasa yang baik $< 10\%$ dan yang buruk $\geq 25\%$, juga besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo) yang baik $< 10\%$ dan yang buruk $\geq 20\%$. Salah satu kasus mengenai transformator yang mengalami overheat akibat beban tidak seimbang yaitu terjadi di gardu distribusi SL.247 di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Sunggal. Transformator yang mengalami overheat akibat beban tidak seimbang menyebabkan pemadaman listrik di wilayah tersebut.

Tentu hal itu menunjukkan perlu adanya tindakan terhadap transformator distribusi tersebut dengan memperhatikan letak beban dan kondisi pakai transformator, maka dilakukanlah pemerataan beban dan penggantian transformator distribusi yang telah short circuit dan kebocoran pada minyak transformator akibat panas berlebih pada belitan transformator tersebut.

Penggantian Transformator Distribusi merupakan langkah yang tepat yang dilakukan oleh pihak PT PLN (Persero) ULP Sunggal untuk memulihkan kembali penyaluran energi listrik kepada konsumen listrik di daerah tersebut. Dari kasus tersebut penulis akan melakukan "STUDI PENGARUH BEBAN TAK SEIMBANG PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI GARDU SL.247 DI PT PLN (PERSERO) ULP SUNGGAL".

Pada jurnal ini penulis mengulas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan membahas mengenai sistematika penulisan penelitian. Dalam pembahasan dan penulisan penelitian ini, penulis membatasi permasalahan hanya membahas tentang ketidakseimbangan beban, rugi (losses) yang muncul akibat ketidakseimbangan beban, besar arus netral yang mengalir pada sekunder transformator, panas yang timbul akibat ketidakseimbangan beban, serta kemungkinan suhu yang muncul pada transformator akibat ketidaksimbangan beban tersebut.

II. LANDASAN TEORI

Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM) Lingkup jaringan tegangan menengah pada sistem distribusi di Indonesia dimulai dari Busbar keluaran (out-going) Pemutus Tenaga pada Transformator penurun tegangan di gardu induk, hingga peralatan pemisah/proteksi sisi masukan (in-coming) transformator distribusi 20 KV. Jaringan tegangan menengah secara umum di kelompokkan menjadi 2, yaitu: 1) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) SUTM merupakan sistem pendistribusian energi listrik melalui kawat penghantar yang ditopang dengan tiang listrik. SUTM disebut saluran udara tegangan menengah dikarenakan kawat penghantarnya yang bertegangan menengah berada di udara. SUTM menggunakan kawat penghantar dengan jenis AAAC (All Aluminium Alloy Conductor). Kawat penghantar AAAC yang ditumpu/bergantung pada isolator, dibentangkan dari satu tiang listrik ke tiang listrik lainnya. Salah satu kelemahan paling menonjol dari SUTM adalah tingginya angka gangguan temporer. Lebih dari 80% gangguan dari SUTM tercatat sebagai gangguan temporer. Gangguan temporer adalah gangguan yang terjadi hanya sesaat namun cukup untuk membuat alat pemutus bekerja sehingga jaringan padam. Karena gangguan ini bersifat sementara, maka biasanya setelah beberapa saat padam, kemudian pemutus tenaga penyulang dimasukkan kembali maka penyulang akan menyala kembali dengan aman tanpa diketahui penyebab gangguan dengan jelas.

Kelebihan:

- a) Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya untuk perluasan beban.
- b) Lebih mudah pemasangannya
- c) Bila terjadi gangguan hubung singkat, mudah diatasi dan dideteksi.
- d) Dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan 20 KV.

Kelemahan:

- a) Mudah terpengaruh oleh cuaca buruk, badai, petir, tertimpa pohon.
- b) Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi, akan mengakibatkan tegangan drop lebih tinggi.
- c) Ongkos pemeliharaan lebih mahal.

SKTM merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel yang di tanam di dalam tanah. Saluran bawah tanah atau biasa dikenal sebagai Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) memiliki fungsi yang sama seperti SUTM, yaitu memasok daya ke pusat beban. Bedanya, SKTM konstruksinya ada di bawah tanah dan karenanya penghantarnya berupa kawat berisolasi penuh (kabel). Kabel untuk SKTM ada yang berisolasi kertas (PILC), tetapi saat ini yang banyak digunakan adalah kabel berisolasi XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*). Biaya investasi per kilometer SKTM sangat jauh lebih mahal dibandingkan biaya investasi SUTM. Karenanya keputusan pemilihan penggunaan SKTM menggantikan SUTM sebagai penyulang harus benar-benar melalui pertimbangan yang teliti, baik pertimbangan teknis, finansial maupun pertimbangan.

Kelebihan:

- a) Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, badai, petir, tertimpa pohon, dsb.
- b) Tidak mengganggu pemandangan, bila terjadi adanya bangunan yang tinggi.
- c) Mempunyai batas umur dua kali lipat dari saluran udara
- d) Ongkos pemeliharaan lebih murah.

Kelemahan:

- a) Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara.
- b) Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah.
- c) Tidak dapat menghindari bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.

a) Gardu Distribusi Tegangan Menengah 20 KV

Pada gardu distribusi terdapat material-material yang mendukung tersalurnya energi listrik dengan andal hingga ke konsumen. Gardu Distribusi berisi penghantar, Peralatan Pemutus dan proteksi, Transformator *Step Down* 20 kv/230-400 volt dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR).

Fungsi gardu distribusi, yaitu:

- 1) menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk menyalurkan tenaga listrik pada konsumen tegangan menengah ataupun tegangan rendah
- 2) menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah dan disalurkan ke konsumen tegangan rendah
- 3) menyalurkan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya ke gardu hubung.

Gardu Distribusi Tegangan Menengah 20 KV terbagi menjadi 2, yaitu:

- 1) Gardu Pasang Luar
- 2) Gardu Pasang Dalam

b) Gardu Pasang Luar Tegangan Menengah 20 KV

Pada gardu pasang luar merupakan gardu distribusi yang terpasang diluar ruangan, tepatnya terdapat pada tiang. Gardu pasang luar terdiri dari tiang konstruksi tunggal dan tiang portal. Pada Gardu pasang luar berisi penghantar, peralatan isolasi, Peralatan Pemutus dan Proteksi, Transformator Distribusi 20 KV/400-240 V, dan Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR).

c) Isolator

Isolator jaringan listrik adalah suatu alat yang menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektrik dua kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus atau *flash over* yang mengakibatkan kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mencegah kerusakan peralatan listrik akibat tegangan lebih dan bunga api adalah menentukan penggunaan isolator berdasarkan kekuatan dielektrik dan kekuatan mekanik dari bahan isolator yang digunakan. Karena sifat suatu isolator ditentukan oleh bahan yang digunakan. Kemampuan suatu bahan untuk mengisolasi atau menahan tegangan yang diberikan tanpa merusak atau mematahkannya tergantung pada kekuatan dielektriknya.

Fungsi utama isolator adalah:

- a. Untuk menyekat/mengisolasi penghantar dengan tanah dan antara penghantar dengan penghantar.
- b. Untuk memikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat penghantar dan/atau gaya tarik penghantar.
- c. Untuk menjaga jarak antara konduktor konstan (tidak berubah).

Berdasarkan beban yang dipikulnya isolator dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

a) Isolator Tumpu (Pin *Insulator*)

Isolator tumpu memikul beban berat penghantar. Penghantar dipasang di bagian atas isolator (*top side*) untuk tarikan dengan sudut maksimal 2° dan beban tarik ringan, dan penghantar dipasang di bagian sisi (leher) isolator untuk tarikan dengan sudut maksimal 18°.

Isolator dipasang tegak lurus di atas *Cross Arm*. Isolator pada gambar 2.4 berbahan keramik yang dimana dari segi ketahanan, isolator keramik paling tepat untuk digunakan untuk jangka panjang.

b) Isolator Tarik (Strain Insulator)

Isolator tarik memikul beban berat penghantar ditambah dengan beban akibat pengencangan (tarikan) penghantar, seperti pada konstruksi tiang awal/akhir, tiang sudut, tiang percabangan dan tiang penegang. Isolator tarik dipasang dibagian sisi *Cross Arm* atau searah dengan tarikan penghantar. Penghantar diikat dengan Strain Clamp dengan pengencangan mur dan bautnya. Isolator jenis ini pada sebagian konstruksi SUTM di Jawa Barat dipakai juga untuk tarikan lurus atau sudut kecil yang dipasang menggantung di bawah *Cross Arm* dan sebagai pengikat penghantarnya digunakan suspension clamp seperti pada konstruksi SUTT.

d) Fuse Cut Out (FCO)

Fuse Cut Out merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (*fuse link*) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan dengan ukurannya itu. Disamping itu FCO merupakan peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya. Prinsip kerja *Fuse Cut Out* adalah dengan melelehkan *fuse link*, sehingga dapat memisahkan antara bagian yang sehat dan yang terganggu. Sedangkan *fuse link* itu sendiri adalah elemen inti dari *Fuse Cut Out* yang terletak didalam *fuse holder* dan mempunyai titik lebur tertentu. Jika beban jaringan sesudah FCO menyentu titik lebur tersebut, maka *fuse link* akan meleleh dan akan memisahkan jaringan sebelum FCO dengan jaringan sesudah FCO.

e) Lightning Arrester (LA)

Lightning arrester adalah peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian (sirkuit), dengan jalan mengalirkan arus surja (surge current) ke dalam tanah serta mengembalikan keadaan jaringan ke keadaan semula tanpa mengganggu sistem.

f) Panel PHB-TR

HB-TR adalah singkatan dari Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah dan merupakan bagian dari gardu distribusi. PHB-TR merupakan panel listrik yang terletak pada gardu distribusi dan merupakan titik percabangan dari rangkaian utama yang akan dibagi menjadi beberapa arah untuk kemudian diteruskan ke pelanggan/konsumen. Jumlah grup/departemen ditentukan berdasarkan jumlah pelanggan di area tersebut. PHB-TR di perkotaan memiliki banyak cabang (jurusan) dibandingkan dengan PBH-TR di pedesaan, hal ini berbanding lurus dengan jumlah konsumendi suatu daerah.

g) NH Fuse

NH (*Niederspannungs Hochleistungs*) fuse dalam bahasa Indonesia berarti fuse tegangan rendah merupakan salah satu komponen penting dalam gardu distribusi yang berada didalam panel PHB-TR. Di lihat dari fungsinya NH fuse yang terdapat di dalam panel PHB-TR di bagi menjadi dua yaitu NH fuse jurusan dan NH fuse utama. NH fuse Jurusan berfungsi untuk mengamankan jaringan distribusi tegangan rendah dari gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi, sesuai dengan tiap-tiap jurusan (timur, barat, utara, dan lain-lain) yang ada dalam satu PHB-TR.

h) NH Fuse Holder

NH fuse holder atau fuse base berfungsi sebagai kaki dudukan untuk NH Fuse yang akan dipasang. Ukuran NH Fuse holder atau fuse base, ditentukan berdasarkan ukuran NH Fuse yang digunakan. Contoh: Untuk memasang NH Fuse ukuran 00, perlu menggunakan NH fuse holder dudukan ukuran 00 juga. NH Fuse holder juga dapat dipilih berdasarkan material fuse base holder tersebut. Pilihan Fuse base holder yang umum digunakan adalah NH fuse holder metal, NH fuse holder keramik atau dapat juga menggunakan NH fuse rail dan NH fuse rail disconnect.

i) Transformator

Transformator adalah komponen utama dari gardu distribusi. Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220/380 V.

j) Jenis-Jenis Pemeliharaan

1) Pemeliharaan Secara Preventif

Pemeliharaan preventif adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah kerusakan tiba-tiba pada jaringan listrik dan juga berguna untuk mempertahankan jaringan agar beroperasi dengan baik, dan untuk mempertahankan umur peralatan pada jaringan listrik.

2) Pemeliharaan Korektif

Pemeliharaan korektif dapat dibedakan dalam 2 kegiatan yaitu: terencana dan tidak terencana. Kegiatan yang terencana diantaranya adalah pekerjaan perubahan/penyempurnaan yang dilakukan pada jaringan untuk memperoleh keandalan yang lebih baik (dalam batas pengertian operasi) tanpa mengubah kapasitas semula. Kegiatan yang tidak terencana misalnya mengatasi/perbaiki kerusakan peralatan/gangguan. Perbaikan kerusakan dalam hal ini dimaksudkan suatu usaha/pekerjaan untuk mempertahankan atau mengembalikan kondisi sistem atau peralatan yang mengalami gangguan/kerusakan sampai kembali pada keadaan semula dengan kepastian yang sama.

3) Pemeliharaan Darurat

Pemeliharaan darurat atau disebut juga pemeliharaan khusus adalah pekerjaan pemeliharaan yang dimaksud untuk memperbaiki jaringan yang rusak yang disebabkan oleh bencana alam seperti gempa bumi, angin kencang, kebakaran dan sebagainya yang biasanya waktunya mendadak. Dengan demikian sifat pekerjaan pemeliharaan untuk keadaan ini adalah sifatnya mendadak dan perlu segera dilaksanakan, dan pekerjaannya tidak direncanakan.

k) Alat Ukur Tahanan Isolasi (Megger)

Mega ohm meter atau lebih dikenal dengan megger merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur besar resistansi isolasi suatu jaringan untuk mengetahui apakah suatu konduktor jaringan memiliki koneksi secara langsung antara fasa dengan fasa atau dengan netral juga dengan pembumian (*ground*). Megger memiliki fungsi selain untuk memeriksa tahanan isolasi pada generator atau motor listrik, megger juga digunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari peralatan listrik atau instalasi tenaga listrik seperti: Kabel, Transformator, OCB, Jaringan SUTM. Biasanya sebelum jaringan listrik dioperasikan, ada langkah yang harus dipenuhi, yaitu pengujian tahanan isolasi. Pada transformator distribusi mega ohm meter digunakan untuk menguji dan mengukur tahanan isolasi pada fasa primer dengan fasa sekunder, fasa primer dengan *ground*, fasa sekunder dengan *ground*.

Mega ohm meter atau yang lebih dikenal megger memiliki kriteria pengukuran sebagai berikut:

- 1) Tegangan alat ukur tersebut umumnya dengan tegangan tinggi arus searah (DC) yang besarnya berkisar antara 500 Volt sampai dengan 10.000 Volt.
- 2) Tegangan megger dipilih berdasarkan pada tegangan kerja suatu peralatan atau instalasi yang akan diuji.
- 3) Besarnya pengujian ditetapkan bahwa harga tahanan isolasi minimum adalah 1000 kali dari tegangan kerja peralatan yang akan diuji.
- 4) Misalnya pada tegangan kerja peralatan yang akan diuji yaitu 100 V, maka harga penahanan isolasi minimumnya yaitu 100 K Ω

III. METODE PENELITIAN

Perancangan pengamatan awal kegiatan dalam menentukan langkah-langkah pengerjaan dan tujuan dari suatu pekerjaan agar dapat menemukan solusi dan tujuan dari pengamatan tercapai. Pada flow chart diatas menceritakan alur dari penulisan laporan akhir ini, di mulai dengan mencari data lengkap dari gardu distribusi SL.247 penyulang PL.05 di PT PLN (Persero) ULP Sunggal. Setelah itu mencari penyebab dari transformator yang mengalami short circuit. Setelah ditemukan penyebabnya, maka dilakukanlah pemeliharaan darurat untuk memulihkan kembali kelistrikan di wilayah tersebut.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Peneliti menggunakan metode kuantitatif karena proses mencari hasil data berupa angka yang berfungsi sebagai alat untuk menganalisis hasil apa yang ingin diketahui.

Adapun beberapa komponen-komponen yang ada dalam metode kuantitatif yaitu:

- 1) Studi Literatur
Pada tahap ini yang dilakukan adalah mencari teori yang dijadikan landasan dan didapatkan dari berbagai buku, jurnal dan lain-lain yang dapat melengkapi konsep dan teori, sehingga memiliki landasan dan yang sesuai dan baik.
- 2) Lokasi Pengamatan
Lokasi penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir adalah di PT PLN (Persero) ULP Sunggal.
- 3) Teknik Pengumpulan Data
Pengambilan data dilakukan secara langsung dilapangan dan secara tidak langsung dengan mengambil data yang ada di kantor serta melakukan wawancara dengan Staff Teknik di PT PLN (Persero) ULP Sunggal. Adapun data-data yang didapatkan:
 - a) Spesifikasi Transformator distribusi sebelum dan sesudah penggantian pada Gardu SL.247
 - b) Data pengujian tahanan isolasi pada kumparan transformator distribusi pada Gardu SL.247
 - c) Data pengukuran arus beban dan tegangan transformator distribusi pada Gardu SL.247

IV. HASIL DAN ANALISIS

Adapun pembahasan serta perolehan hasil dari analisis pada laporan akhir ini, penulis menyatakannya dibawah ini:

a) Spesifikasi Transformator Distribusi

Berikut merupakan spesifikasi dari transformator distribusi 20 KV yang menjadi pengamatan penulis pada Laporan Akhir ini. Pada data spesifikasi Transformator Distribusi dibawah ini penulis dapatkan dari PT PLN (Persero) ULP Sunggal.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator Sebelum Penggantian

No.	Spesifikasi Transformator	Keterangan
1.	Merk	Morawa
2.	Daya Pengenal	100 KVA
3.	Tegangan Pengenal Primer	20.000 kV
4.	Tegangan Pengenal Sekunder	400 Volt

5.	Frekuensi	50 Hz
6.	Junlah Fasa	3 Fasa
7.	Impedansi	4 %
8.	Kenaikan Suhu Belitan	55 °C
9.	Kenaikan Suhu Minyak	50 °C
10.	Rugi Inti Besi	820 Watt
11.	Rugi Tembaga	2.100 Watt
12..	Arus Pengenal Primer	2,89 Ampere
13..	Arus Pengenal Sekunder	144,3 Ampere
14.	Tahun Pembuatan	2010
15.	Standar	SPLN/IEC
16.	Nomor Seri	B.10.18.0167

Tabel 2. Spesifikasi Transformator Sesudah Penggantian

No.	Spesifikasi Transformator	Keterangan
1.	Merk	Trafoindo Prima Perkasa
2.	Daya Pengenal	100 KVA
3.	Tegangan Pengenal Primer	20.000 kV
4.	Tegangan Pengenal Sekunder	400 Volt
5.	Frekuensi	50 Hz
6.	Junlah Fasa	3 Fasa
7.	Impedansi	4 %
8.	Kenaikan Suhu Belitan	55 °C
9.	Kenaikan Suhu Minyak	50 °C
10.	Rugi Inti Besi	440 Watt
11.	Rugi Tembaga	1.420 Watt

12.	Arus Pengenal Primer	2,89 Ampere
13.	Arus Pengenal Sekunder	144,3 Ampere
14.	Pendingin	ONAN
15.	Tahun Pembuatan	2016
16.	Nomor Standar	SPLN D3.002-1.2007
17.	Nomor Seri	164300138

b) Sebelum Penggantian Transformator Distribusi

1) Pengujian Tahanan Isolasi

Pertama-tama penulis melakukan percobaan pengujian tahanan isolasi, percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dari transformator tersebut dan apakah transformator masih layak untuk digunakan atau tidak, yaitu dengan mengecek kondisi fisiknya dan kemudian menguji tahanan isolasinya. Alat yang digunakan adalah Megger analog. Fungsi dari megger untuk mengukur besarnya nilai tahanan isolasi. Dengan menggunakan arus DC dari megger yang disalurkan ke transformator untuk mengetahui nilai tahanan isolasinya.

Adapun nilai tahanan isolasi pada kumparan transformator sesuai dengan standar dari buku pemeliharaan peralatan SE.032/PST/1984 adalah standar VDE (Catalogue 228/4) Menurut Tim kepdird (2014) mengungkapkan bahwa "minimum besarnya tahanan isolasi kumparan transformator pada suhu operasi dihitung $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$ (Mega Ohm), karena 1000 dikali (\times) tegangan kerja peralatan yang akan diuji.

Dengan catatan 1 kV adalah besarnya tegangan fasa terhadap tanah dan kebocoran arus yang diijinkan setiap kV adalah 1 mA. Karena disini penulis menggunakan transformator dengan tegangan kerja 20 kV, maka standar tahanan isolasi pada kumparan transformator adalah $> 20 \text{ M}\Omega$ (Mega Ohm).

Tabel 3. Hasil pengujian pada transformator Pasca Mengalami Gangguan

No.	Terminal Fasa	Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi	Besar Tegangan Uji
1.	R - r	0 M Ω	5000 Volt
2.	R - <i>ground</i>	2 M Ω	5000 Volt
3.	r - <i>ground</i>	2 M Ω	5000 Volt
4.	S - s	0 M Ω	5000 Volt
5.	S - <i>ground</i>	1 M Ω	5000 Volt
6.	s - <i>ground</i>	1 M Ω	5000 Volt
7.	T - t	0 M Ω	5000 Volt
8.	T - <i>ground</i>	1 M Ω	5000 Volt
9.	t - <i>ground</i>	1 M Ω	5000 Volt

Dari data tabel diatas merupakan hasil dari pengujian tahanan isolasi Transformator pasca terjadinya gangguan. Pengujian tahanan isolasi ini dilakukan tiga kali pengujian, yaitu pertama pada primer dengan sekunder, kedua pada primer dengan *ground* dan yang ketiga pada sekunder dengan *ground*.

Dari hasil pada tabel 4.3 diatas dapat diketahui bahwa terjadi penurunan tahanan isolasi yang cukup banyak hingga bernilai Nol (0). Transformator sudah tidak dapat lagi digunakan dan harus diganti dengan transformator yang baru.

2) Analisis Transformator Yang Mengalami Short Circuit

Penulis menganalisis penyebab dari transformator mengalami *short circuit*

Tabel dibawah ini memberikan Data Pengukuran Arus Beban Pada Transformator Gardu SL247 (25 September 2022) jam 20.12

Fasa	Jurusan (A)		Incoming WBP (A)	Tegangan (VL)
	I	II		
R	5	20	25	388,7
S	60	80	140	388,7
T	20	75	95	388,7
N	41		41	-

Dari tabel diatas tertera besar arus beban masing masing fasa yang dihitung tempo hari sebelum gangguan terjadi. Diatas terlihat bahwa adanya arus sebesar 41 amper yang mengalir pada netral transformator. Yang dimana seharusnya tidak ada arus yang mengalir pada netral transformator.

3) Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah transformator pengganti layak untuk digunakan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Pada Transformator Pengganti

No.	Terminal Uji	Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi	Besar Tegangan Uji
1.	R – r	20.000 MΩ	5000 Volt
2.	R – <i>ground</i>	18.000 MΩ	5000 Volt
3.	r – <i>ground</i>	18.000 MΩ	5000 Volt
4.	S – s	20.000 MΩ	5000 Volt
5.	S – <i>ground</i>	19.000 MΩ	5000 Volt
6.	s – <i>ground</i>	19.000 MΩ	5000 Volt
7.	T – t	20.000 MΩ	5000 Volt
8.	T – <i>ground</i>	19.000 MΩ	5000 Volt

Pengukuran pada Sisi Primer-Primer dan Sisi Sekunder-Sekunder hasilnya adalah Nol (0)

Dari data tabel 4 diatas merupakan hasil dari pengujian tahanan isolasi Transformator pengganti. Pengujian tahanan isolasi ini dilakukan tiga kali pengujian, yaitu pertama pada primer dengan sekunder, kedua pada primer dengan *ground* dan yang ketiga pada sekunder dengan *ground*. Dari hasil diatas diketahui bahwa tahanan isolasi pada Transformator pengganti hasilnya sangat baik dan layak untuk digunakan.

4) Analisis Transformator Sesudah Penggantian

Penulis menganalisis sesudah dilakukannya penggantian dan pemerataan arus beban transformator

Tabel 5. Data Pengukuran Arus Beban Pada Transformator Distribusi Gardu SL247 Sesudah Penggantian

Fasa	Jurusan (A)		Incoming WBP (A)	Tegangan (V _L)
	I	II		
R	40	44	84	377
S	46	40	86	377
T	40	50	90	377
N	3		3	-

V. SIMPULAN

- 1) Pada saat penggantian transformator, transformator yang terkena gangguan bisa diuji terlebih dahulu ketahanan isolasinya dengan alat ukur mega ohm meter untuk mengetahui apakah transformator masih layak atau tidak untuk digunakan.
- 2) Standar VDE (Catalouge 228/4) Menurut Tim kepdri (2014) mengungkapkan bahwa "minimum besarnya tahanan isolasi kumparan transformator pada suhu operasi dihitung $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$ (Mega Ohm), karena 1000 dikali (\times) tegangan kerja peralatan yang akan diuji.
- 3) Persentase ketidakseimbangan beban antar fasa kembali menjadi baik dan mencapai nilai minimum sesuai SPLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) yakni 2,6% dari yang sebelumnya 47,3%.
- 4) Besar arus yang mengalir pada netral transformator menurun menjadi 3 amper dari yang sebelumnya 41 amper.
- 5) Besar total rugi daya pada transformator menurun menjadi 936,3 Watt dari yang sebelumnya 1.840,6 Watt.
- 6) Besar panas yang timbul akibat ketidakseimbangan beban menurun menjadi 808.963,2 Joule dari yang sebelumnya 1.590.278,4 Joule.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilian P. Kawihing, dkk. 2013, *Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder*, ejournal.unsrat.ac.id.
- Kadir, Abdul. 1989. *Transformator*. PT. Alex Media Komputindo. Jakarta.
- Najdenskoki K, Rafajlovsky, & Dimcev F. 2007. *Thermal aging of distribution*
- Mgunda McPharlen Chipekwe, 2017, *Optimization of Power Transformer Design: Losses, Voltage Regulation and Tests*, *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol.05 No.02, Article ID:74303,30 pages.
- Moh. Dahlan, 2009, *Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi*, eprint.umk.ac.id.
- Saputro, Ahmad Eko Yuli. 2018. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Palur Karanganyar*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Setiadji, Julius Sentosa; Tabrani Machmudsyah dan Yanuar Isnanto. 2006. *Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. *Jurnal Teknik Elektro*. 6 (1): 69
- Tri Watiningsih, 2012, *Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi*, ejournal.unwiku.ac.id.