

ANALISA EFISIENSI DAYA DAN RUGI DAYA TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK PLN MANGKUNEGARAN 150 KV

Burhanudin Lutfi¹, Gunawan², Agus Adhi Nugroho³

¹ Universitas Islam Sultan Agung Semarang

*Corresponding email: burhanudinlutfi14@gmail.com

Abstrak: Gardu Induk PLN (GI PLN) Mangkunegaran berfungsi sebagai pusat pengendalian dan distribusi tenaga listrik di wilayah Surakarta atau Solo. Berdasarkan catatan dari PLN Mangunegaran, dalam empat tahun terakhir nilai Avg Power Factor Total GI PLN Mangkunegaran masih berada di bawah standar SPLN No 50 Tahun 1997 tentang spesifikasi Transformator yang menetapkan standar efisiensi transformator 150Kv sebesar 98,53%, yakni pada tahun 2018 nilainya 0,97, tahun 2019 nilainya 0,97, tahun 2020 nilainya 0,98, dan tahun 2021 nilainya 0,98. Sementara tahun 2022 data Export varh Total masih sangat tinggi, hal ini diketahui dari loss trafo yang terjadi pada bulan April 2023 yang mencapai nilai 152.777 Kwh sehingga terjadi permasalahan peningkatan losses trafo yang mengurangi efisiensi sistem kelistrikan secara keseluruhan dan menyebabkan pemborosan energi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perhitungan Losses transformator pada GI Mangkunegaran 150 KVA menggunakan Metode Nilai Tahunan (Annual Worth Method) yang berfokus pada kerugian energi daya transformator dengan mempertimbangkan kerugian daya yang dikonversi menjadi nilai tahunan pada transformator GI Mangkunegaran 150 KVA. Hasil penelitian menunjukkan nilai rugi daya pada transformator GI Mangkunegaran 150 kV adalah 7.295 Kw yang menunjukkan total daya yang hilang sepanjang tahun akibat rugi-rugi dalam transformator, mencakup rugi arus (I^2R losses) dan rugi tegangan, yang merupakan akibat dari resistansi dan penurunan tegangan dalam transformator. Tindakan yang harus dilakukan adalah melakukan inspeksi dan pemeliharaan secara berkala untuk memastikan bahwa semua komponen transformator berfungsi dengan baik, termasuk sistem pendinginan, sambungan, dan isolasi dan menggunakan material dengan resistansi rendah untuk kumparan dan inti transformator, sehingga dapat mengurangi rugi arus (I^2R losses).

Kata kunci: Transformator, Rugi, Efisiensi

Abstract: The Mangkunegaran PLN Substation (GI PLN) functions as a control and distribution center for electric power in the Surakarta or Solo area. Based on records from PLN Mangunegaran, in the last four years the Avg Power Factor Total value of PLN Mangkunegaran Substation is still below the SPLN No. 50 of 1997 standard concerning Transformer Specifications which sets the standard efficiency of 150Kv transformers at 98.53%, namely in 2018 the value was 0.97, in 2019 the value was 0.97, in 2020 the value was 0.98, and in 2021 the value was 0.98. Meanwhile, in 2022 the Total Export varh data is still very high, this is known from the transformer loss that occurred in April 2023 which reached a value of 152,777 Kwh so that there is a problem of increasing transformer losses which reduces the efficiency of the overall electrical system and causes energy waste. The purpose of this study is to calculate transformer losses at the Mangkunegaran 150 KVA substation using the Annual Worth Method which focuses on transformer power energy losses by considering power losses converted into annual values at the Mangkunegaran 150 KVA substation transformer. The results of the study showed that the power loss value at the Mangkunegaran 150 kV substation transformer was 7,295 Kw which showed the total power lost throughout the year due to losses in the transformer, including current losses (I^2R losses) and voltage losses, which are the result of resistance and voltage drops in the transformer. The actions that must be taken are to conduct periodic inspections and maintenance to ensure that all transformer components are functioning properly, including the cooling system, connections, and insulation and use low-resistance materials for the transformer coils and cores, so as to reduce current losses (I^2R losses).

Keywords: Transformer, Losses, Effectiveness

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan sekumpulan pusat beban dan pusat kelistrikan yang disatukan sebagai satu kesatuan melalui jaringan transmisi dan distribusi. PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTP merupakan contoh pusat kelistrikan yang menghasilkan energi listrik. Saluran transmisi kemudian digunakan untuk menyebarkan energi listrik, dan saluran distribusi digunakan untuk menyalurkannya ke beban. Untuk mengurangi kehilangan daya yang disebabkan oleh transformator, tegangan keluaran dalam sistem besar dikumpulkan menjadi tegangan transmisi, khususnya tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET). Peralatan listrik yang dikenal sebagai transformator dikategorikan sebagai mesin listrik statis. Tujuannya adalah untuk mentransfer energi atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, atau sebaliknya, pada frekuensi yang sama. Bergantung pada persyaratan sistem keamanan atau perlindungan, transformator daya biasanya dibumikan pada titik netral selama pengoperasian [1]. Transformator 70/20 kV, misalnya ditanahkan dengan resistansi pada sisi netral 20 kV, sedangkan trafo 150/70 kV ditanahkan langsung pada sisi netral 150 kV. Trafo yang telah diproduksi sebelumnya dan diuji sesuai dengan pedoman yang telah ditentukan sebelumnya. Dasar Transformator Inti besi akan menjadi magnet jika arus bolak-balik mengalir di sekitarnya. Jika lilitan ditempatkan di sekitar magnet, gaya gerak listrik (EMF) akan berkembang karena tegangan tambahan di kedua ujung lilitan. Pelat besi terlindung dapat menghasilkan panas karena arus eddy (eddy current) ketika gaya gerak listrik terus-menerus diterapkan pada inti besi. Meskipun rugi-rugi beban dihasilkan oleh resistansi di sirkuit yang dilalui arus beban, rugi-rugi ini sering disebut sebagai rugi-rugi tembaga karena terjadi di lilitan tembaga transformator. Untuk menemukan rugi-rugi inti di inti besi, salah satu pengujiannya adalah dengan memberikan tegangan ke sirkuit transformator saat terbuka [2].

Analisis aliran daya merupakan metode yang digunakan dalam suatu penelitian untuk menghitung rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik. Analisis aliran daya sangat penting, terutama dalam hal mencari tahu permasalahan sistem operasi dan perencanaan sistem tenaga listrik. Berdasarkan nilai generator dan struktur transmisi jaringan, analisis aliran daya dapat digunakan untuk menghitung nilai tegangan, arus, dan aliran daya pada setiap titik cabang dalam jaringan listrik [3]. Seiring dengan pertumbuhan populasi dan kemajuan teknologi yang lebih pesat, akan ada kebutuhan yang lebih besar akan energi, yang akan meningkatkan permintaan untuk membangun jaringan listrik yang lebih luas. Dalam situasi ini, salah satu metode utama untuk memutuskan bagaimana merancang jaringan tenaga listrik masa depan adalah analisis aliran daya. Secara umum, akan selalu ada kerugian dalam pengiriman energi listrik. Kerugian teknis dan non-teknis adalah dua kategori kerugian yang terjadi pada transformator. Hal-hal di luar kendali sistem seperti kecelakaan, bencana alam, kesalahan manusia, dll., adalah sumber kerugian non-teknis. Kerugian inti besi (core loss) dan kerugian tembaga (copper loss) adalah dua penyebab utama kerugian teknis [4]. Gedung Induk PLN (GI PLN) Mangkunegaran adalah fasilitas dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) di Mangkunegaran, Jawa Tengah, Indonesia. Fungsi utama GI PLN Mangkunegara adalah sebagai pusat pengendalian dan distribusi tenaga listrik di wilayah tersebut. Dalam lima tahun terakhir masih sering terjadi pemadaman di daerah distribusi GI PLN Mangkunegaran. Memantau Avg Power Factor Total penting dalam pengelolaan konsumsi energi dan Efisiensi sistem kelistrikan. Faktor daya yang buruk, yang ditandai dengan faktor daya rendah (dekat dengan nol), dapat menyebabkan pemborosan energi dan memengaruhi kualitas daya. Dalam lima tahun terakhir nilai Avg Power Factor Total GI PLN Mangkunegaran walaupun sudah mendekati 1 namun masih berada di bawah nilai 1, dimana pada tahun 2018 nilainya 0,97, tahun 2019 nilainya 0,97, tahun 2020 nilainya 0,98, tahun 2021 nilainya 0,98, dan tahun 2022 nilainya 0,97. Hal ini tentu masih dapat lebih diefisienkan lagi faktor dayanya [5].

Selanjutnya mengenai kinerja pelayanan GI Mangkunegaran, nilai ekspor WH Total dan ekspor Varh Total dalam lima tahun yaitu tahun 2018 nilai ekspor WH Total adalah 12.490.347,13, tahun 2019 adalah 14.162.838,60, tahun 2020 adalah 9.129.522,92, tahun 2021 adalah 8.921.650,92, dan tahun 2022 adalah 12.548.282,49. Sedangkan untuk nilai Varh Total tahun 2018 adalah 2.828.385,19, tahun 2019 adalah 3.595.477,65, tahun 2020 adalah 1.984.102,34, tahun 2021 adalah 1.731.170,50, dan tahun 2022 adalah 2.907.699,11. Export Wh Total mengacu pada total energi listrik yang diekspor dari suatu sistem atau lokasi dalam satuan watt-hour (Wh). Istilah ini digunakan ketika sistem atau lokasi menghasilkan energi listrik yang lebih banyak daripada yang dikonsumsi oleh konsumen lokal dan jumlah kelebihan energi tersebut dialirkan ke jaringan listrik umum atau grid. Export Wh Total penting dalam menganalisis Efisiensi sistem pembangkit listrik, memperhitungkan peningkatan atau penurunan produksi energi dari waktu ke waktu, serta merencanakan kapasitas dan infrastruktur yang diperlukan untuk mengintegrasikan sumber energi dengan grid listrik yang ada. Export Wh Total yang baik adalah jika nilainya tinggi atau besar. Nilai yang tinggi menunjukkan bahwa sistem atau lokasi telah berhasil menghasilkan dan mengekspor sejumlah besar energi listrik ke jaringan listrik umum atau grid. Untuk GI Mangkunegaran dalam periode tahun 2018-2022 nilai besarannya masih fluktuatif namun meningkat di tahun 2022 [6]. Sedangkan Export varh Total mengacu pada total energi reaktif yang diekspor dari suatu sistem atau lokasi dalam satuan var-hour (varh). Energi reaktif adalah komponen nonaktif dari energi listrik yang terkait dengan perbedaan antara tegangan dan arus listrik dalam sirkuit yang memiliki komponen induktif atau kapasitif. Data Export varh Total penting dalam menganalisis kualitas daya, mengoptimalkan faktor daya sistem, dan memantau penggunaan energi reaktif. Faktor daya yang baik adalah ketika energi reaktif dan energi aktif (energi yang digunakan secara efektif) dalam sistem seimbang. Export varh Total yang baik adalah jika nilainya mendekati nol atau sangat rendah. Faktor daya yang baik menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang digunakan adalah daya aktif (watt) dan sedikit energi reaktif yang dibutuhkan. Dalam hal ini, Export varh Total yang rendah menunjukkan bahwa sistem atau lokasi efisien dalam penggunaan energi reaktif. Sedangkan pada GI Mangkunegaran terlihat data Export varh Total masih sangat tinggi. Faktor penyebab belum optimalnya sistem di GI PLN Mangkunegaran adalah transformator yang kurang efisien dalam kinerjanya. Hal ini diketahui dari loss trafo yang terjadi pada bulan April 2023 yang sangat tinggi, yaitu mencapai nilai 110.000.000 [7]. Peningkatan losses trafo dapat mengurangi Efisiensi sistem kelistrikan secara keseluruhan dan menyebabkan pemborosan energi. Jika terjadi peningkatan losses trafo, penting untuk melakukan analisis mendalam untuk mengidentifikasi penyebabnya dan mengambil tindakan perbaikan yang sesuai. Mengingat pada bulan tersebut terjadi kehilangan daya yang cukup besar, maka untuk mengetahui besarnya rugi-rugi daya dan energi (susut) transformator di Gardu Induk Mangkunegaran, maka penulis akan menghitung rugi-rugi daya dan energi transformator di Gardu Induk Mangkunegaran, guna mengetahui besarnya rugi-rugi teknis transformator [8]. Dengan memperkirakan rugi-rugi daya yang akan terjadi dalam transformator, kita dapat memperhitungkan Efisiensi transformator dalam desain jaringan kelistrikan, memilih ukuran transformator yang tepat, dan mengoptimalkan distribusi beban untuk mengurangi rugi-rugi daya secara keseluruhan. Pada analisa yang diajukan juga mempertimbangkan Efisiensi yang memiliki faktor pada rugi daya transformator pada penggunaan listrik di masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan populasi, permintaan akan energi listrik pun meningkat. Trafo merupakan salah satu mesin yang perlu dijaga agar tetap berfungsi dengan baik agar energi listrik dapat terus didistribusikan. Gardu induk sering kali dilengkapi dengan trafo listrik, digunakan dalam penyaluran daya listrik sebagai alat penurun tegangan (step down transformer) dan alat penaik tegangan (step up transformer) [9]. Terdapat beberapa jenis rugi-rugi yaitu rugi-rugi yang disebabkan oleh arus yang mengalir pada kawat tembaga, rugi-rugi

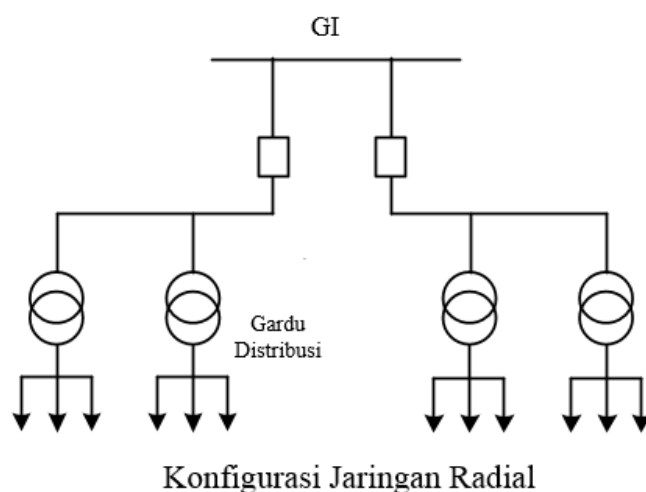
yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada besi, dan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus eddy pada besi yang mengakibatkan turunnya efisiensi transformator. Berdasarkan hal tersebut maka judul penelitian ini adalah “Analisa Efisiensi Daya Dan Rugi Daya Transformator Pada Gardu Induk Pln Mangkunegaran 150”. Adapun perhitungan Efisiensi transformator bagi PT. PLN (Persero) GI Mangkunegaran adalah untuk menjaga kesetabilan sistem dan meningkatkan efektifitas pelayanan beban.

METODE

Model Penelitian

Menemukan lokasi penelitian merupakan langkah awal dalam penelitian ini, diikuti dengan pengumpulan data penelitian yang diperlukan. Data primer dan sekunder merupakan dua jenis data yang digunakan dalam penelitian ini. Data primer berasal langsung dari objek penelitian, yaitu Gardu Induk PT PLN Mangkunegaran, dan dikumpulkan melalui sumber penelitian.

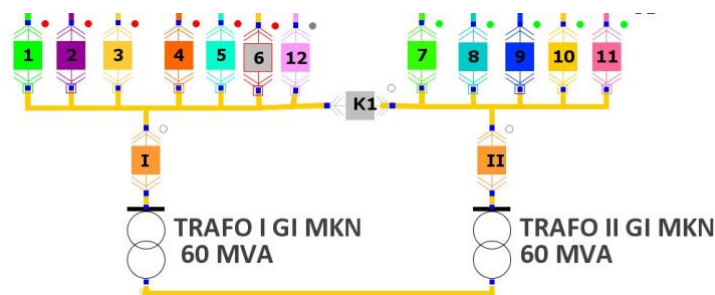
Sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui pengumpulan data-data dari buku-buku referensi, jurnal ataupun penelitian terdahulu, artikel, serta sumber-sumber referensi lainnya yang terkait dengan permasalahan yang diteliti. Selain itu, data sekunder juga diambil dari perpustakaan PT. PLN Gardu Induk Mangkunegaran. Data tersebut meliputi spesifikasi peralatan, pengoperasian dan pemeliharaan listrik (dari pihak terkait), *history* gangguan yang terjadi pada peralatan, serta data lain yang berkaitan dengan *rugi daya dan Efisiensi transformator*. Selain itu juga berasal dari jurnal-jurnal *online* yang berisi data dasar listrik statis, hukum coulomb dan yang berkaitan dengan penelitian ini, serta literatur dari internet yang mendukung penyelesaian Tugas Akhir.



Gambar 1. Konfigurasi Jaringan Radial

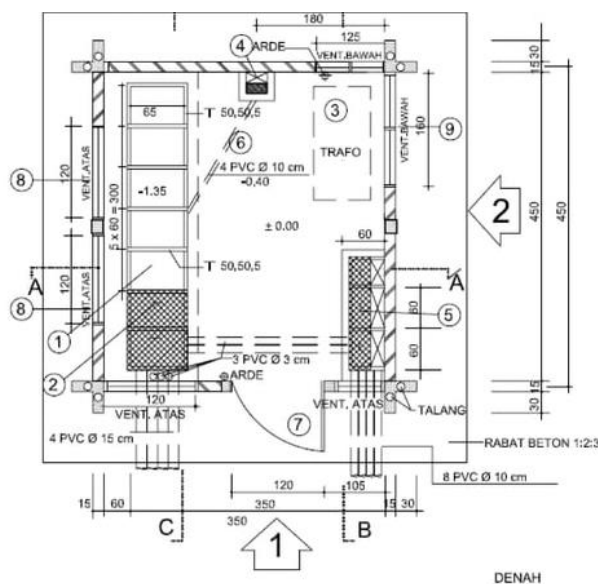
Jaringan dengan tata letak pola radial menyalurkan listrik di saluran utamanya dalam satu arah. Daerah dengan kepadatan beban rendah biasanya dilayani oleh jaringan yang memiliki tata letak pola radial. Manfaatnya adalah biaya investasi minimal dan teknis yang mudah. Namun, jaringan ini memiliki kekurangan, yaitu semua beban saluran akan terputus hingga gangguan diperbaiki jika terjadi di dekat sumbernya. Arus beban yang mengalir pada saluran tidak sama besarnya karena adanya cabang-cabang, dan sumber daya listrik berasal dari satu titik sumber. Luas penghantar penghantar pada jaringan radial ini tidak perlu sama besarnya karena rapat arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa saluran cabang lebih kecil di bagian ujung dengan arus beban yang lebih rendah, sedangkan saluran utama (dekat sumber) yang mencakup arus beban yang besar, memiliki ukuran penampang yang relatif besar.

Dengan struktur real pada obyek yang akan diteliti adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Jaringan Pada GI

Model penelitian berfungsi sebagai deskripsi skema pemodelan gardu induk, yang digunakan saat melakukan perhitungan dan mencari nilai yang ditemukan. Gambar dari model penelitian dapat dilihat pada gambar :



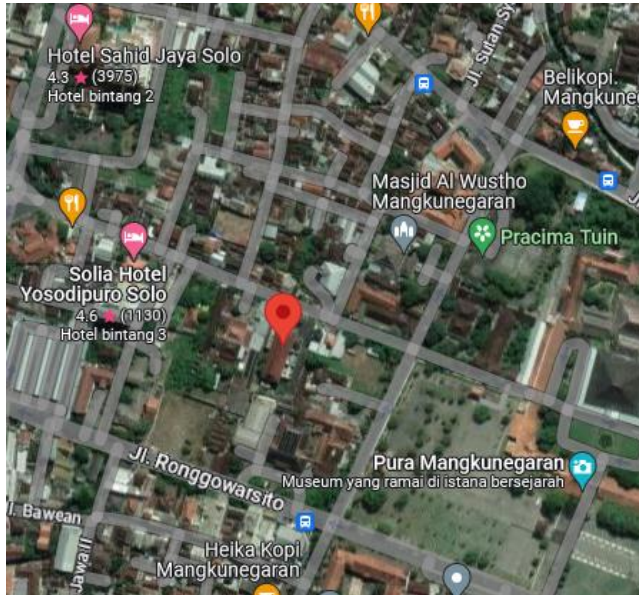
NO	URAIAN
1	Dudukan kubikel TM
2	Manhole
3	Dudukan Transformator
4	Kabel Trunk TM
5	Dudukan PHB-TR

NO	URAIAN
6	Jalur kabel TM arah Transformator
7	Pintu Gardu
8	Ventilasi Atas
9	Ventilasi Bawah
10	Lampu Indikator gangguan

Gambar 3. Model Penelitian

Obyek Penelitian

Obyek pada penelitian ini adalah di Gardu Induk PT PLN Mangkunegaran yang beralamat di Jl. Yosodipuro No.15, Timuran, Kec. Banjarsari, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57131.



Gambar 4. Lokasi Gardu Induk Mangkunegaran

Alat Dan Peralatan Penelitian

Alat dan peralatan penelitian berfungsi untuk menunjang penulis dalam menyelesaikan tugas akhir. Ada beberapa alat dan peralatan yang digunakan :

1. PC/laptop

PC/ laptop digunakan sebagai media *Microsoft word* dan *Microsoft excel* untuk perhitungan dan penyusunan laporan tugas akhir.

2. *Microsoft excel*

3. IL Modem aplikasi

Tahap Pengujian

Data-data yang diperlukan pada penelitian ini yaitu:

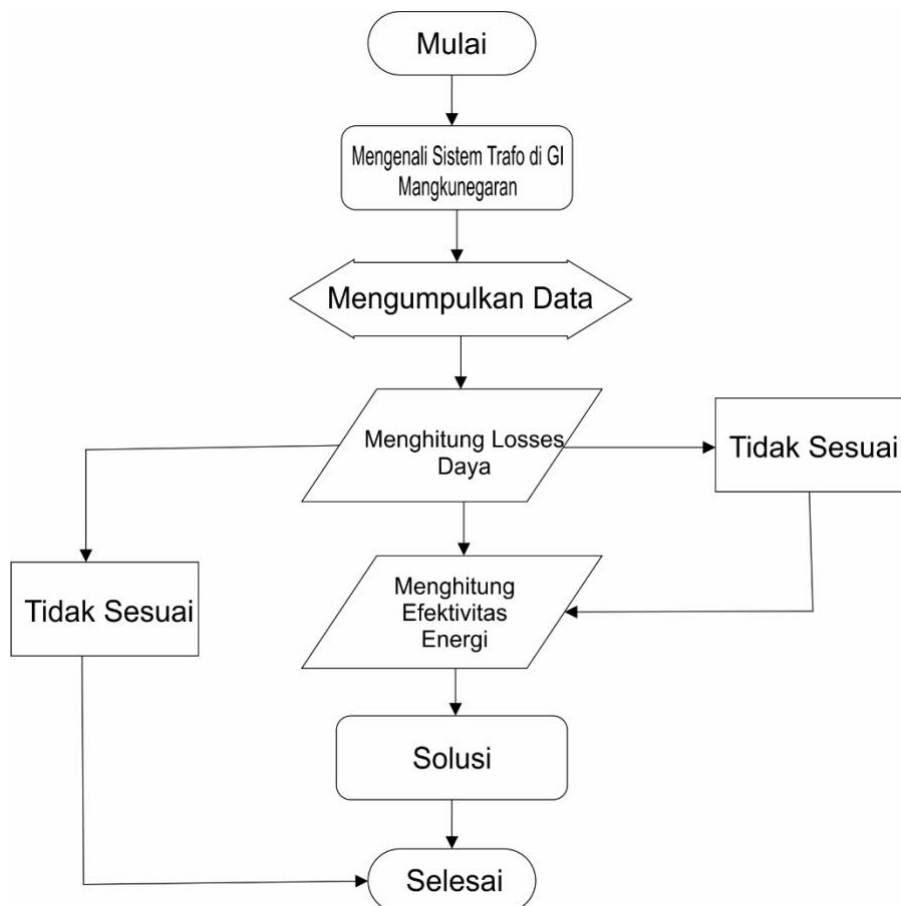
1. Spesifikasi transformator.
2. Tegangan dan arus transformator.
3. Data sekunder daya yang losses pada tahun 2022
4. Data sekunder daya transformator terbebani tahun 2022
5. Tabel data-data system GIS 150 KV Mangkunegaran

Tabel 1. Tabel data-data system GIS 150 KV Mangkunegaran

No.	Deskripsi	Nilai	Satuan
1.	Nilai Resistansi Pentanahan	0,3	Ohm
2.	Nilai Arus Hubung Singkat	3.284	Ampere
4.	Beban Maksimal Primer	222	Ampere
	Beban Maksimal Sekunder	1493	Ampere
5.	Diameter Batang Pentanahan	0,024	Meter
6.	Panjang Konduktor Rod	5200	Meter
7.	Kedalaman Penanaman Konduktor	0,6	Meter
8.	Jumlah Konduktor Rod	8	Buah
9.	Panjang Sisi Konduktor	63	Meter
10.	Lebar Sisi Konduktor	31	Meter

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini secara garis besar dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Tahap Penelitian

Tahapan-tahapan pada penelitian ini yaitu:

1. Pengumpulan data, yaitu dengan mengamati dan mencatat nilai pada:
 - Daya pada saat beban penuh dan normal.
 - Spesifikasi transformator pada Gardu Induk Mangkunegaran.
 - Nilai aktual daya transformator.
2. Perhitungan

Melakukan perhitungan berdasarkan pengumpulan data yang telah dilakukan.

3. Analisa

Pada penelitian ini direncanakan perhitungan dan analisis data berupa:

- a. Menentukan kinerja transformator berupa energi yang didapat melalui transformator terbebani selama 30 hari.
- b. Menghitung Efisiensi transformator.
- c. Setelah didapat Efisiensi kemudian dianalisa rugi daya yang terjadi pada transformator.

Jika Efisiensi kurang maksimal, maka diberikan rekomendasi settingan arus sekunder pada *transformer*.

4. Kesimpulan

Menarik kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sisi tegangan tinggi dari distribusi transformator adalah tempat jaringan tegangan tinggi dimulai. Jaringan yang mendistribusikan daya tinggi melalui beberapa kabel udara tegangan tinggi dikenal sebagai jaringan sisi tegangan tinggi. Untuk mengurangi kehilangan energi yaitu, energi yang tidak dapat digunakan dalam sistem tenaga listrik menggunakan metode dasar untuk memperkirakan kehilangan.

Untuk mengetahui apakah kondisi tegangan masih dalam toleransi pada kondisi steady state, analisis aliran daya diperlukan dalam jaringan transmisi dan distribusi energi listrik. Tujuannya adalah untuk mengetahui rugi-rugi daya dalam transmisi jaringan tegangan tinggi serta besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan pada setiap bus. Jadwal pembangkitan yang lebih efektif dapat dijadwalkan ulang tergantung pada karakteristik beban dan analisis aliran daya juga dapat digunakan untuk mengetahui aliran daya dalam sistem energi listrik. Setiap hari, perhitungan rugi-rugi transformator dilakukan dengan membandingkan daya masuk pada feeder dengan daya pada transformator. Selain itu, dengan menunjukkan persentase kenaikan, pertumbuhan rugi-rugi harian dapat dianalisis dan ditentukan kapan rugi-rugi terbesar terjadi.

Perhitungan Losses Transformator Pada GI Mangkunegaran 150 KVA.

Analisis data yang dilakukan berupa data kuantitatif yang diperoleh melalui penggunaan alat ukur yang berhubungan dengan transformator, kemudian dilakukan perbandingan hasil teoritis dan praktis yang dapat dianalisis dan diperoleh melalui penggunaan alat ukur yang berhubungan dengan transformator. Selanjutnya membandingkan dan menganalisis penyebab terjadinya rugi-rugi/loss yang terjadi pada transformator. Perhitungan losses transformator ada GI Mangkunegaran 150 KVA berdasarkan faktor-faktor rentang waktu tertentu, daya, arus dan tegangan dapat diuraikan sebagai berikut :

Perhitungan Losses Transformator Pada GI Mangkunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor Rentang Waktu Tertentu

Data primer didapatkan dalam perhitungan losses transformator Pada GI Mangkunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor Rentang Waktu Tertentu adalah berupa energi yang disalurkan

oleh Gardu Induk Mangkunegaran dan Susut energi periode tahun 2022 atau dari Januari 2022 sampai Desember 2022. Berikut data energi yang disalurkan pada waktu tertentu dan susut energi pada rentang waktu tertentu pada bulan Januari 2022 disajikan dalam tabel berikut. (Data Februari- Desember terlampir)

Tabel 2. Data energi disalurkan dan susut energi dalam rentang waktu tertentu Bulan Januari

No	DateTime	Energi disalurkan (KWh)	Susut Energi (KVarh)
1	01 Januari 2022	13.621,3	3.528,70
2	02 Januari 2022	13.537,4	3.490,96
3	03 Januari 2022	13.514,9	3.414,08
4	04 Januari 2022	13.203,2	3.320,00
5	05 Januari 2022	13.208,5	3.107,54
6	06 Januari 2022	12.975,4	2.907,34
7	07 Januari 2022	12.654,0	2.864,76
8	08 Januari 2022	12.344,6	2.877,56
9	09 Januari 2022	12.140,8	2.786,60
10	10 Januari 2022	12.004,3	2.596,72
11	11 Januari 2022	11.963,8	2.597,15
12	12 Januari 2022	11.587,1	2.494,14
13	13 Januari 2022	11.445,3	2.435,54
14	14 Januari 2022	11.003,4	2.359,20
15	15 Januari 2022	10.459,8	2.190,72
16	16 Januari 2022	9.519,9	1.777,95
17	17 Januari 2022	9.235,0	1.773,00
18	18 Januari 2022	8.938,8	1.788,92
19	19 Januari 2022	8.714,4	1.652,15
20	20 Januari 2022	8.460,1	1.615,49
21	21 Januari 2022	8.309,6	1.548,40
22	22 Januari 2022	8.202,5	1.543,45
23	23 Januari 2022	8.104,5	1.543,13
24	24 Januari 2022	8.055,4	1.504,85
25	25 Januari 2022	8.056,5	1.476,79
26	26 Januari 2022	8.234,2	1.560,65
27	27 Januari 2022	8.151,7	1.564,63
28	28 Januari 2022	8.204,6	1.558,61
29	29 Januari 2022	8.164,4	1.609,47
30	30 Januari 2022	8.105,9	1.651,94
31	31 Januari 2022	8.076,6	1.736,77
		10.329,0	2.221,85

Kehilangan energi sebagai proporsi energi yang dikirim atau didistribusikan selama periode waktu yang sama dikenal sebagai kehilangan energi dalam persen. Rumus berikut nomor 2.9 mendefinisikan kehilangan energi dalam persentase :

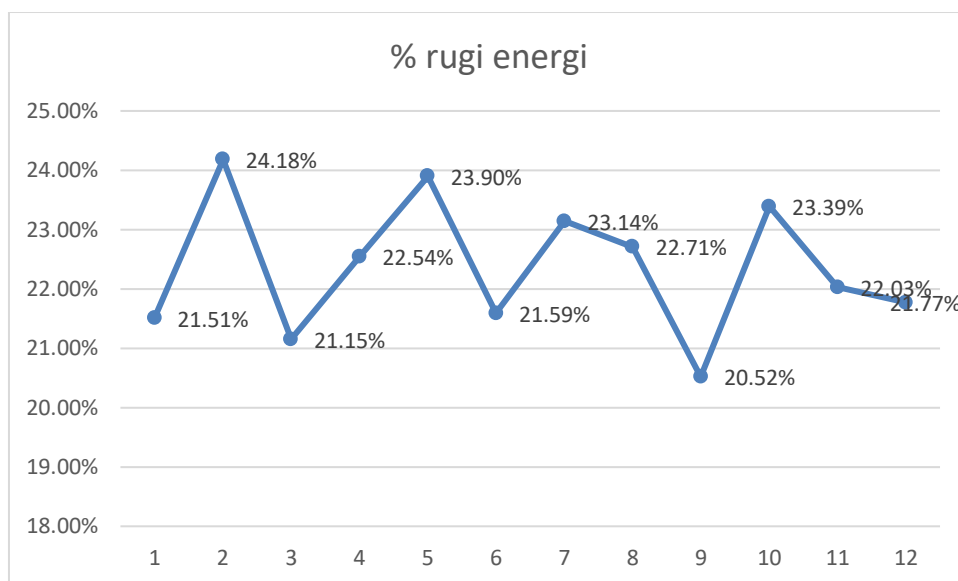
$$\text{Total susut daya relatif} = \frac{\text{Susut/rugi energi}}{\text{Energi yang disalurkan GI}}$$

$$\begin{aligned}\text{Total susut daya relatif} &= \frac{3528,7}{13621,3} \\ \text{Total susut daya relatif} &= 14,57 \%\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan hasil penelitian di atas maka rugi energi dalam persen pada rentang waktu bulan Januari adalah 21,51%. Untuk rugi energi dalam persen pada rentang waktu bulan Januari sampai dengan Desember dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Rugi energi dalam persen pada rentang waktu tahun 2022

Bulan	Energi yang disalurkan GI (Varh)	Susut Energi (Varh)	% rugi energi
1	10.328,97	2.221,85	21,51%
2	12.778,44	3.090,32	24,18%
3	9.180,37	1.941,46	21,15%
4	10.313,04	2.324,68	22,54%
5	9.320,07	2.227,24	23,90%
6	8.521,37	1.839,94	21,59%
7	11.917,79	2.757,18	23,14%
8	11.120,84	2.525,33	22,71%
9	9.502,23	1.949,44	20,52%
10	13.159,03	3.078,09	23,39%
11	10.792,36	2.378,06	22,03%
12	11.863,64	2.582,86	21,77%



Gambar 1. Grafik Susut energi faktor Rentang Waktu Tahun 2022

Gardu Induk Mangkunegaran menjadi dasar perhitungan proporsi kehilangan energi listrik. Dalam kurun waktu 720 jam atau satu bulan, dilakukan perhitungan nilai kehilangan energi listrik. Tujuan perhitungan dan analisis ini adalah untuk mengetahui dan menguji nilai persentase teknis kehilangan energi listrik. Data hasil perhitungan selain perhitungan non-teknis dianggap meragukan. Perhitungan ini sendiri berdasarkan data absolut selama satu tahun dari perusahaan asosiasi, PT. PLN (Persero), di Gardu Induk Mangkunegaran. Berdasarkan hasil olah data pada tabel diatas dapat dilihat bahwa rata-rata

rugi teknis energi listrik pada tahun 2022 adalah sebesar 22,37% dengan rugi-rugi teknis listrik paling besar adalah pada bulan Januari 2022 sebesar 24,18% dan rugi-rugi teknis listrik paling kecil adalah pada bulan September 2022 sebesar 20,52%.

Perhitungan Losses Transformator Pada GI Mangunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor Daya

Dalam pengertiannya faktor daya merupakan ukuran Efisiensi penggunaan energi listrik dalam suatu sistem jaringan listrik dan menggambarkan sejauh mana peralatan dalam sistem tersebut menggunakan energi listrik dengan efisien. Faktor daya dapat bervariasi yaitu dengan nilai antara 0 hingga 1, dan apabila semakin mendekati nilai 1, semakin efisien penggunaan energi listriknya. Faktor daya yang baik adalah yang mendekati 1, sedangkan faktor daya yang buruk (dekat dengan 0) mengindikasikan bahwa sebagian besar energi listrik yang disalurkan ke peralatan digunakan untuk menggerakkan komponen reaktif (seperti motor atau peralatan dengan komponen induktif) daripada komponen aktif yang berguna.

Data primer didapatkan dalam perhitungan losses transformator Pada GI Mangunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor Rentang Waktu Tertentu adalah berupa nilai faktor daya dalam rentang 0 – 1.

Tabel 4. Data faktor Daya pada Bulan Januari

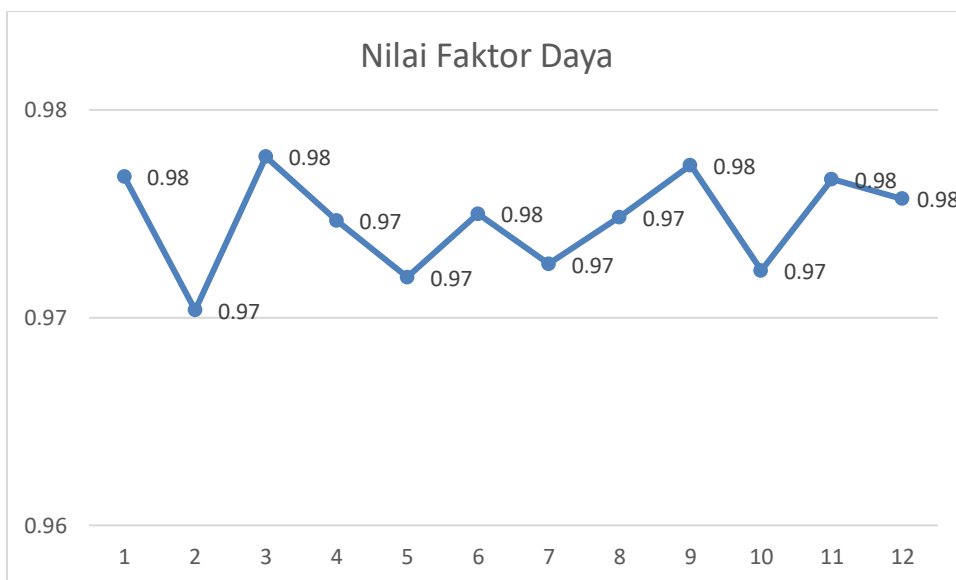
No	DateTime	Faktor Daya
1	01 Januari 2022	0,97
2	02 Januari 2022	0,97
3	03 Januari 2022	0,97
4	04 Januari 2022	0,97
5	05 Januari 2022	0,97
6	06 Januari 2022	0,97
7	07 Januari 2022	0,97
8	08 Januari 2022	0,97
9	09 Januari 2022	0,97
10	10 Januari 2022	0,98
11	11 Januari 2022	0,97
12	12 Januari 2022	0,98
13	13 Januari 2022	0,98
14	14 Januari 2022	0,98
15	15 Januari 2022	0,98
16	16 Januari 2022	0,98
17	17 Januari 2022	0,98
18	18 Januari 2022	0,98
19	19 Januari 2022	0,98
20	20 Januari 2022	0,98
21	21 Januari 2022	0,98
22	22 Januari 2022	0,98
23	23 Januari 2022	0,98
24	24 Januari 2022	0,98
25	25 Januari 2022	0,98

26	26 Januari 2022	0,98
27	27 Januari 2022	0,98
28	28 Januari 2022	0,98
29	29 Januari 2022	0,98
30	30 Januari 2022	0,98
31	31 Januari 2022	0,98
		0,98

Untuk nilai faktor Daya pada rentang waktu bulan Januari sampai dengan Desember dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5. Nilai Faktor Daya tahun 2022

Bulan	Nilai Faktor Daya
1	0,98
2	0,97
3	0,98
4	0,97
5	0,97
6	0,98
7	0,97
8	0,97
9	0,98
10	0,97
11	0,98
12	0,98



Gambar 2. Grafik Nilai Daya tahun 2022

Berdasarkan hasil olah data pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai rata-rata faktor daya pada tahun 2022 adalah sebesar 0,97 dengan nilai faktor daya paling besar adalah pada bulan Januari, Maret, Juni, september, November dan Desember 2022 sebesar 0,98 dan nilai faktor

daya paling kecil adalah pada bulan februari, April, Mei, Juli, Agustus, dan Oktober 2022 sebesar 0,97.

Perhitungan Losses Transformator Pada GI Mangunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor Daya

Data primer didapatkan dalam perhitungan losses transformator Pada GI Mangunegaran 150 KVA Berdasarkan faaktor daya adalah rata-rata daya antar fasa, resistensi dan rugi daya (Data Februari- Desember terlampir)

Tabel 6. Tabel Rugi Daya Januari 2022

No	DateTime	Avg Current Ph-A (Ampere)	Avg Current Ph-B (Ampere)	Avg Current Ph-C (Ampere)	Rata-rata Daya (Watt)	Resistensi (ohm)	Rugi Daya (Watt)
1	01-Jan-22	806,48	749,82	799,03	785,11	0,379	233.615
2	02-Jan-22	806,74	745,98	793,25	781,99	0,379	231.762
3	03-Jan-22	804,07	746,02	792,89	780,99	0,379	231.169
4	04-Jan-22	780,34	719,38	768,11	755,94	0,379	216.578
5	05-Jan-22	782,98	715,06	765,87	754,64	0,379	215.833
6	06-Jan-22	768,09	701,76	752,04	740,63	0,379	207.894
7	07-Jan-22	751,64	678,3	731,75	720,56	0,379	196.779
8	08-Jan-22	735,26	656,71	709,69	700,55	0,379	186.002
9	09-Jan-22	723,66	646,47	698,53	689,55	0,379	180.207
10	10-Jan-22	720,77	646,49	695,99	687,75	0,379	179.267
11	11-Jan-22	718,37	646,57	692,07	685,67	0,379	178.184
12	12-Jan-22	700,18	624,04	671,39	665,2	0,379	167.704
13	13-Jan-22	687,84	613,57	663,8	655,07	0,379	162.635
14	14-Jan-22	655,84	585,53	632,92	624,76	0,379	147.933
15	15-Jan-22	624,49	554,39	601,85	593,58	0,379	133.536
16	16-Jan-22	572,61	502,76	549,14	541,5	0,379	111.131
17	17-Jan-22	552,69	486,82	530,01	523,17	0,379	103.735
18	18-Jan-22	532,82	468,42	511,79	504,34	0,379	96.402
19	19-Jan-22	524,26	463,58	501,72	496,52	0,379	93.436
20	20-Jan-22	510,32	449,49	487,09	482,3	0,379	88.160
21	21-Jan-22	501,56	443,81	481,18	475,52	0,379	85.699
22	22-Jan-22	494,4	438,4	474,27	469,02	0,379	83.372
23	23-Jan-22	487,52	433,46	468,06	463,01	0,379	81.249
24	24-Jan-22	485,36	432,52	466,53	461,47	0,379	80.710
25	25-Jan-22	486,47	432,82	467,2	462,16	0,379	80.951
26	26-Jan-22	495,42	439,56	475,58	470,19	0,379	83.789
27	27-Jan-22	488,34	431,29	469,5	463,04	0,379	81.260
28	28-Jan-22	493,01	433,94	473,19	466,71	0,379	82.553
29	29-Jan-22	488,56	431,62	469,82	463,33	0,379	81.362
30	30-Jan-22	481,89	428,47	466,71	459,02	0,379	79.855
31	31-Jan-22	480,2	428,29	464,97	457,82	0,379	79.438

Data pada tabel yang disajikan diatas merupakan hasil olah data dengan persamaan dari rumus nomor 2.4 sebagai berikut:

$$P_{loss} = (I)^2 \times R_{\Omega}$$

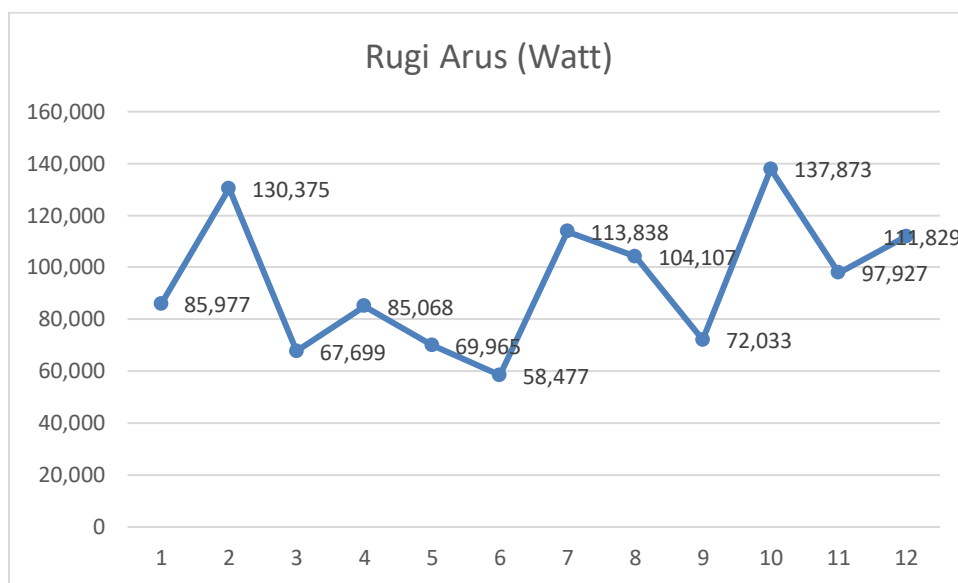
Contoh pada tanggal 1 januari 2022

$$P_{loss} = (785,11)^2 \times 0,379 = 233.615 \text{ Watt}$$

Rata-rata rugi daya pada bulan Januari 2022 adalah 137,49 watt. Sedangkan data lengkap rugi daya pada bulan januari sampai dengan Desember adalah sebagai berikut

Tabel 7. Nilai rugi daya tahun 2022

No	Bulan	Avg Current Ph-A (Ampere)	Avg Current Ph-B (Ampere)	Avg Current Ph-C (Ampere)	Rata-rata Arus (Ampere)	Resistensi (ohm)	Rugi daya (Watt)
1	Januari	617,49	554,04	597,61	589,71	0,379	131.802
2	Februari	759,46	698,33	744,42	734,07	0,379	204.228
3	Maret	548,95	492,63	534,39	525,32	0,379	104.590
4	April	614,17	554,49	600,22	589,63	0,379	131.763
5	Mei	558,27	506,43	542,96	535,89	0,379	108.839
6	Juni	511,43	454,76	497,87	488,02	0,379	90.265
7	Juli	704,91	648,55	695,70	683,05	0,379	176.827
8	Agustus	658,54	605,76	647,53	637,28	0,379	153.921
9	September	564,34	508,14	549,77	540,75	0,379	110.823
10	Oktober	779,10	720,94	766,63	755,56	0,379	216.360
11	November	639,75	585,28	628,58	617,87	0,379	144.688
12	Desember	703,31	645,20	688,16	678,89	0,379	174.678



Gambar 3. Grafik Rugi Daya Tahun 2022

Berdasarkan hasil olah data pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai rata-rata rugi daya pada tahun 2022 adalah sebesar 145.732 watt dengan nilai rugi daya paling besar adalah pada bulan Oktober 2022 sebesar 216.360 watt dan nilai rugi daya paling kecil adalah pada bulan Juni 2022 sebesar 90.265 watt.

Perhitungan Losses Transformator Pada GI Mangunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor Tegangan

Untuk menghitung rugi tegangan (voltage drop) dengan data "Average Voltage Phase-to-Phase" (tegangan rata-rata fasa-ke-fasa), dapat digunakan hukum Ohm untuk mengestimasi rugi tegangan pada suatu konduktor atau sistem kabel. Rugi tegangan terjadi akibat resistansi

konduktor dan arus yang mengalir melaluinya. Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung rugi tegangan:

1. Mengidentifikasi Data yang Diperlukan:
 - a. Nilai "Average Voltage Phase-to-Phase" (V_{avg}) dalam volt (V).
 - b. Nilai resistansi konduktor (R) dalam ohm per satuan panjang (biasanya ohm per meter atau ohm per kilometer)
 - c. Nilai arus (I) yang mengalir melalui konduktor dalam ampere (A).
 - d. Panjang konduktor (L) dalam meter (jika R dalam ohm/meter) atau kilometer (jika R dalam ohm/kilometer).

2. Menghitung Rugi Daya:

Rugi daya akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi daya. Rugi daya ini dapat ditulis dari rumus nomor 2.5 dan 2.4 sebagai berikut :

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times R \times \text{power daya}}$$

$$I_s = \frac{1960}{\sqrt{3} \times 0,379 \times 0,9}$$

$$I_s = 1184,1 \text{ A}$$

$$P_{cu} = I_p^2 \cdot R_1 + I_s^2 \cdot R_2$$

$$P_{cu} = 785,11^2 \cdot 0,379 + 1184,1^2 \cdot 0,379$$

$$P_{cu} = 233614 \text{ W} + 531393 \text{ W}$$

$$P_{cu} = 765007 \text{ W}$$

Hasil perhitungan Vloss akan memberikan nilai rugi tegangan pada konduktor atau sistem kabel dalam volt. Sebelumnya harus dipastikan bahwa satuan panjang resistansi (ohm/m atau ohm/km) sesuai dengan satuan panjang panjang konduktor (m atau km) untuk mendapatkan hasil yang benar. Rugi tegangan adalah penurunan tegangan yang terjadi pada konduktor atau sistem kabel selama perjalanan arus melalui konduktor tersebut.

Data primer didapatkan dalam perhitungan losses transformator Pada GI Mangunegaran 150 KVA Berdasarkan Faktor tegangan adalah rata-rata tegangan antar fasa, resistensi dan rugi daya (Data Februari- Desember terlampir)

Tabel 8. Tabel Rugi Daya Januari 2022

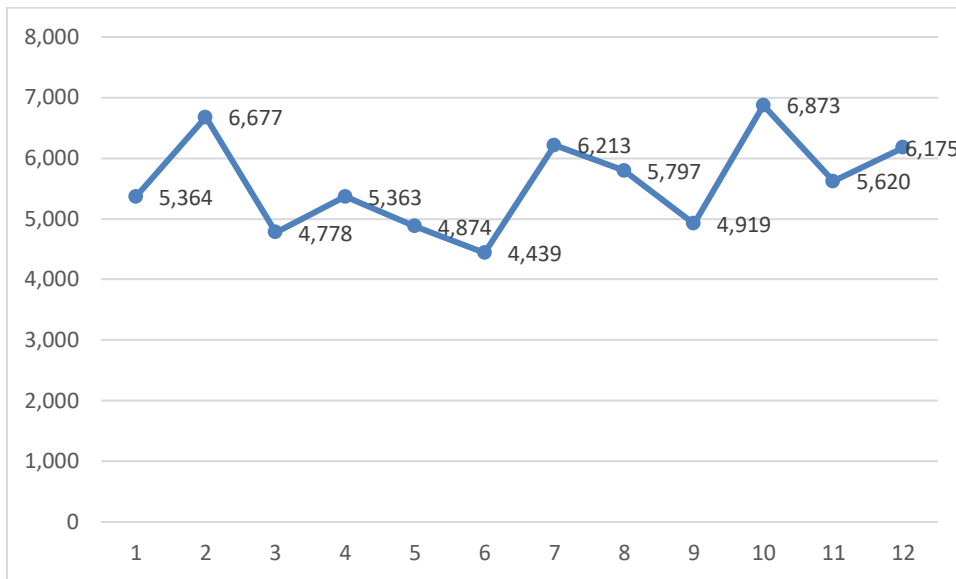
NO	DateTime	Avg Power Ph-A (Watt)	Avg Power Ph-B (Watt)	Avg Power Ph-C (Watt)	P (Watt)	R (Ohm)	I (Ampere)	L (KM)	Core Loss (KW)
1	01 Januari 2022	11973,13	11960,11	11948,73	11960,66	0,37	785,1	24	714
2	02 Januari 2022	11945,18	11929,53	11919,6	11931,44	0,37	781,9	24	711
3	03 Januari 2022	11926,89	11908,01	11899,81	11911,57	0,37	780,9	24	710
4	04 Januari 2022	12030,43	12018,74	12010,88	12020,02	0,37	755,9	24	687
5	05 Januari 2022	12013,06	12006,27	11997,04	12005,46	0,37	754,6	24	686
6	06 Januari 2022	11999,53	11994,43	11979,78	11991,25	0,37	740,6	24	673
7	07 Januari 2022	12035,59	12034,51	12014,96	12028,35	0,37	720,5	24	655
8	08 Januari 2022	12095,49	12101,71	12076,48	12091,23	0,37	700,5	24	637
9	09 Januari 2022	12078,23	12083,35	12057,59	12073,06	0,37	689,5	24	627

10	10 Januari 2022	11937,55	11944,31	11923,29	11935,05	0,37	687,7	24	625
11	11 Januari 2022	11936,48	11938,44	11920,25	11931,72	0,37	685,6	24	623
12	12 Januari 2022	11913,48	11912,32	11895,82	11907,21	0,37	665,2	24	605
13	13 Januari 2022	11946,36	11942,39	11926,63	11938,46	0,37	655,0	24	595
14	14 Januari 2022	12045,03	12040,33	12024,42	12036,59	0,37	624,7	24	568
15	15 Januari 2022	12037,04	12033,48	12019,8	12030,11	0,37	593,5	24	539
16	16 Januari 2022	11957,82	11956,01	11945,55	11953,13	0,37	541,5	24	492
17	17 Januari 2022	12015,24	12014,17	12006,83	12012,08	0,37	523,1	24	475
18	18 Januari 2022	12078,01	12080,94	12075,86	12078,27	0,37	504,3	24	458
19	19 Januari 2022	11936,1	11938,4	11936,15	11936,88	0,37	496,5	24	451
20	20 Januari 2022	11931,27	11933,92	11933,91	11933,03	0,37	482,3	24	438
21	21 Januari 2022	11877,27	11878,71	11879,07	11878,35	0,37	475,5	24	432
22	22 Januari 2022	11885,78	11891,98	11896,33	11891,36	0,37	469,0	24	426
23	23 Januari 2022	11898,23	11906,76	11913,53	11906,17	0,37	463,0	24	421
24	24 Januari 2022	11856,43	11864,56	11875,5	11865,5	0,37	461,4	24	419
25	25 Januari 2022	11831,95	11841,85	11853,54	11842,45	0,37	462,1	24	420
26	26 Januari 2022	11900,15	11911,36	11923,41	11911,64	0,37	470,1	24	427
27	27 Januari 2022	11970,48	11981,11	11995,64	11982,41	0,37	463,0	24	421
28	28 Januari 2022	11949,73	11960,05	11975,41	11961,73	0,37	466,7	24	424
29	29 Januari 2022	11992,18	12004,95	12016,55	12004,56	0,37	463,3	24	421
30	30 Januari 2022	12032,44	12046,07	12052,02	12043,51	0,37	459,0	24	417
31	31 Januari 2022	12045,42	12059,31	12061,71	12055,48	0,37	457,8	24	416

Tabel 9. Tabel Rugi daya Januari 2022 – Desember 2022

NO	BULAN	P LOSS (Watt)
1	Januari	5.364
2	Februari	6.677
3	Maret	4.778
4	April	5.363
5	Mei	4.874
6	Juni	4.439
7	Juli	6.213
8	Agustus	5.797
9	September	4.919

10	Oktober	6.873
11	November	5.620
12	Desember	6.175



Berdasarkan hasil olah data pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai rugi daya paling besar adalah pada bulan Oktober 2022 sebesar 6.873 W dan nilai rugi daya paling kecil adalah pada bulan Juni 2022 sebesar 4.439 W. Dengan rata-rata rugi tegangan adalah 5.591 W.

Perhitungan Efisiensi Daya Pada Transformator 150 KVA Di GI Mangkunegaran. **Efisiensi Daya**

Untuk menghitung Efisiensi daya, perlu memiliki data daya input (P_{input}), daya output (P_{output}), dan nilai kerugian daya (P_{loss}). Efisiensi daya dihitung sebagai rasio antara daya output dan daya input, dengan memperhitungkan kerugian daya. Menggunakan rumus nomor 2.27 dan 2.28 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Daya}(\%) = \left(\frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input} + \text{Kerugian Tegangan}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Daya}(\%) = \left(\frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input} + \text{Kerugian Daya}} \right) \times 100\%$$

Dalam kasus ini:

Daya input (P_{input}) adalah 11890 watt.

Daya output (P_{output}) adalah 11910 watt.

Kerugian daya (P_{loss}) adalah 5591 watt.

Maka perhitungan Efisiensi daya: adalah:

$$\text{Efisiensi Daya}(\%) = \left(\frac{11.910 \text{ watt}}{11.980 \text{ watt} + 5591 \text{ watt}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Daya}(\%) = \left(\frac{11.910 \text{ watt}}{17.481 \text{ watt}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Daya}(\%) \approx 68.09\%$$

Jadi, Efisiensi Daya pada tahun 2022 adalah sekitar 68.09%. Ini menunjukkan seberapa baik tegangan output yang diterima dibandingkan dengan tegangan input, dengan mempertimbangkan kerugian tegangan. Semakin tinggi Efisiensi tegangan, semakin baik kualitas tegangan yang diterima pada output transformator.

Tindakan Yang Harus Dilakukan Dalam Melakukan Efisiensi Daya Pada Transformator Pada GI Mangkunegaran 150 KVA.

Tingkat kerugian daya pada tahun 2022 adalah sebesar 22,37%. Tingkat kerugian daya ini mengukur sejauh mana daya listrik yang hilang selama proses distribusi. Tindakan yang perlu dilakukan untuk mengurangi kerugian energi meliputi perlunya dilakukan evaluasi terhadap jaringan distribusi untuk mengidentifikasi area-area dengan tingkat kerugian energi tinggi. Penyempurnaan dalam desain jaringan dan penggunaan kabel yang lebih efisien dapat membantu mengurangi kerugian energi. Pemantauan beban transformator secara rutin akan membantu dalam menentukan apakah transformator beroperasi pada beban yang optimal. Jika ditemukan bahwa transformator sering bekerja di bawah kapasitasnya, maka perlu dipertimbangkan penyesuaian beban.

Faktor daya pada tahun 2022 dilaporkan sebesar 97%. Meskipun faktor daya ini sudah baik, perlu diperhatikan bahwa faktor daya yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi sistem distribusi. Tindakan yang dapat dilakukan untuk mempertahankan faktor daya yang baik meliputi melakukan pemantauan terhadap faktor daya secara rutin untuk memastikan bahwa faktor daya tetap dalam kondisi yang optimal. Jika terdapat penurunan faktor daya, pertimbangkan instalasi kapasitor untuk kompensasi daya reaktif.

Jumlah daya yang hilang pada tahun 2022 adalah 5.591 watt. Sistem distribusi mengalami kehilangan tegangan ini, yang merupakan penurunan tegangan. Tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi daya meliputi Peningkatan kualitas isolasi pada konduktor dan peralatan pendukung untuk mengurangi rugi daya. Isolasi yang baik akan membantu menjaga daya pada level yang optimal. Rugi daya yang terjadi pada tahun 2022 adalah sebesar 145.732 watt. Kerugian daya ini terutama disebabkan oleh resistansi konduktor dan peralatan yang menghasilkan panas dalam sistem distribusi. Tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi kerugian arus meliputi Melakukan perawatan rutin pada transformator dan peralatan pendukungnya untuk memastikan kinerja yang optimal. Pemeriksaan berkala dapat mengidentifikasi kerusakan dan kerugian daya akibat arus yang perlu segera diatasi. Evaluasi penggunaan konduktor dengan resistansi rendah yang dapat mengurangi kerugian arus. Pemilihan konduktor yang lebih baik dalam hal kualitas dan ukuran dapat membantu mengurangi kerugian daya.

Efisiensi daya pada transformator di GI Mangkunegaran 150 KVA dapat ditingkatkan dengan serangkaian tindakan yang tepat. Pemantauan beban, evaluasi jaringan distribusi, perawatan rutin, pemantauan faktor daya, dan peningkatan kualitas isolasi adalah beberapa langkah yang dapat membantu dalam meningkatkan efisiensi daya dan mengurangi kerugian daya. Dengan tindakan yang tepat, sistem distribusi listrik dapat beroperasi lebih efisien dan efektif.

SIMPULAN

Penulis dapat menarik sejumlah kesimpulan dari pengetahuan penelitian yang diberikan pada bab-bab sebelumnya.

1. Perhitungan Losses transformator pada GI Mangkunegaran 150 KVA menghasilkan puncak losses pada Trafo 1 mencapai 110.116.890 W dan Losses tertinggi pada Trafo 2 mencapai 389.925.224 W.
2. Efisiensi daya pada transformator 150 KVA di GI Mangkunegaran yakni efisiensi energi listrik Trafo 1 dan 2 adalah sekitar 96,34% dan 97,62%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Novendi, “Tugas Akhir Ini Menjelaskan Tentang Penggunaan Kendali Optimal Dengan Metode Linear Quadratic Gaussian (LQG) Dan Metode Linear Quadratic Gaussian – Loop Transfer Recovery (LQG-LTR) Yang Diterapkan Pada Sistem Eksitasi Dari Sistem Single Machine Infinite B,” pp. 1–3, 2016.
- [2] Afrillia, “Pengaruh Rugi-Rugi Daya Terhadap Kemampuan Transformator1. Afrillia. Pengaruh Rugi-Rugi Daya Terhadap Kemampuan Transformator 70 Kv 30 Mva Di Gardu Induk Bukit Siguntang Pt.Pln (Persero) Palembang,” *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.*, vol. 53, no. 9, 2015, [Online]. Available: <http://publications.lib.chalmers.se/Records/Fulltext/245180/245180.Pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/J.Jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/J.Gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/J.Pre camres.2014.12>
- [3] J. P. Antarnusa, “Studi Efisiensi Transformator Daya Di Gardu Induk Mojosongo 150 Kv,” *Publ. Ilm.*, pp. 1–17, 2022.
- [4] and A. M. Dermawan, Erwin, “Evaluasi Penentuan Rugi-Rugi Transformator dalam Pengaruh Arus Non-Sinusoidal,” *Tek. Elektro*, pp. 7–15, 2017.
- [5] J. Ohoiwutun, “Analisis Rugi Daya Transformator 100 Kva Gardu Rufeil Pantai Di PT . PLN (Persero) Wilayah Papua Dan Papua Barat Area Sorong,” *Electro Luceat*, vol. 3, no. 1, 2017.
- [6] D. N. Prameswari, “Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 Kv Padalarang Baru,” 2022, [Online]. Available: <http://repositori.unsil.ac.id/id/eprint/7680>.
- [7] and Y. I. Sentosa Setiadji, Julius, Tabrani Machmudsyah, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi,” *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 7, no. 2, 2008.
- [8] Sahrul Guntoro, “ANALISIS ALIRAN DAYA DENGAN METODE TEKNIK TOPOLOGI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT PLN (Persero) ULP MAJENANG,” 2017, [Online]. Available: [http://repositori.unsil.ac.id/8591/9/BAB II Sahrul Guntoro 177002047.pdf](http://repositori.unsil.ac.id/8591/9/BAB%20II%20Sahrul%20Guntoro%20177002047.pdf).
- [9] A. Hasibuan, “Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Single Mesin Menggunakan Metode Runge Kutta Orde 4,” *J. Elektro dan Telekomunikasi*, vol. 4, no. 2, p. 24, 2017.