



Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator di PDAM Surya Sembada Surabaya

Moh. Andriansyah Maulana

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: andriansyahmaulana678@gmail.com

Gatut Budiono

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: gatut_budiono@untag-sby.ac.id

Alamat: Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118

Telp. (031)5931800, Fax.(031)5927871

Korespondensi penulis: andriansyahmaulana678@gmail.com

Abstract. Currently, electric power is a primary need, both for daily life and for industrial life. In meeting the need for electric power, load distribution occurs which is initially evenly distributed, but because of the asymmetry in the switching on of these loads, this creates a load imbalance which has an impact on the supply of electric power. Apart from asymmetry in load usage, unbalanced connection in the R, S and T phases is also another factor that causes technical losses. In transformers there are losses, both losses caused by current flowing in the copper wire which results in reduced efficiency in the transformer. The method used in preparing this final report is a quantitative method, data collection is carried out based on the results of measurements in the field, after carrying out the measurements it is completed using a mathematical model including the equation of average load current, load imbalance, power losses and transformer efficiency. From the results of the research carried out, the final results were obtained which showed the average loading current, load imbalance, power losses and efficiency of distribution transformers at PDAM Surya Sembada Surabaya, namely that the highest loading percentage occurred on the second transformer, namely (37.93%), The highest transformer load imbalance occurred in the third transformer, namely (10.3%), the highest transformer Neutral Current Losses occurred in the second transformer, namely (465.4144 W), and the highest efficiency occurred in the first transformer, namely (97.79%). When the load imbalance is higher, the power losses in the transformer are also greater, and the efficiency is lower.

Keywords: Loading, Load Imbalance, Neutral Current Losses, Copper Losses, Efficiency.

Abstrak. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun tuk kehidupan industri. Dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidak serempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidak serempakan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R,S dan T juga merupakan faktor lain yang menimbulkan *losses* secara teknis. Pada transformator terdapat rugi-rugi, baik rugi-rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga yang mengakibatkan berkurangnya efisiensi pada transformator. Metode yang digunakan dalam pelaksanaan penyusunan laporan tugas akhir ini adalah metode kuantitatif, pengumpulan data yang dilakukan berdasarkan hasil dari pengukuran dilapangan, setelah melakukan pengukuran diselesaikan dengan menggunakan model matematis meliputi persamaan arus rata-rata pembeban, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya dan efisiensi transformator. Dari hasil penelitian yang dilakukan di dapatkan hasil akhir yang menunjukkan rata-rata arus pembebanan, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya dan efisiensi transformator distribusi Di PDAM Surya Sembada Surabaya yaitu persentase pembebanan tertinggi terjadi pada transformator kedua yaitu sebesar (37,93%), Ketidakseimbangan beban transformator tertinggi terjadi pada transformator ketiga yaitu sebesar (10,3%), *Losses Arus Netral* transformator tertinggi terjadi pada transformator kedua yaitu sebesar (465.4144 W), dan efisiensi tertinggi terjadi pada transformator kesatu yaitu sebesar sebesar (97,79%). Ketika

ketidakseimbangan beban semakin tinggi maka rugi-rugi daya pada transformator juga semakin besar, dan efisiensinya semakin rendah.

Kata kunci: Pembebanan, Ketidakseimbangan Beban, *Losses* Arus Netral, *Losses* Tembaga, Efisiensi.

PENDAHULUAN

Pengembangan sumber energi untuk memperoleh kerja yang berguna adalah kunci dari kemajuan industri yang penting untuk peningkatan taraf hidup yang berkesinambungan bagi rakyat yang dimanapun mereka berada. Bagaimana menemukan sumber energi yang baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi dimana saja diperlukan, dan mengubah energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, serta menggunakannya tanpa menimbulkan pencemaran yang akan merusak lingkungan hidup kita, ada beberapa dari tantangan-tantangan terbesar yang dihadapi dunia pada masa kini. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kehidupan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk energi lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidak serempakan waktu penyalan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidak seimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidak serempakan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S dan T juga merupakan faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya ketidakseimbangan beban terhadap transformator. Ketidakseimbangan beban adalah hal yang menimbulkan *losses* secara teknis, yang akan merugikan PLN. Pada transformator terdapat rugi-rugi, baik rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga, rugi yang disebabkan fluks bolak balik pada inti besi yang mengakibatkan berkurangnya efisiensi pada transformator.

Efisiensi transformator merupakan perbandingan daya keluaran (output) dan daya masukan (input), dimana besar kecilnya efisiensi pada transformator dipengaruhi besar kecilnya pembebanan. Efisiensi juga dipengaruhi oleh rugi-rugi yang terdapat pada transformator. Rugi-rugi yang terdapat pada transformator adalah rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga, rugi-rugi pada transformator ini menyebabkan perbedaan daya masukan dan daya keluaran, semakin besar rugi-rugi yang dihasilkan pada transformator maka akan semakin besar daya yang hilang pada transformator tersebut.

KAJIAN TEORITIS

State of The Art

Pada penelitian yang dilakukan oleh Duri, Ariyen, Riana T. Mangesa, and Udin Sidin Sidik. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Pembebanan Dan Efisiensi Transformator Pada Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) ULP Sunguminasa. Diss. Universitas Negeri Makassar, 2020. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar ketidakseimbangan beban, pembebanan dan efisiensi transformator pada jaringan distribusi di PT PLN (Persero) ULP Sunggiminasa, serta untuk mengetahui pengaruh ketidak seimbangan beban terhadap pembebanan transformator dan efisiensi transformator. Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif dianalisis dengan analisis deskriptif dan asosiatif.(Gardu et al. n.d.)

Pada Penelitian yang dilakukan oleh Sampe, Aris. "Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi 20 KV/380 V Di Penyulang DPR Kota." *Jurnal Sains dan Teknologi* 1.2 (2022): 106-123. Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada dikonsumsi. Salah satu yang menyebabkan kerja transformator distribusi berkurang adalah adanya arus pada penghantar netral yang menyebabkan adanya rugi-rugi penghantar yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi tegangan rendah dijaya pura.(Sains 2022).

TRANSFORMATOR

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar “kaki” inti transformator. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti, transformator terdiri dari dua macam konstruksi, yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Kedua tipe ini menggunakan inti berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi.

Transformator satu fasa mempunyai satu sisi masukan dan satu sisi keluaran. Sisi masukan disebut sisi primer, dan sisi keluaran disebut sisi sekunder. Sedangkan transformator tiga fasa mempunyai tiga buah sisi masukan dan tiga buah sisi keluaran, Transformator tiga fasa dapat dibentuk dari tiga buah transformator satu fasa ataupun dari bentuk konstruksi

transformator tiga fasa satu inti. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut :

1. Transformator daya, transformator ini biasanya digunakan di pembangkit tenaga listrik, untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
2. Transformator distribusi, transformator ini pada umumnya digunakan pada sub distribusi tenaga listrik, yaitu untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
3. Transformator instrument, transformator ini gunanya digunakan sebagai alat instrument pengukuran yang terdiri dari transformator arus (current transformer) dan transformator tegangan (potential transformer).

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan sistem distribusi. Suatu sistem distribusi yang menghubungkan semua beban terjadi pada stasiun pembantu atau substation, dimana dilaksanakan transformasi tegangan.

JENIS-JENIS TRANSFORMATOR

1 Phase adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan 2 kawat penghantar yang kesatu sebagai kawat phase (L) dan yang kedua sebagai kawat neutral (N). Umumnya listrik 1 phase bertegangan 220-240 volt yang digunakan banyak orang. Biasanya listrik 1 phase digunakan untuk listrik perumahan, namun listrik PLN di jalanan itu memiliki 3 phase, tetapi yang masuk ke rumah kita hanya 1 phase karena kita tidak memerlukan daya besar dan untuk peralatan dirumah kita hanya menggunakan listrik 1 phase dengan 220-240 volt, misalnya yang kerumah kita adalah Phase R, tetangga kita mungkin Phase S, dan tetangga yang lain Phase T.

3 Phase adalah jaringan listrik yang menggunakan tiga kawat phase (R,S,T) dan satu kawat neutral (N) atau sering dibilang kawat ground. Menurut istilah listrik 3 phase terdiri dari 3 kabel bertegangan listrik dan 1 kabel neutral. Umumnya listrik 3 Phase bertegangan 380 volt yang banyak digunakan Industri atau pabrik.

Listrik 3 phase adalah listrik AC (*Alternating Current*) yang menggunakan 3 kawat penghantar yang mempunyai tegangan pada masing-masing phasanya sama, tetapi berbeda dalam sudut curvenya sebesar 120 derajat.

Ada 2 macam tegangan listrik yang dikenai dalam sistem 3 phase ini, yaitu :

1. Tegangan antar phase (V_{pp} : *Voltage phase to neutral* atau *Voltage line to neutral*).
2. Tegangan phase ke neutral (V_{pn} : *Voltage phase to neutral* atau *Voltage line to neutral*).

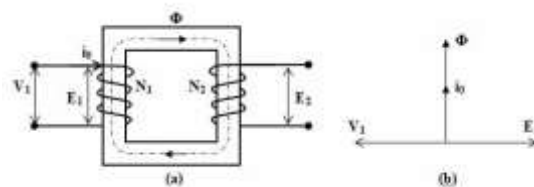
Menggunakan listrik 3 phase sebenarnya memiliki keuntungan. Keuntungan listrik 3 phase yaitu :

1. Menyediakan daya listrik yang besar (biasanya pada industri menengah dan besar). Industri atau hotel memerlukan daya listrik yang besar sehingga memerlukan jaringan yang banyak. Tapi pada output terakhir untuk pemakaian hanya memerlukan satu phase (memilih salah satu dari 3 phase yang ada). Listrik 3 phase biasanya diperlukan untuk menggerakkan motor industri yang memerlukan daya besar.
2. Karena menggunakan tegangan yang lebih tinggi maka arus yang akan mengalir akan lebih rendah untuk daya yang sama. Sehingga untuk daya yang besar, kabel yang digunakan bisa lebih kecil.

KEADAAN TRANSFORMATOR TANPA BEBAN

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalir arus primer I_0 (arus eksitasi) yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 .

Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefase dan juga berbentuk sinusoidal. Fluks bolak-balik ini akan memotong kumparan primer dan kumparan sekunder dan harganya naik turun dalam arah bolak-balik sehingga menginduksikan ggl pada kedua lilitan tersebut. Ggl yang diinduksikan dalam kumparan primer akan melawan tegangan V_1 yang dikenakan.

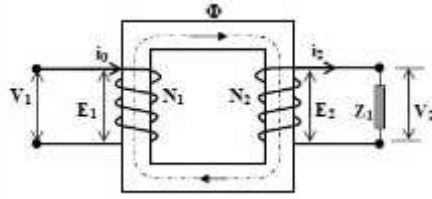


Gambar 1. Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal dan kumparan sekundernya merupakan rangkaian yang tidak dibebani (*no load*), maka akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefase dan juga berbentuk sinusoidal.

KEADAAN TRANSFORMATOR BERBEBAN

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L maka I_2 akan mengalir pada kumparan sekunder, dimana diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Transformator Berbeban

Arus beban I_2 ini menimbulkan Gaya Gerak Magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2 , yang enentang arus yang dibangkitkan oleh beban I_2 , sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer.

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M saja, berlaku hubungan.

AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN

Beban fasa seimbang merupakan beban dimana arus yang mengalir pada beban-beban sinetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan simetris. Sehingga untuk menganalisa beban-beban seperti ini biasanya diasumsikan disuplai oleh tegangan simetris. Dengan demikian analisa dapat dilakukan secara perfasa saja, jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada setiap fasa, sedangkan yang sebenarnya beban tersebut tidak seimbang.

Ketidaseimbangan beban pada transformator distribusi 3 phase dapat menyebabkan timbulnya arus netral yang dapat menyebabkan terjadinya susut daya. Susut daya pada transformator selain membuat kerugian pada penyedia energi listrik dalam hal ini adalah PT PLN (Persero), juga dapat mengakibatkan kurangnya nilai efisiensi dalam penyaluran energi listrik. Sehingga, untuk menangani ketidak seimbangan beban pada transformator perlu dilakukan penyeimbangan beban pada setiap phase transformator.

PEMBEBANAN TRANSFORMATOR

Akibat dari ketidakseimbangan beban tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi)

Telah diketahui bahwa daya transformator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut

$$S =$$

$$\sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (2.37)$$

Keterangan :

S = Daya Transformator (KVA)

V = Tegangan Sisi Primer Transformator (kV)

I = Arus Jalan-jalan (A)

Dengan demikian untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \dots \dots \dots (2.38)$$

Keterangan :

IFL = Arus Beban Penuh (A)

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

Sedangkan mencari arus rata-rata yang terdapat pada transformator dapat menggunakan rumus :

$$I_{Rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots \dots \dots (2.40)$$

Dengan demikian untuk menghitung persentase pembebanannya adalah sebagai berikut :

$$\%b = \frac{I_{ph}}{IFL} 100\% \dots \dots \dots (2.41)$$

Keterangan :

%b = Persentase Pembebanan (%)

I_{ph} = Arus Fasa (A)

IFL = Arus Beban Penuh (A).

KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN

Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo dengan menggunakan perasamaan, koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata-rata}), maka koefisien a, b dan c diperoleh dengan:

$$a = \frac{IR}{I} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$b = \frac{IS}{I} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$c = \frac{IT}{I} \dots\dots\dots(2.44)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %)

$$\frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.45)$$

LOSSES (RUGI-RUGI)

Sebagai akibat dari ketidak seimbangan beban antara tiap tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S,dan fasa T) mengalirkan arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). Dan *losses* pada penghantar netral dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots(2.46)$$

Keterangan :

PN = *Losses* yang timbul pada penghantar netral (watt)

IN = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

RN = Tahanan pada kawat netral (Ω)

Maka besarnya persentase *losses* akibat adanya arus netral adalah :

$$\%P = \frac{P_N}{P} \times 100\% \dots\dots\dots(2.47).$$

EFISIENSI

Efisiensi menunjukkan tingkat keefisienan kerja suatu peralatan dalam hal ini transformator yang merupakan perbandingan rating output (keluaran) terhadap input (masukan) dan dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.51)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.52)$$

$$P_{iN} = P_{out} + \text{Rugi} - \text{rugi daya}$$

$$P_{out} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{Rata-Rata} \cdot \cos \varphi$$

Keterangan :

η = Efisiensi

P_{in} = Daya input transformator

P_{out} = Daya output transformator

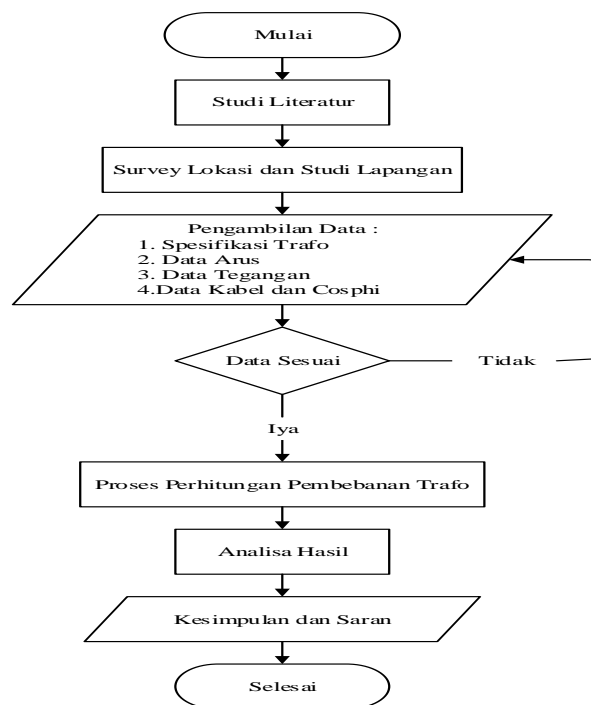
V = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

$\cos \varphi$ =Faktor Daya.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Penelitian tentang “Analisa KetidakSeimbangan Beban Transformator Distribusi Di Pdam Surya Sembada Surabaya”, penulis menggunakan jenis peneitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 3. Diagram Alir

Data yang dibutuhkan adalah data yang diambil dari hasil survey dan observasi lapangan pada transformator distribusi di PDAM Surya Sembada Surabaya. Berikut adalah data yang akan digunakan sebagai perhitungan pada penelitian ini :

1. Data Spesifikasi Transformator

Data spesifikasi transformator di PDAM Surya Sembada Surabaya, tujuannya yaitu untuk mengetahui tipe dan merek transformator apa saja yang mengalami pembebanan tidak seimbang.

2. Data pengukuran arus

Data arus yang diutuhkan adalah data yang mengalir dimasing-masing fasa (fasa R, Fasa S, fasaT dan N). Data arus ini yang dibutuhkan untuk untuk mengetahui besar arus rata-rata yang mengalir di fasa R, S, T. Sedangkan data arus netral diutuhkan untuk mengetahui besar rugi daya yang terjadi pada transformator

3. Data pengukuran tegangan

Tegangan yang terdapat pada transformator adalah tegangan yang mengalir dimasing-masing fasa dan tegangan kerja yang terdapat pada transformator. Data yang diperlukan adalah data tegangan kerja transformator.

4. Data pengukuran tahanan

Data tahanan yang diutuhkan adalah data yang mengalir dipenghantar netral trafo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melakukan analisa ketidakseimbangan beban maka diperlukan data pengukuran arus setiap fasa diantaranya data arus fasa R, fasa S, fasa T dan pada Netral trafo. Data ini dibutuhkan untuk mengetahui besar arus rata-rata yang mengalir pada tiap-tiap Fasa, sedangkan data arus netral dibutuhkan untuk mengetahui besar rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator Distribusi. Adapun pengambilan data tersebut dilakukan dengan cara pengukuran langsung pada trafo distribusi 1600kVA dengan pengambilan data setiap jam 09.00 dan jam 17.00.

DATA TRANSFORMATOR

Nomor Seri	193302186
Kode Trafo	IEC60076
Nama Pabrik	Pt.trafoindo prima perkasa
Kapasitas	1600 kVA
Fasa	3
Tegangan (kV) Primer	20 kV
Tegangan (V) Sekunder	400 V
Arus (A) Primer	46.18 A
Arus (A) Sekunder	2309.40 A
Impedansi	6
Kabel Incoming	N2XSJY 3x (1x35 Sqmm)
Kabel Outgoing	NYJY 14x (1x300 Sqmm)

Tabel 1. Hasil Pengukuran Transformator Pertama

Waktu		Arus (A)			
Tanggal	Waktu	R	S	T	N
1/5/2023	9:00	423	438	399	14,44
	17:00	512	475	442	18,21
2/5/2023	9:00	567	600	549	15,90
	17:00	640	674	620	17,10
3/5/2023	9:00	412	391	395	15,57
	17:00	476	478	423	16,72
4/5/2023	9:00	513	562	578	15,57
	17:00	552	548	591	16,78
5/5/2023	9:00	547	536	541	15,69
	17:00	583	579	524	16,17

Tabel di atas adalah hasil pengukuran beban perfasa pada transformator distribusi di PDAM Surya Sembada Surabaya.

ANALISIS DATA

1. Perhitungan pembebanan transformator

Untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{1600kVA}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

Untuk perhitungan arus rata-rata sebagai berikut dengan menggunakan data pengukuran beban pada fasa R, fasa S dan fasa T yang dapat dilihat pada tabel 1 dapat dihitung nilai arus rata-rata pembebanan trafo pada tanggal 01 Mei 2023 pukul 09.00 WIB dan pukul 17.00 WIB.

Untuk menghitung arus rata-rata sebagai berikut :

$$I_{\text{Rata-rata jam 09.00}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{423 + 438 + 399}{3} = 420 \text{ A}$$

$$I_{\text{Rata-rata jam 17.00}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{512 + 475 + 442}{3} = 476,3 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan persentase pembebanan transformator pukul 09.00 WIB dan 17.00

WIB

$$\% \text{ Beban jam 09.00} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{IFL} \times 100\% = \frac{420}{2309,4} \times 100\% = 18,18\%$$

$$\% \text{ Beban jam 17.00} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{IFL} \times 100\% = \frac{476,3}{2309,4} \times 100\% = 20,62\%$$

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beban puncak terjadi pada jam 17.00 yaitu 20,62%

2. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Transformator

Dari perhitungan data diatas dapat diketahui bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang. Besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.42), (2.43), (2.44), (2.45) sebagai berikut :

Ketidakseimbangan Beban Pada Jam 09.00

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-Rata}}} = \frac{423}{420} = 1,007$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-Rata}}} = \frac{438}{420} = 1,042$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{Rata-Rata}}} = \frac{399}{420} = 0,95$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1 dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %). Maka persentase ketidakseimbangan beban pada pukul 09.00 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,007 - 1| + |1,042 - 1| + |0,95 - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= 3,3\% \end{aligned}$$

Ketidakseimbangan Beban Pada Jam 17.00

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata-Rata}}} = \frac{512}{476,3} = 1,074$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata-Rata}}} = \frac{475}{476,3} = 0,99$$

$$c = \frac{I_T}{I_{Rata-Rata}} = \frac{442}{476,3} = 0,92$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1 dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam%). Maka persentase ketidakseimbangan beban pada pukul 17.00 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,074 - 1| + |0,99 - 1| + |0,92 - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= 5,5\% \end{aligned}$$

3. Perhitungan Rugi-rugi Transformator

Besar rugi-rugi daya yang terjadi akibat arus yang mengalir di netral transformator dengan menggunakan persamaan (2.46), (2.47), (2.49). Rugi-rugi transformator akibat adanya arus pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya:

Perhitungan rugi-rugi daya pada netral jam 09.00

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 14,44^2 \times 0,0601 \\ &= 12,53167 \text{ Watt atau } 0,1253167 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase rugi-rugi akibat arus netral pada penghantar netral transformtor adalah:

$$\begin{aligned} \%P &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ P &= \frac{12,53}{1,536} \times 100\% \\ &= 0,081\% \end{aligned}$$

Perhitungan rugi-rugi tembaga

$$\begin{aligned} P_{cu} &= 3 \times I^2 \times R \\ 20000 &= 3 \times 2309,40^2 \times R \\ R &= \frac{20000}{3 \times 2309,40^2} = \frac{20000}{1599998} = 0,0125\Omega \\ P_{cu} &= (I_{R^2} \times R) + (I_{S^2} \times R) + (I_{T^2} \times R) \\ &= (423^2 \times 0,0125) + (438^2 \times 0,0125) + (399^2 \times 0,0125) \\ &= (178.929 \times 0,0125) + (191.844 \times 0,0125) + (159.201 \times 0,0125) \\ &= 2236,6 + 2398,0 + 1990,0 \\ &= 6624,6 \text{ Watt atau } 0,66246 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga total keseluruhan *Losses* (rugi-rugi) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_{Rugi\ Total} &= P_N + P_{CU} \\ &= 12,53 + 6624,6 \\ &= 6637,13\end{aligned}$$

Maka persentase *Losses* (rugi-rugi) tembaga adalah:

$$\begin{aligned}\%P_L &= \frac{P_L}{P} \times 100\% \\ &= \frac{6637,13}{1.536} \times 100\% \\ &= 0,43\%\end{aligned}$$

Perhitungan rugi-rugi daya pada netral jam 17.00

$$\begin{aligned}P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 18,21^2 \times 0,0601 \\ &= 19,92941\ \text{Watt}\end{aligned}$$

Dengan demikian persentase rugi-rugi akibat arus netral pada penghantar netral transformator adalah:

$$\begin{aligned}\%P &= \frac{P_N}{p} \times 100\% \\ P &= \frac{19,92}{1,536} \times 100\% \\ &= 0,013\%\end{aligned}$$

Perhitungan rugi-rugi tembaga

$$\begin{aligned}P_{cu} &= 3 \times I^2 \times R \\ 20000 &= 3 \times 2309,40^2 \times R \\ R &= \frac{20000}{3 \times 2309,40^2} = \frac{20000}{1599998} = 0,0125\Omega \\ P_{cu} &= (I_R^2 \times R) + (I_S^2 \times R) + (I_T^2 \times R) \\ &= (512^2 \times 0,0125) + (475^2 \times 0,0125) + (442^2 \times 0,0125) \\ &= (262.144 \times 0,0125) + (225.625 \times 0,0125) + (195.364 \times 0,0125) \\ &= 3276,8 + 2820,3 + 2442,0 \\ &= 8539,1\ \text{Watt atau } 0,85391\ \text{kW}\end{aligned}$$

Sehingga total keseluruhan *Losses* (rugi-rugi) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_{Rugi\ Total} &= P_N + P_{CU} \\ &= 19,92 + 8539,1 \\ &= 8559,02\end{aligned}$$

Maka persentase *Losses* (rugi-rugi) tembaga adalah:

$$\begin{aligned}
 \%P_L &= \frac{P_L}{P} \times 100\% \\
 &= \frac{8559,02}{1.536} \times 100\% \\
 &= 0,55\%
 \end{aligned}$$

Dari analisa perhitungan menggunakan persamaan yang telah ada, terlihat bahwa *Losses* arus netral tertinggi terjadi pada jam 17.00 yaitu sebesar 19,92 Watt dan Persentase *Losses* Tembaga tertinggi terjadi pada jam 17.00 yaitu sebesar 0,55%

4. Perhitungan Efisiensi Transformator

Untuk menentukan nilai efisiensi pada transformator distribusi dengan menggunakan persamaan (2.51), (2.52) maka didapatkan nilai hasil sebagai berikut:

Sebelum menghitung efisiensi dari transformator distribusi dihitung terlebih dahulu daya output dari transformator tersebut.

Perhitungan efisiensi transformator distribusi pada jam 09.00

$$\begin{aligned}
 P_{OUT} &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{Rata-rata} \cdot \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 420 \cdot 0,96 \\
 &= 279345,1
 \end{aligned}$$

Maka efisiensi transformator distribusi pada jam 09.00

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Efisiensi } \eta &= \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + \text{Rugi} - \text{rugi}} \times 100\% \\
 &= \frac{279345,1}{279345,1 + 6637,13} \times 100\% \\
 &= 97,67\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan efisiensi transformator distribusi pada jam 17.00

$$\begin{aligned}
 P_{OUT} &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{Rata-rata} \cdot \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 476,3 \cdot 0,96 \\
 &= 316790,7
 \end{aligned}$$

Maka efisiensi transformator pada jam 17.00

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Efisiensi } \eta &= \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + \text{Rugi} - \text{rugi}} \times 100\% \\
 &= \frac{316790,7}{316790,7 + 8559,02} \times 100\% \\
 &= 97,36\%
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil yang sudah ada atau dijabarkan, tentang analisis ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi yang terjadi pada transformator distribusi di PDAM Surya Sembada Surabaya, maka penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

Kesimpulan

1. Diantara 3 unit transformator terdapat Ketidakseimbangan yang tertinggi terjadi pada transformator ketiga pada pukul pada pukul 17.00 Wib yaitu sebesar 10,3% dan ketidakseimbangan beban terendah terjadi pada pukul 09.00 Wib yaitu sebesar 0,1%. Ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka semakin kecil persentase pembebanan transformator dan semakin besar persentase pembebanan maka akan semakin kecil efisiensi transformator.
2. Diantara 3 unit transformator efisiensi tertinggi terjadi pada transformator pertama pada pukul 09.00 Wib yaitu sebesar 97,79% dan efisiensi transformator terendah terjadi pada transformator kedua pada pukul 17.00 Wib yaitu sebesar 95,36%. Dimana akan diketahui efisiensi semakin besar apa bila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar.

Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yang didapatkan, penulis berharap agar penelitian tugas akhir ini dapat menjadi sebuah bahan pertimbangan untuk pihak PDAM Surya Sembada Surabaya untuk memperhatikan beban antar fasanya (R,S,T)

1. Diharapkan agar lebih memperhatikan pemasangan beban agar didapatkan keseimbangan beban dimana jika beban dalam keadaan seimbang arus yang mengalir di netral trafonsformator semakin kecil dan sebaliknya apabila ketidakseimbangan beban semakin besar maka akan semakin besar pula arus yang mengalir di netral trafonsformator yang mengakibatkan semakin besar pula rugi daya.
2. Diharapkan agar lebih memperhatikan pemasangan bebannya agar dapat mengoptimalkan pengoprasiannya transformator. Untuk 3 unit transformator masih banyak peluang untuk melakukan penambahan beban supaya transformator dapat memaksimalkan pengoprasiannya. Untuk transformator 1, 2 dan 3 peluang untuk melakukan penambahan beban yaitu sebesar 1200,88 A, 972,25 A dan 1108,51 A.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saputro, Ahmad Eko Yuli, and S. T. Agus Supardi. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Palur Karanganyar*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- [2] Tandioga, Remigius, et al. "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa Di Pt. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur, Penyulang Kima." *Jurnal Teknik Mesin Sinergi* 16.1 (2019): 80-88.
- [3] Dewi, Pramudya Sari, and S. T. Umar. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) ULP Pedan*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021.
- [4] SOGEN, Markus Dwiyanto Tobi; ST, M. T. Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong. *Jurnal Electro Luceat*, 2018, 4.1.
- [5] SIREGAR, MHD ARIFIN. *Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Rayon Panam Pekanbaru*. Diss. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2013.
- [6] Dewi, Pramudya Sari, and S. T. Umar. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) ULP Pedan*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021.
- [7] Setiadji, Julius Sentosa, Tabrani Machmudsyah, and Yanuar Isnanto. "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi." *Jurnal Teknik Elektro* 7.2 (2007): 68-73.
- [8] Julianto, Edy. "Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi 20 KV PT PLN (Persero) Cabang Pontianak." *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)* 4.2 (2016).
- [10] Latif, M. Abdul, and Dian Budi Santoso. "Analisis Ketidakseimbangan Transformator Untuk Identifikasi Beban Lebih Gardu E308." *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro* 11.1 (2022): 108-111.
- [11] Afrianda, Rio, Samsurizal Samsurizal, and Afifah Annisa Nurul. "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Studi Gardu PT PLN (PERSERO) Area Bekasi." *Sutet* 10.1 (2020): 29-38.