

ANALISA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DI PT. INDOPRIMA GEMILANG SURABAYA

Didik Eksan Esmaul¹, Ayusta Lukita Wardani²

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ²Dosen Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118
E-mail: didikeksan@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian mengenai transformator distribusi perlu diketahui agar besar pembebanan yang terpasang tidak melebihi kapasitas transformator. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kehandalan transformator dalam menyalurkan energi listrik pada beban tersebut. Oleh sebab itu, perhitungan pada transformator distribusi yang telah dibebani yang harus diperhatikan yaitu derating yang terjadi pada transformator, analisis persentase pembebanan, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi akibat adanya arus netral pada transformator, serta efisiensi transformator tersebut. Nilai transformator yang didapat dari hasil perhitungan mendapatkan derating yang terjadi pada transformator adalah sebesar 0,38 kW, persentase pembebanan tertinggi pada hari pertama dan ketiga sebesar 35%, sedangkan terendah pada hari kedua dan keempat sebesar 32% (beban puncak). Dari hasil ketidakseimbangan tertinggi sebesar 9% pada hari pertama dan kelima, sedangkan terendah sebesar 6% pada hari kedua. Dari hasil rugi-rugi adanya arus netral tertinggi sebesar 1,37% pada hari pertama, sedangkan terendah sebesar 0,67% pada hari kedua. Efisiensi transformator tertinggi sebesar 99,33% sedangkan terendah 98,63%. Maka dari hasil perhitungan ini pembebanan transformator tersebut dapat dikatakan masih underload dari range pembebanan dan dapat dilakukan penambahan beban pada transformator yang digunakan sebesar 1298,78 A.

Kata Kunci: derating, efisiensi transformator, ketidakseimbangan beban, persentase pembebanan, rugi-rugi penghantar netral trafo

1. PENDAHULUAN

Energi listrik di zaman modern ini merupakan suatu kebutuhan yang sangat diperlukan demi tercapainya tujuan pembangunan. Oleh sebab itu dibutuhkan adanya penyediaan tenaga listrik sebagai kebutuhan utama, baik untuk keperluan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Sebagai penyedia tenaga listrik (*power station*), PT. PLN (Persero) dituntut masyarakat selaku konsumen untuk menyediakan tenaga listrik yang berkualitas sebagai syarat mutlak yang wajib dipenuhi [1]. Apabila pemadaman listrik tidak dapat dihindari, misalnya karena adanya perbaikan jaringan yang disebabkan gangguan maupun yang sudah direncanakan dan sebab-sebab lainnya, maka pemadaman harus didahului dengan adanya pemberitahuan.

Dalam sistem operasi tenaga, transformator merupakan salah satu peralatan listrik yang sangat penting yang perlu diperhatikan kondisinya dalam operasi memberikan kestabilan sistem dan keandalan disetiap sektornya agar memberikan kenyamanan kepada konsumen. Oleh karenanya pada sistem distribusi, transformator merupakan komponen yang kegunaannya berperan sangat vital dan tidak dapat dipisahkan.

Pada sistem distribusi biasanya sering terjadi kelebihan beban dan terjadi ketidaksesuaian antara beban yang terpasang dibandingkan kemampuan atau kapasitas transformator. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kehandalan transformator

dalam menyalurkan energi listrik pada beban. Oleh sebab itu, transformator dituntut selalu bekerja pada beban tinggi maupun rendah. Mengingat kerja dari transformator serta menjaga daya tahan fungsi, sebaiknya transformator tidak dibebani melebihi kapasitasnya.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu adanya suatu pengkajian untuk mengetahui pembebanan pada transformator agar peralatan ini bisa bekerja sesuai kemampuan atau kapasitasnya. Dengan maksud adanya perhitungan pembebanan pada transformator dapat diketahui persentasenya dari range pembebanan untuk menjaga efektivitas dan daya tahan sehingga kontinuitas maupun kualitas listrik yang didistribusikan tetap terjaga dengan baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator merupakan salah satu peralatan-listrik elektromagnetik yang dapat merubah energi listrik dari satu ataupun lebih rangkaian listrik ke dalam rangkaian listrik lainnya dengan frekuensi yang sama melalui gandingan magnet berdasarkan prinsip induksi elektomagnet.

Prinsip kerja transformator ialah berdasarkan hukum Ampere dan Faraday, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet begitu pula sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Apabila kumparan salah satunya diberi arus bolak-

balik, maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya disisi primer terjadi sebuah induksi. Pada sisi sekunder akan menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah. Maka disisi sekunder juga akan timbul induksi, akibatnya antara kedua ujung terdapat beda tegangan.

2.2 Derating Pada Transformator

Derating merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengurangi atau menurunkan kapasitas pembebanan yang diakibatkan pengaruh harmonik pada transformator agar tidak mengalami pemanasan berlebih (*overheating*) dan transformator akan mempunyai masa pakai (*life time*) yang panjang. Sehingga akan menjaga keandalan sistem tenaga listrik dan lebih menguntungkan secara ekonomis.

Cara menghitung besar penurunan kapasitas daya terpasang menggunakan metode nilai THDF (*Total Harmonic Derating Factor*) yang merupakan sebuah faktor pengali untuk mengetahui besar kapasitas baru (kVA baru) transformator. THDF pada transformator dipengaruhi oleh adanya THD sebagai akibat dari adanya penggunaan beban non linier pada sisi beban. Besarnya THD ditentukan terlebih dahulu melalui pengukuran. Sedangkan nilai THDF dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [2]:

$$\text{kVA baru} = \text{THDF} \times \text{kVA pengenal}$$

$$\text{THDF} = \frac{1,414 \times (\text{Arus fasa rms})}{(\text{Arus puncak fasa sesaat})} \times 100\%$$

$$\text{THDF} = \frac{1,414 \times (\frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t) \text{ rms})}{\frac{1}{3} \times (I_r + I_s + I_t) \text{ puncak}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana THDF adalah faktor derating pada transformator yang diakibatkan dari harmonisa. Gelombang sinusoidal murni (keadaan ideal) dimana tidak terdapat gangguan harmonisa dalam sistem nilai THDF = 1, sehingga tidak terjadi penurunan kapasitas pada transformator.

2.3 Pembebanan Transformator

Transformator distribusi lebih baik dibebani tidak lebih dari 80% atau di bawah 40% (PT. PLN). Jika beban melebihi atau kurang dari range tersebut, maka transformator dapat dikatakan *overload* atau *underload*. Jika beban transformator terlalu besar atau melebihi range tersebut maka perlu dilakukan penggantian atau penyisipan transformator [3]. Daya transformator jika ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan dengan persamaan di bawah ini :

$$S = \sqrt{3} \times V \cdot I \quad (2)$$

Dimana :

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (kV)

I = Arus jala-jala (A)

Sehingga perhitungan arus beban full (*full load*) menggunakan persamaan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (3)$$

Dimana :

I_{FL} = 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 :

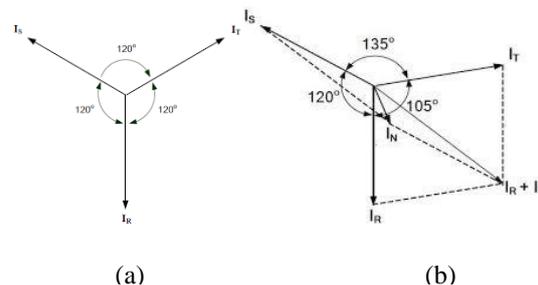
$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (4)$$

Perhitungan persentase pembebanan yang terjadi pada transformator dapat digunakan rumus di bawah ini :

$$\% \text{ pembebanan transformator} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (5)$$

2.4 Ketidakseimbangan beban

Ketidakseimbangan disebabkan karena adanya banyak beban antar fasa yang tidak merata atau seimbang baik akibat perbedaan beban antar fasa ataupun sifat beban dalam suatu proses produksi yang membebani setiap fasa pada waktu yang berbeda. Batasan ketidakseimbangan tegangan rata-rata yaitu 2% dalam 95% rentang waktu pengukuran [4]. Ketidakseimbangan antar tiga fasa berakibat munculnya arus yang mengalir pada kabel netral trafo. Karena arus mengalir pada kabel netral trafo, maka rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi akan terjadi peningkatan sehingga kerugian berdampak besar pada pihak konsumen maupun pihak PLN [5].



Gambar 1. (a) Vektor Diagram Keadaan Seimbang
(b) Vektor Diagram Tidak Seimbang

Dengan persamaan koefisien beban $a=b=c=1$, maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Sehingga untuk menghitung besar ketidakseimbangan beban dapat menggunakan persamaan :

$$I_R = a \cdot I \quad \text{jadi} \quad a = I_R / I_{\text{rata-rata}} \quad (6)$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{jadi} \quad b = I_S / I_{\text{rata-rata}} \quad (7)$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{jadi} \quad c = I_T / I_{\text{rata-rata}} \quad (8)$$

Sedangkan apabila keadaan seimbang besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban dapat dihitung (%) dengan rumus di bawah ini :

$$= \frac{(|a-1|+|b-1|+|c-1|)}{3} \times 100\% \quad (9)$$

2.5 Rugi-Rugi Transformator

Rugi-rugi (*losses*) terjadi apabila terdapat aliran arus dari tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo dengan netral trafo. Hal ini karena adanya ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa tersebut. Apabila hal seperti ini tidak tangani, maka akan mengakibatkan kerugian financial maupun secara produksi listrik itu sendiri.

Besarnya rugi-rugi (*losses*) sebagai daya yang hilang diakibatkan berbagai hal, salah satunya ketidakseimbangan beban. Maka persamaan untuk menghitung besarnya rugi-rugi daya hilang pada penghantar netral trafo adalah [6]:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (10)$$

Dimana :

P_N = Rugi-rugi daya / *losses* pada netral (watt)

I_N = Arus pada penghantar netral (A)

R_N = Tahanan pada penghantar netral (Ω)

Bentuk lainnya dari rugi-rugi / *losses* yaitu adanya arus netral trafo ke *ground* trafo. Perhitungan besarnya rugi-rugi daya yang mengalir ke *ground* transformator dengan persamaan di bawah ini :

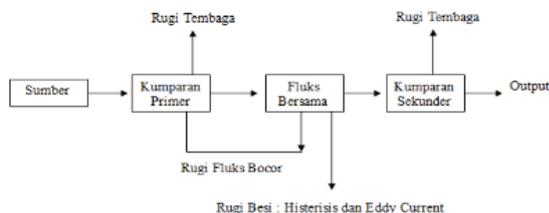
$$P_{Gg} = I_G^2 \times R_G \quad (11)$$

Dimana :

P_G = Rugi-rugi daya / *losses* pada *ground* (watt)

I_G = Arus pada penghantar *ground* (A)

R_G = Tahanan pada *grounding* (Ω)



Gambar 2. Blok Diagram Rugi-Rugi Transformator

2.6 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator yaitu perbandingan antara daya output dengan daya input. Efisiensi menunjukkan tingkat keefisienan kerja suatu peralatan. Secara sistematis dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

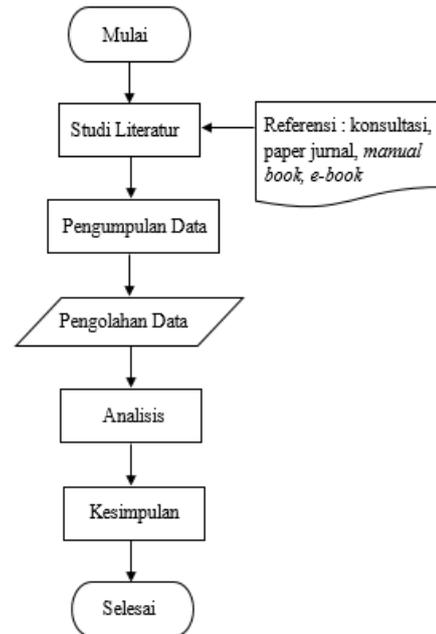
$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (12)$$

Atau,

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \sum \text{rugi}} \times 100\% \quad (13)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Objek penelitian ini adalah transformator distribusi 3 fasa (20 kV/400 V) dengan kapasitas 2000 kVA di PT. Indoprime Gemilang Surabaya.

Tabel 1. Name Plate Transformator

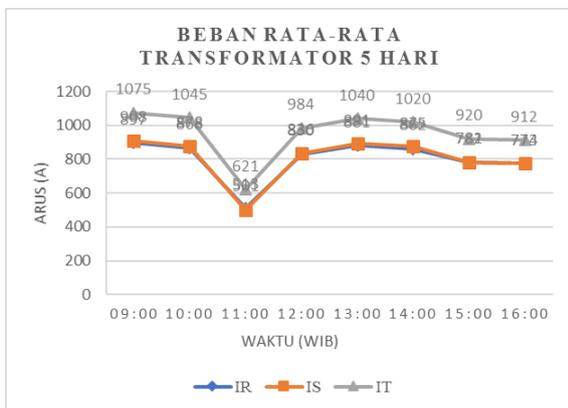
TRANSFORMER B&D			
3 phase, Dyn5 (IEC-76 / SPLN-50 STANDARD)			
Operation Type	In/Outdoor	Frequency (Hz)	50
Cooling	Onan	Rated Power (kVA)	2000
High Voltage (V)	20000	HV Current (A)	57.735
Low Voltage (V)	400	LV Current (A)	2886.751
Impedance 75°C (%)	7	Ambient Temp. (°C)	40
B.I.L (kV)	125	Temp. Rise (°C)	60/65
Total Weight (kg)	4565	Oil Volume (L)	1335
Serial No.	20110078	MFG. Date	07-2011

Transformator tersebut dijadikan objek penelitian untuk mengetahui pembebanan yang terpasang pada perusahaan. Pengumpulan data didapatkan dari pengamatan langsung ke lapangan dan mengambil data-data sistem yang berhubungan dengan penelitian ini. Pada transformator distribusi 2000 kVA PT. Indoprime Gemilang selama 5 hari dari mulai Senin – Jumat pada tanggal 10-15 Februari 2020 dalam waktu 8 jam dengan rentang satu jam pengukuran untuk mengetahui arus per fasa.

Hasil perhitungan rata-rata beban yang terukur selama lima hari Senin-Jumat dilihat secara keseluruhan pada tabel berikut :

Tabel 2. Perhitungan Rata-Rata Arus Per Fasa 5 hari

Waktu	Arus Rata-Rata Per Fasa		
	I _R	I _S	I _T
09:00	897	908	1075
10:00	868	878	1045
11:00	513	501	621
12:00	830	836	984
13:00	881	891	1040
14:00	862	875	1020
15:00	781	782	920
16:00	774	773	912



Gambar 8. Grafik Beban Rata-Rata & Persentase Selama 5 Hari

Pada grafik di atas menunjukkan rata-rata beban tertinggi pada pukul 09.00 yaitu :

- Fasa R = 897 A
- Fasa S = 908 A
- Fasa T = 1075 A

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{897+908+1075}{3} = 960 \text{ A}$$

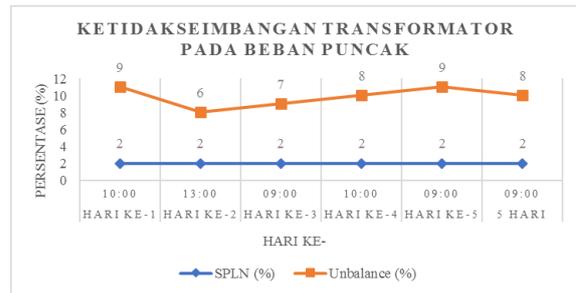
Arus beban penuh dari kapasitas transformator adalah :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{1999600}{\sqrt{3} \cdot 400} = 2886,17 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator yaitu :

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{960}{2886,17} \times 100 \% = 33 \%$$

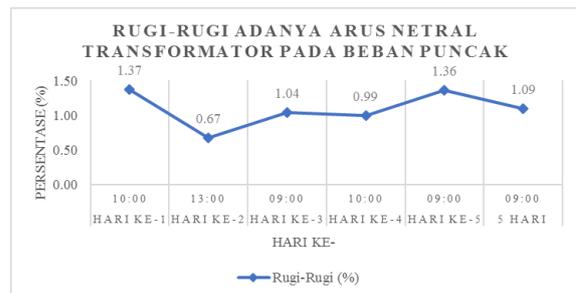
4.3 Analisa Ketidakseimbangan Transformator



Gambar 9. Grafik Ketidakseimbangan Transformator Pada Beban Puncak

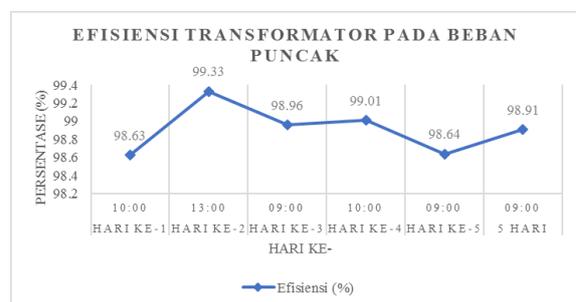
4.4 Analisa Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa transformator memiliki rugi-rugi sebesar 1,37% pada hari Senin tanggal 10 Februari 2020 pukul 10.00 WIB. Sedangkan untuk rugi-rugi terkecil yaitu 0,67% pada hari Selasa tanggal 11 Februari 2020 pukul 13.00 WIB. Semakin besarnya arus netral pada transformator, rugi-rugi yang dihasilkan juga akan semakin besar terlihat pada grafik berikut ini:



Gambar 10. Grafik Rugi-Rugi Arus Netral Trafo Pada Beban Puncak

4.5 Analisa Efisiensi Transformator



Gambar 11. Grafik Efisiensi Transformator Pada Beban Puncak

Efisiensi yang baik yaitu 100%. Dikarenakan akibat timbulnya rugi-rugi membuat efisiensi pada transformator kurang dari 100%, bahwasanya rugi-rugi pada transformator mengalami perubahan menjadi panas. Pada grafik di atas, efisiensi terbesar pada hari Selasa tanggal 11 Februari 2020 pukul 13.00 WIB sebesar 99,33%. Sedangkan efisiensi

terkecil pada hari Senin 10 Februari 2020 pada pukul 10.00 WIB sebesar 98,63%. Semakin kecil rugi-rugi yang dihasilkan, maka transformator akan menghasilkan efisiensi yang besar sehingga kinerja transformator dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, perhitungan, dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Derating terjadi pada transformator adalah sebesar 0,4 kVA atau 0,38 kW. Sementara persentase pembebanan didapatkan masih dibawah 40 %. Sehingga dapat dikatakan bahwa transformator ini masih *underload* dari range pembebanan. Maka transformator ini masih layak untuk penambahan beban. Sedangkan ketidakseimbangan beban transformator saat beban puncak melebihi standar SPLN D5.004-1, 2012. Hal ini akibat besarnya arus netral, dimana arus netral yang besar mengakibatkan kerugian bertambah dan kualitas tenaga yang rendah..
2. Rugi-rugi (*losses*) akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral terbesar yaitu 1,37 % pada hari Senin tanggal 10 Februari 2020 pukul 10.00 WIB, sedangkan rugi-rugi terkecil yaitu 0,67 % pada hari Selasa tanggal 11 Februari 2020 pukul 13.00 WIB.
3. Efisiensi transformator yang didapatkan yaitu semakin kecil rugi-rugi yang dihasilkan maka efisiensi yang dihasilkan akan membesar sehingga kinerja transformator dapat dimaksimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Bartien, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000."
- [2] I. W. Rinas,, "Studi Analisis Losses Dan Derating Akibat Pengaruh Thd Pada Gardu Transformator Daya Di Fakultas Teknik Universitas Udayana," *Maj. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, 2013.
- [3] A. P. Kawihing, M. Tuegeh, L. S. Patras, and I. M. Pakiding, "Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder," 2013.
- [4] *SPLN. D5.004-1:2012 - "Powerr Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker Dan Ketidakseimbangan Tegangan)."* 2012.
- [5] Stephenn J. Chapman, *Electricc Machinery Fundamentals*, 5th. 2012.