

ANALISIS PENGARUH BEBAN PUNCAK FEEDER TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR 31,5 MVA DAN 60 MVA

Arvian Widya Mukti ¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah No 12 Semarang - Indonesia
e_mail : mukti.arvian@gmail.com

ABSTRACT

The efficiency of a transformer is, among other things, determined by the magnitude of the load that increases from month to month as well as from year to year. Therefore we need a study on the optimization of transformer efficiency, in this case carried out on the substation of 150 KV Sronдол Semarang, In the study can be determined the optimal transformer efficiency in accordance with the influence of peak load on the feeder. Efficiency often becomes a benchmark for transformer performance. The ideal transformer efficiency is when the power capacity of the transformer is equal to the power absorbed by the load, It is necessary to further analyze the factors affecting the efficiency and treatment or action changes to keep the transformer performance to be good and optimal.

Keywords : *substation, transformer, losses, feeder load, efficiency*

ABSTRAK

Effisiensi suatu transformator antara lain ditentukan oleh besarnya beban yang meningkat baik dari bulan ke bulan maupun dari tahun ke tahun. Oleh karena itu diperlukan suatu studi mengenai optimalisasi efisiensi *transformator*, dalam hal ini dilaksanakan pada Gardu Induk 150 KV Sronдол Semarang, pada studi tersebut dapat ditentukan efisiensi transformator yang optimal sesuai dengan pengaruh beban puncak pada *feedernya*. Efisiensi kerap kali menjadi suatu tolak ukur unjuk kerja transformator. Efisiensi transformator yang ideal adalah ketika kapasitas daya transformator sama dengan daya yang terserap oleh beban, maka perlu analisis lebih lanjut mengenai faktor – faktor yang mempengaruhi perubahan efisiensi dan *treatment* atau tindakan untuk menjaga kinerja transformator tersebut menjadi baik dan optimal.

Kata kunci : *gardu induk, transformator, beban feeder, efisiensi.*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik memegang peranan yang sangat penting di dalam menunjang segala aktivitas masyarakat, sehingga penyaluran

energi listrik diperlukan untuk mensuplai beban-beban yang ada. Transformator dalam sistem transmisi diperlukan dalam penyaluran energi listrik yang dapat mentransformasi

tegangan dari level tegangan tinggi menjadi level tegangan yang lebih rendah (*step down*). Oleh karena itu unjuk kerja transformator tersebut perlu dijaga dan dipelihara dengan melihat beberapa parameter yang ada.

Seiring dengan waktu banyak masyarakat yang komplain terhadap naiknya harga pembayaran rekening listrik, padahal hal yang menyebabkan terjadinya kenaikan harga rekening listrik itu di akibatkan oleh beberapa rugi dari beban yang mempengaruhi efisiensi transformator. Yang dampaknya terhadap transformator menjadi mudah panas dan mengakibatkan drop tegangan yang besar sehingga suplai daya dari PLN menjadi besar yang membuat *power provider* sama-sama rugi.

Bisa dilihat dari berbagai kerugian yang di alami oleh PT PLN yang diantaranya kerugian yang di akibatkan oleh rugi-rugi yang terjadi pada transformator, sebagai contoh: rugi yang disebabkan oleh bergesekannya molekul partikel-partikel pada inti transformator akibat perubahan flux magnet atau yang disebut histerisis, ada juga akibat induksi pada inti transformator atau *eddy current*, dan juga rugi-rugi tembaga. Dan sebagai alternatif dari permasalahan tersebut PT PLN menyuplai daya lebih besar yang mengakibatkan PLN rugi.

Beberapa penelitian dilakukan seperti analisa efisiensi transformator daya 20 MVA dan estimasi gardu induk 150 KV Jember untuk perkembangan beban feeder . Dari hasil analisa diperoleh bahwa pada keadaan efisiensi maksimal aliran daya trafo 20 MVA pada siang hari adalah 6,293313079 MVA dan

pada malam hari adalah 9,171572756 MVA dengan nilai efisiensi = 88,83340979% saat siang hari dan 88,83400525% saat malam hari, sedang efisiensi nominalnya yaitu sebesar 99,91341995 % (Dodi Setiabudi, 2006).

Penelitian untuk memperoleh karakteristik beban puncak yang terjadi dalam beberapa periode dan menganalisa kapasitas daya transformator untuk mendistribusikan beban. Berdasarkan hasil analisa diperoleh factor beban pada tanggal 01 juni 2013 sebesar 80,4% berdasarkan beban puncak sebesar 39 MW dan pada tanggal 30 Juni 2013 diketahui beban puncak sebesar 71% dengan beban puncak mencapai 36 MW. Dari seluruh perhitungan Faktor Beban Trafo II Gardu Induk Bogor Baru dari tanggal 01 Juni – 30 Juni 2013 diketahui beban tertinggi sebesar 87% dengan beban puncak sebesar 34 MW yang terjadi pada pukul 10.00. (Try Lestari, 2013).

Transformator merupakan suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi – elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- Transformator daya.
- Transformator distribusi.
- Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan)

Beban transformator pada sisi sekunder atau pada lingkaran kedua selalu berubah – ubah baik di siang hari maupun malam hari, hal ini dapat dilihat dari data arus siang maupun malam hari yang selalu berubah ubah.

Dengan menggunakan persamaan tegangan :

$$V_1 = E_1 + I_1 \times Z_1 \quad (1)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 \times Z_2 \quad (2)$$

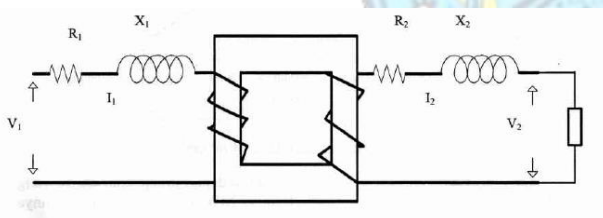
Dimana :

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \quad ;$$

$$Z_1^2 = R_1^2 + X_1^2 \quad (3)$$

$$Z_2 = R_2 + jX_2 \quad ;$$

$$Z_2^2 = R_2^2 + X_2^2 \quad (4)$$



Perbandingan antara E_2 dan E_1 menghasilkan nilai transformasi K:

$$K = \frac{E_2}{E_1} \quad (5)$$

Perhitungan menentukan nilai arus primer diperoleh menggunakan persamaan :

$$I_1 = I_2^1 = K \times I_2 \quad (6)$$

Rugi berbeban terjadi akibat tahanan pada rangkaian dialiri arus beban karena rugi ini terjadi pada belitan trafo yang terbuat dari tembaga maka rugi berbeban sering disebut

rugi tembaga yang ditimbulkan sebagai akibat dari mengalirnya arus beban pada kawat belitan. Rugi tembaga besarnya selalu berubah tergantung kepada beban yang diberikan, rugi ini mencapai nilai maksimum pada saat beban puncak.

Sedangkan untuk mengetahui rugi inti pada trafo dapat dihitung melalui persamaan :

Daya masukan (Pinput) transformator dapat dinyatakan menurut persamaan :

$$Pinput = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi \text{ (watt) } \quad (7)$$

Sedangkan daya keluaran atau output yang di manfaatkan oleh beban dapat dinyatakan menurut persamaan :

$$Poutput = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi \text{ (watt) } \quad (8)$$

Dengan demikian rugi – rugi total transformator dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan :

Rugi – rugi Total = daya masukan – daya keluaran.

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi – rugi yang terjadi selama operasi normal dari mesin atau peralatan tersebut. Efisiensi dari mesin – mesin berputar umumnya berkisar antara 50% - 60% karena adanya rugi – rugi gesekan dan angin. Akan tetapi, karena transformator tidak memiliki bagian yang bergerak atau berputar, maka rugi – rugi ini tidak akan muncul. Meskipun demikian, efisiensi transformator dapat dihitung dengan cara yang sama untuk menghitung efisiensi mesin – mesin yang lain. Efisiensi mesin secara umum dirumuskan oleh persamaan :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \quad (9)$$

Daya masukan transformator digunakan untuk mensuplai daya keluaran ditambah semua rugi – rugi yang terjadi didalam transformator. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa :

$$P_{input} = P_{output} + \text{Rugi}$$

Dengan menuliskan kembali rumus dasar untuk efisiensi diperoleh :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{output}}{P_{input} + \text{Rugi Total}} \quad (10)$$

2. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Gardu Induk Sronдол yang masuk dalam Unit Transmisi Jawa Bagian Tengah Area Pelaksana Pemeliharaan Semarang. Objek penelitian adalah dua transformator berkapasitas 31,5 MVA dan 60 MVA yang menjadi ketersediaan pada Gardu Induk tersebut guna mensuplai beberapa feeder yang diatur oleh unit Distribusi. Waktu pengambilan data adalah terhitung 1 bulan (bulan februari - maret) dikarenakan pencatatan beban puncak oleh operator Gardu Induk tersebut adalah pukul 10:00 (asumsi beban puncak industri) dan pada pukul 16:00 (asumsi beban puncak rumah tangga).

B. Variabel Penelitian

Variabel adalah sesuatu yang berbeda atau bervariasi. Sebuah konsep disebut variabel jika ia menampilkan variasi pada obyek-obyek yang ditunjuknya. Peneliti mendefinisikan variabel sebagai data yang digunakan dalam observasi pendukung untuk tercapainya penelitian. Waktu yang diambil untuk data

penelitian adalah selama satu bulan. Dalam penelitian kali ini data-data tersebut diklasifikasikan ke dalam beberapa variabel sebagai berikut:

a. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel yang nilainya mempengaruhi variabel lainnya, yaitu variabel terikat.

1. Data arus beban puncak pada dua feeder transformator berkapasitas 31,5 MVA dan 60 MVA.
2. Tegangan dan impedansi nominal yang tertera pada *name plate* transformator.

a. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel yang nilainya tergantung dari nilai variabel lainnya

1. Efisiensi transformator.

2. Arus primer dan rugi – rugi total pada transformator.

b. Variabel Pendukung

Variabel yang dalam penelitian ini diposisikan sebagai pendukung atau pelengkap pengolahan data oleh Peneliti.

1. Teori tranformator & Perhitungannya.

2. Teori dan fungsi tap changer (OLTC) serta perhitungannya.

3. *Name plate* spesifikasi kedua transformator

C. Langkah – langkah dalam pengambilan data

Dalam penyusunan penelitian kali ini, maka langkah-langkah dalam pengambilan data sebagai berikut :

- 1) Tahapan Persiapan

- a. Meminta ijin dan Melakukan koordinasi ke PT. PLN (Persero) Gardu Induk

Sronдол selaku penanggung jawab aset pada peralatan gardu induk maupun transmisi di wilayah tersebut.

2) Pelaksanaan

a. Mengumpulkan data beban puncak feeder incoming pada transformator 1, 60 MVA Gardu Induk Sronдол.

b. Mengumpulkan data dan referensi terkait metode perhitungan efisiensi dan komponennya pada transformator.

c. Menghitung efisiensi pada transformator berdasarkan data beban puncak pada feeder incoming trafo tersebut.

d. Menghitung besaran arus pada sisi primer sesuai rumusan berdasarkan data perhitungan dari sisi sekunder.

e. Membandingkan data hasil hitungan rumus besaran arus primer dengan data real arus primer pada ampere meter panel incoming.

f. Menganalisa deviasi yang muncul pada besaran arus primer tersebut dan menganalisa efisiensi transformator setelah dilakukan penghitungan dari sekian data beban puncak dalam kurun waktu 1 bulan.

g. Memberikan saran dan masukan kepada user / pemilik aset dalam rangka optimalisasi kinerja transformator dan bahan *sharing knowledge*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Arus nominal pada transformator

Transformator sebagai salah satu peralatan vital dalam sistem penyaluran tenaga listrik khususnya pada sub sistem jawa tengah area semarang memiliki peranan penting dalam

terjaganya kualitas sistem tenaga listrik. Kestabilan tegangan, continue/terus menerus, dll, menjadi parameter dalam baik/buruknya kualitas penyaluran tenaga listrik tersebut.

Unjuk kerja transformator perlu dijaga sebagai upaya peningkatan keandalan sistem tenaga listrik. Sebagai contoh kapasitas transformator, tiap transformator memiliki kapasitasnya sebagai tolak ukur sampai nominal brapa trafo tersebut mampu dibebani. Beban nominal tersebut menjadi batasan untuk arus outputan pada transformator. Sebagai contoh transformator pada gardu induk sronдол memiliki kapasitas 31,5 MVA dan 60 MVA, maka perhitungan arus nominal di sisi primer maupun sisi sekunder adalah :

Transformator 1 :

Rating tegangan : 150/20 kV

Kapasitas daya /S : 60 MVA

Maka arus nominal pada transformator tersebut adalah :

Menghitung I_p (arus nominal pada sisi primer)

$$I_p = S / (V \cdot \sqrt{3})$$

$$I_p = 60.000 \text{ kVA} / (150 \text{ kV} \cdot 1,732)$$

$$I_p = 230,95 \text{ A}$$

Menghitung I_s (arus nominal pada sisi sekunder)

$$I_s = S / (V_s \cdot \sqrt{3})$$

$$I_s = 60.000 \text{ kVA} / (20 \text{ kV} \cdot 1,732)$$

$$I_s = 1732,1 \text{ A}$$

Transformator 2 :

Rating tegangan : 150/20 kV

Kapasitas daya /S : 31,5 MVA

Maka arus nominal pada transformator tersebut adalah :

Menghitung I_p (arus nominal pada sisi primer)

$$I_p = S / (V \cdot \sqrt{3})$$

$$I_p = 31.500 \text{ kVA} / (150 \text{ kV} \cdot 1,732)$$

$$I_p = 121,25 \text{ A}$$

Menghitung I_s (arus nominal pada sisi sekunder)

$$I_s = S / (V_s \cdot \sqrt{3})$$

$$I_s = 31.500 \text{ kVA} / (20 \text{ kV} \cdot 1,732)$$

$$I_s = 909,35 \text{ A}$$

Dari perhitungan tersebut maka dapat diketahui bahwa beban nominal transformator 1 di sisi sekunder adalah 909,35 Ampere sedangkan beban nominal transformator 2 di sisi sekunder nya adalah 1732,1 A. Namun atas dasar pertimbangan *life time* / faktor usia serta rugi – rugi yang timbul maka pembebanan pada suatu transformator dibatasi hingga ± 80 % dari beban nominalnya. Walaupun ada beberapa transformator di wilayah semarang yang sudah bisa dikatakan hampir *overload* karena kebutuhan beban yang tinggi hingga memaksa transformator tersebut untuk mencapai beban nominal nya.

B. Analisis Perhitungan Arus Litrik di Sisi

Primer

Beban transformator di sisi sekunder selalu berubah – ubah, hal tersebut dapat dilihat pada data beban puncak transformator 1 dan 2. Sehingga perhitungan untuk transformator berkapasitas 31,5 MVA adalah sebagai berikut ;

Data transformator :

Kapasitas : 31,5 MVA

Tegangan primer	: 150 kV
Tegangan sekunder	: 20 kV
Arus nominal primer	: 121,25 A
Arus nominal sekunder	: 909,35 A
Impedansi	: 18,21 %
	: 0,1821 pu

Maka

$$Z_{B1} = \frac{V_1^2}{S}$$

(Sisi TT)

$$Z_{B1} = \frac{150^2}{31,5} = 714,28 \Omega$$

(Sisi TT)

$$Z_{B2} = \frac{V_2^2}{S} \quad (\text{Sisi TR})$$

$$Z_{B2} = \frac{20^2}{31,5} = 12,69 \Omega \quad (\text{Sisi TR})$$

Hasil perhitungan diatas diubah kembali menjadi sistem per unit menjadi besaran ohm mengingat nilai per unit dikalikan nilai dasar, maka :

$$\begin{aligned} Z_1 (\text{Ohm}) &= Z_1 (\text{pu}) \times Z_{b1} \\ &= 0,1821 \times 714,28 \\ &= 130,07 \Omega (\text{sisi TT}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 (\text{Ohm}) &= Z_2 (\text{pu}) \times Z_{b2} \\ &= 0,1821 \times 12,69 \\ &= 2,31 \Omega (\text{sisi TR}) \end{aligned}$$

Dengan demikian

$$\begin{aligned} V_1 &= E_1 + I_1 \times Z_1 \\ E_1 &= V_1 - I_1 \times Z_1 \\ &= 150000 \text{ V} - 121,25 \text{ A} \times 130,07 \Omega \\ &= 150000 - 24839,27 \\ &= 134229,01 \text{ V} \\ E_2 &= V_2 + I_2 \times Z_2 \\ &= 20000 \text{ V} + 909,35 \text{ A} \times 2,31 \Omega \end{aligned}$$

$$= 20000 + 3310,03$$

$$= 22100,59 \text{ V}$$

Sehingga nilai transformasi dari transformator adalah :

$$K = \frac{E_2}{E_1}$$

$$= \frac{22100,59}{134229,01}$$

$$= 0,16$$

Maka arus primer dapat dihitung seperti dibawah ini :

Untuk transformator berkapasitas 31,5 MVA, dimana arus sekunder pada tanggal 6 februari 2017 pukul 10.00 ketika beban puncak industri adalah 392 Ampere, maka arus di sisi primer adalah :

$$I_p - R = K \times I_s$$

$$= 0,16 \times 392$$

$$= 62,72 \text{ A}$$

$$I_p - S = K \times I_s$$

$$= 0,16 \times 395$$

$$= 63,2 \text{ A}$$

$$I_p - T = K \times I_s$$

$$= 0,16 \times 401$$

$$= 64,16 \text{ A}$$

C. Penentuan Posisi Tap

Pada data beban puncak di Gardu Induk Sronol posisi tap tidak dicantumkan, padahal hal ini menjadi penting karna menentukan perhitungan arus listrik di sisi primer menjadi valid. Sebagai contoh arus listrik di sisi primer sesuai perhitungan adalah :

$$\text{Fasa R} : 62,72 \text{ A}$$

$$\text{Fasa S} : 63,2 \text{ A}$$

$$\text{Fasa T} : 64,16 \text{ A}$$

Sedangkan sesuai data log sheet gardu induk adalah :

$$\text{Fasa R} : 55 \text{ A}$$

$$\text{Fasa S} : 55 \text{ A}$$

$$\text{Fasa T} : 56 \text{ A}$$

Dengan demikian perlu dihitung posisi tap dan penyesuaian nilai tegangan primer sebagai bahan dasar validasi perhitungan.

Penentuan nilai K sesuai log sheet :

$$I_p = K \times I_s$$

$$K = \frac{I_s}{I_p}$$

$$K = \frac{55}{392}$$

$$K = 0,14$$

Asumsi V_2 nilainya tidak berubah karna OLTC merubah ratio kumparan di sisi primer saja dan tegangan di sisi sekunder tetap. Dengan demikian kita dapat menghitung E_2 dengan arus sekunder real nya adalah :

$$E_2 = V_2 + I_2 \times Z_2$$

$$= 20000 \text{ V} + 392 \text{ A} \times 2,31 \Omega$$

$$= 20000 + 905,52$$

$$= 20905,32 \text{ V}$$

$$E_1 = \frac{E_2}{K}$$

$$E_1 = \frac{20905,52}{0,14}$$

$$E_1 = 149323,71 \text{ V}$$

Dengan demikian

$$E_1 = V_1 - I_1 \times Z_1$$

$$V_1 = E_1 + I_1 \times Z_1$$

$$= 149323,71 \text{ V} + 55 \text{ A} \times 130,07 \Omega$$

$$= 149323,71 + 7153,85$$

$$= 155477,56$$

Sesuai data name plate transformator dan mencocokkan pada hasil V_1 tersebut tap berada pada posisi 10 dengan nominal tegangan 155477,56 ketika data beban puncak sekunder dicatatkan di jam 10.00 hari tanggal 6 februari 2017.

D. Perhitungan arus listrik di sisi primer dengan pengaruh OLTC

Data transformator :

Kapasitas	: 31,5 MVA
Tegangan primer	: 155769 V
Tegangan sekunder	: 20000 V
Arus primer	: 55 A
Arus nominal sekunder	: 392 A
Impedansi	: 18,21 %
	: 0,1821 pu

Maka

$$Z_{B1} = \frac{V_1^2}{S}$$

(Sisi TT)

$$Z_{B1} = \frac{155,769^2}{31,5} = 770,28 \Omega$$

(Sisi TT)

$$Z_{B2} = \frac{V_2^2}{S} \quad (\text{Sisi TR})$$

$$Z_{B2} = \frac{20^2}{31,5}$$

$$= 12,69 \Omega \quad (\text{Sisi TR})$$

Hasil perhitungan diatas diubah kembali menjadi sistem per unit menjadi besaran ohm mengingat nilai per unit dikalikan nilai dasar, maka :

$$\begin{aligned} Z_1 (\text{Ohm}) &= Z_1 (\text{pu}) \times Z_{b1} \\ &= 0,1821 \times 770,28 \end{aligned}$$

$$= 140,26 \Omega \quad (\text{sisi TT})$$

$$Z_2 (\text{Ohm}) = Z_2 (\text{pu}) \times Z_{b2}$$

$$= 0,1821 \times 12,69$$

$$= 2,31 \Omega \quad (\text{sisi TR})$$

Dengan demikian

$$V_1 = E_1 + I_1 \times Z_1$$

$$E_1 = V_1 - I_1 \times Z_1$$

$$= 155769 \text{ V} - 55 \text{ A} \times 140,26 \Omega$$

$$= 155769 - 11267,3$$

$$= 148054,7 \text{ V}$$

$$E_2 = V_2 + I_2 \times Z_2$$

$$= 20000 \text{ V} + 392 \text{ A} \times 2,31 \Omega$$

$$= 20000 + 1426,88$$

$$= 20905,52 \text{ V}$$

Sehingga nilai transformasi adalah :

$$K = \frac{E_2}{E_1} = \frac{20905,52}{148054,7}$$

$$= 0,14$$

Maka arus primer dapat dihitung seperti

dibawah ini :

$$I_p - R = K \times I_s$$

$$= 0,14 \times 392$$

$$= 55 \text{ A}$$

$$I_p - S = K \times I_s$$

$$= 0,14 \times 395$$

$$= 55 \text{ A}$$

$$I_p - T = K \times I_s$$

$$= 0,14 \times 401$$

$$= 56 \text{ A}$$

Dengan demikian hasil diatas sudah sesuai dan valid dengan data log sheet beban arus transformator berkapasitas 31,5 MVA tanggal 6 februari 2017 pukul 10.00 atau

perakaman oleh operator di Gardu Induk Sronдол.

E. Analisis Perhitungan Daya Masukan dan Keluaran Transformator di sisi Primer maupun Sekunder

$$\begin{aligned} P \text{ Input} &= \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 155,769 \times 55 \times 0,85 \\ &= 12612,77 \text{ Kilo Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ Output} &= \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 20 \times 392 \times 0,85 \\ &= 11542,04 \text{ Kilo Watt} \end{aligned}$$

Maka pada transformator Gardu Induk Sronдол dengan kapasitas 31,5 MVA memiliki daya input sebesar 12612,77 kW, daya keluaran nya sebesar 11.542,04 kW.

Sedangkan rugi – rugi totalnya dapat di hitung dengan :

$$\begin{aligned} \text{Rugi – rugi total} &= \text{daya masukan (p input)} - \text{daya keluaran (p output)} \\ &= 12612,77 - 11542,04 = 1070,73 \text{ Kilo Watt} \end{aligned}$$

F. Analisis Perhitungan Efisiensi Tranformator

Dari analisa perhitungan daya masukan, perhitungan daya keluaran dan rugi – rugi total transformator dapat ditentukan nilai efisiensi dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Keluaran (p output)}}{\text{Keluaran (p output)} + \text{Rugi – Rugi Total}} \times 100\%$$

Analisis Pengaruh Beban ...

$$\begin{aligned} &= \frac{11542,04}{11542,04 + 1070,73} \times 100\% \\ &= 91 \% \end{aligned}$$

Sehingga efisiensi transformator kapasitas 31,5 MVA sesuai data beban puncak tanggal 6 february 2017 pukul 10.00 (beban puncak industri & pendidikan) dan karena pengaruh adanya kinerja dari OLTC yang berfungsi menjaga kestabilan tegangan di sisi sekunder maka efisiensi nya adalah 91 %.

G. Effisiensi Nominal Pada Transformator

Dalam analisis perhitungan pada keadaan nominal ini, cara yang digunakan sama dengan cara sebelumnya, sebagai berikut:

Dari data transformator berkapasitas 31,5 MVA diperoleh data sebagai berikut :

Kapasitas	: 31,5 MVA
Tegangan Primer	: 150 kV
Tegangan Sekunder	: 20 kV
Arus Primer	: 121,25 A
Arus Sekunder	: 909,35 A
Impedansi	: 18,21 %
	= 0,1821 pu
cos ϕ	: 0,85

$$\begin{aligned} P \text{ Input} &= \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 150 \times 121,25 \times 0,85 \\ &= 26775,63 \text{ Kilo Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ Output} &= \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 20 \times 909,35 \times 0,85 \\ &= 26774,90 \text{ Kilo Watt} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Keluaran (p output)}}{\text{Keluaran (p output)} + \text{Rugi – Rugi Total}} \times 100\%$$

$$= \frac{26774,90}{26775,63} \times 100\%$$

$$= 99,99\%$$

H. Analisa Perhitungan Daya

Jika pernyataan fasor untuk tegangan dan arus diketahui, perhitungan daya nyata dan reaktif dapat diselesaikan dalam bentuk kompleks sehingga dari keadaan optimal efisiensi dapat dihitung besarnya aliran daya pada keadaan optimal :

$$S_{out} = V_s \times I_s = P_{out} + j Q_{out}$$

Untuk transformator 1, 60 MVA adalah :

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 564 \times 0,85$$

$$= 16606,42 \text{ Kilo Watt}$$

$$\cos \phi = 0,85$$

$$\cos^2 \phi + \sin^2 \phi = 1$$

$$\sin^2 \phi = 1 - \cos^2 \phi$$

$$\sin^2 \phi = 1 - (0,85)^2$$

$$\sin^2 \phi = 1 - 0,7225$$

$$\sin^2 \phi = 0,2775$$

$$\sin \phi = \sqrt{0,2775}$$

$$\sin^2 \phi = 0,53$$

$$Q_{out} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 564 \times 0,53$$

$$= 10354,59 \text{ KVAR}$$

$$S_{out} = P_{out} + j Q_{out}$$

$$= 16606,42 + j 10354,59$$

$$= 19570,14 < 31,94^\circ \text{ KVA}$$

$$= 19,57 \text{ MVA}$$

Untuk transformator 2, 31,5 MVA adalah :

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 428 \times 0,85$$

$$= 12602,03 \text{ Kilo Watt}$$

$$Q_{out} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 428 \times 0,53$$

$$= 7857,73 \text{ KVAR}$$

$$S_{out} = P_{out} + j Q_{out}$$

$$= 12602,03 + j 7857,73$$

$$= 14851,09 < 31,94^\circ \text{ KVA}$$

$$= 14,85 \text{ MVA}$$

Meskipun dalam kenyataannya transformator masih dapat dibebani mencapai maksimal pada kapasitasnya, akan tetapi lebih baik dioperasikan pada keadaan optimal effisiensinya. Dimana pada keadaan optimal tersebut aliran daya bebannya di transformator 1 adalah 19,57 MVA dan transformator 2 adalah 14,85 MVA sehingga diharapkan pada kapasitas transformator 60 MVA dan 31,5 MVA masa pakainya dapat lebih terjamin dan handal. Dari Name Plate pada Transformator 1 di Gardu Induk Sronдол diperoleh data sebagai berikut :

Kapasitas	: 60 MVA
Tegangan Primer	: 150 kV
Tegangan Sekunder	: 20 kV
Arus Primer	: 230,95 A
Arus Sekunder	: 1732,1 A
Impedansi	: 12,07 %
	= 0,1207 pu
$\cos \phi$: 0,85

Dari Name Plate pada Transformator 1 di Gardu Induk Sronдол diperoleh data sebagai berikut :

Kapasitas	: 31,5 MVA
Tegangan Primer	: 150 kV
Tegangan Sekunder	: 20 kV
Arus Primer	: 121,25 A
Arus Sekunder	: 909,35 A
Impedansi	: 18,21 %
	= 0,1821 pu
$\text{Cos } \phi$: 0,85

I. Penentuan Posisi Tap.

Dalam perekaman data beban puncak pada Gardu Induk Sronдол tidak disertakan atau dicantumkan posisi tap, padahal dalam perhitungan arus listrik di sisi primer, posisi tap memiliki pengaruh terhadap nilai tegangan nominal karna adanya tambahan kumparan bantu dalam On Line Tap Changer (OLTC) tersebut. Sehingga banyak terjadi ketidakcocokan arus primer sesuai perhitungan dengan data perekaman pada metering yang dibahas oleh jurnal – jurnal. Hal ini dikarenakan tegangan nominal atau tegangan pada kumparan utama lah yang di jadikan dasar perhitungan.

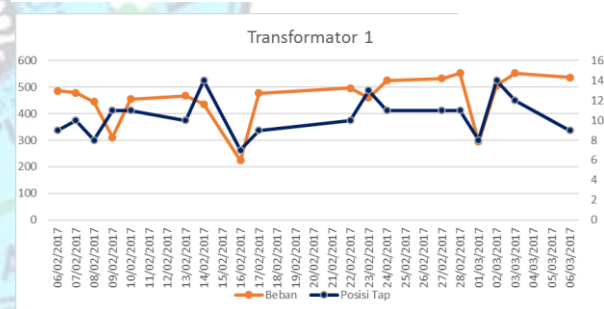
J. Efisiensi Transformator.

Efisiensi transformator dalam penelitian ini dihitung berdasarkan data beban puncak pada pukul 10.00 dan 16.00 sesuai SOP pada Gardu Induk Sronдол. Parameter perhitungan pada efisiensi ini tidak menggunakan tegangan nominal nya akan tetapi menggunakan tegangan primer pada

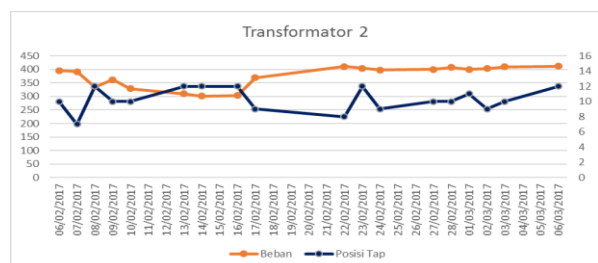
transformator yang telah dipengaruhi oleh kinerja On Line Ta Changer (OLTC) yang berfungsi sebagai Penstabil tegangan di sisi sekunder/Incoming, Perubahan Tap ini juga akan merubah ratio pada transformator sehingga tegangan primer tersebut nominalnya berubah sesuai jumlah tap karna mendapatkan tambahan dari kumparan bantu.

K. Analisa Grafik

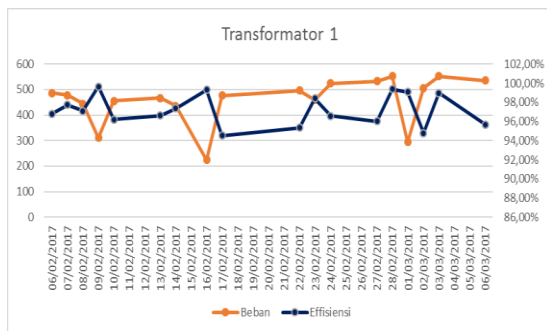
Dari tabel posisi tap dan efisiensi diatas dapat disimpulkan dan dibuat analisisnya kedalam gambar grafik. Grafik tersebut menggambarkan hubungan beban puncak terhadap posisi tap, dan hubungan beban puncak terhadap effisiensinya. grafik - grafik tersebut antara lain dijelaskan dalam gambar berikut.



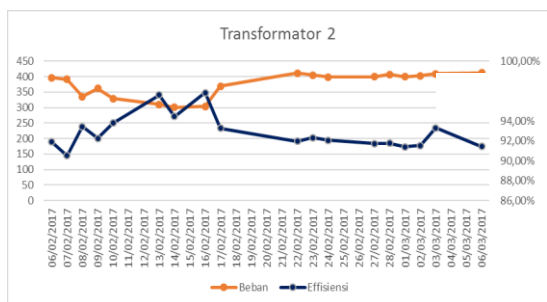
Gambar 1. grafik hubungan beban dan posisi tap pada transformator 1



Gambar 2. grafik hubungan beban dan posisi tap pada transformator 2



Gambar 3. grafik hubungan beban dan efisiensi pada transformator 1



Gambar 4. grafik hubungan beban dan efisiensi pada transformator 2

Pada gambar 4.1 didapatkan hubungan perbandingan beban puncak terhadap posisi tap pada transformator no 1 berkapasitas 60 MVA adalah sebanding, begitu pun juga yang terlihat pada grafik no 4.2. pada transformator 2 berkapasitas 31,5 MVA. Dari data trend beban puncak, ketika trend nya naik maka posisi tap cenderung rendah/turun begitu juga sebaliknya. Maka hal tersebut sesuai dengan hukum ohm. Arus berbanding terbalik dengan tegangan. Karna posisi tap ini fungsinya untuk menjaga kestabilan tegangan di sisi sekunder, maka ketika arus naik, tegangan turun dan tap otomatis akan naik pada posisi yang lebih tinggi.

Pada gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan hubungan beban puncak terhadap effisiensinya pada transformator no 1 dan 2. Tidak seperti

hubungan beban puncak terhadap posisi tap, hubungan beban puncak terhadap effisiensinya justru berbanding terbalik atau ketika beban tersebut mengalami trend meningkat maka nominal effisiensinya justru malah semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar arus pada sisi sekunder maka rugi – rugi total pada transformator tersebut bertambah sehingga mempengaruhi sisi effisiensinya.

4. PENUTUP

KESIMPULAN

Kesimpulan dari Analisa Pengaruh Beban Puncak pada Transformator berkapasitas 31,5 MVA dan 60 MVA adalah :

1. Suatu tranformator tenaga dan On Load Tap Changer (OLTC) adalah satu kesatuan dalam hal kualitas penyediaan tenaga listrik yaitu stabilitas tegangan di sisi sekunder atau konsumen. Oleh karena itu posisi tap menjadi penting dalam fungsinya menjadi parameter perhitungan arus listrik di sisi primer dan efisiensi suatu transformator menjadi valid.
2. Deviasi arus listrik di sisi primer dikarenakan pada perhitungannya menggunakan tegangan nominal pada transformator dan mengabaikan kinerja On Load Tap Changer (OLTC), namun demikian karna adanya On Load Tap Changer (OLTC), tegangan nominal transformator akan berubah sesuai posisi tap nya. maka dilakukan penentuan posisi tap terlebih dahulu.
3. Perhitungan efisiensi didapatkan dari nominal ratio pada transformator, bukan penyerapan penuh pada kapasitas daya nya di sisi sekunder. Pada transformator 2 mencapai

harga paling efisien 96,26 % ketika beban puncak rata – rata di sisi sekunder sebesar 303 Ampere pada tanggal 16 februari 2017. Dan pada transformator 1 sebesar 99,25 % di beban puncak rata – rata nya sebesar 321 ampere pada tanggal 9 februari 2017.

4. Kapasitas daya ketika kondisi beban maksimum rata – rata transformator 1 sebesar 19,57 MVA dari kapasitas daya nominalnya sebesar 60 MVA. Dan pada transformator 2, kapasitas daya yang terserap sebesar 14,85 MVA dari kapasitas daya nominalnya sebesar 31,5 MVA. Hal ini dikarenakan kebutuhan beban pada wilayah sronдол masih cenderung rendah. Bisa saja seiring waktu kebutuhan beban akan meningkat dan berdampak pada kondisi beban transformator yang *full load* sehingga umur transformator juga bisa jadi berkurang.

5. Dari analisis grafik pada penelitian ini didapatkan hubungan beban puncak terhadap posisi tap nya sebanding, dan hubungan beban puncak terhadap effisiensinya berbanding terbalik.

Marnata, Benson. *Analisis Biaya Trafo Akibat Rugi – Rugi Daya Total Dengan Metode Nilai Tahunan (Annual Worth Method)*. Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2011.

Pusat Pendidikan dan Pelatihan. PT PLN (Persero). *O&M Peralatan Gardu Induk, Transformator Daya*

Setiabudi, Dodi. *Analisa Efisiensi Transformator Daya 20 MVA Gardu Induk 150 KV Jember Terhadap Perkembangan Beban Feeder*. Teknik Elektro Universitas Jember, 2006.

Sumanto. *Teori Transformator*. Yogyakarta : Andi Offset, 1991.

Symmetrical Components 1 & 2

28th Hands On Relay School March 14 – 18, 2011 – Washington State University Pullman Washington By. Stephen E. Marx, P.E.; Bonneville Power Administration - Malin, Oregon

Analysis of Faulted Power Systems - By. Paul M. Anderson

DAFTAR PUSTAKA

Edminister, Joseph A. *Rangkaian Listrik 2*. Jakarta : Erlangga, 1984.

Kadir, Abdul. *Transformator*. UI-Press, 2010.

Lestari, Try. *Evaluasi Pembebanan Transformator II 60 MVA 150/20 KV Gardu Induk Bogor Baru*. Teknik Elektro, 2013.

Linsley, Trevor. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut 3*. Jakarta: Erlangga, 2004.