

**Efisiensi Transformator Tiga Fasa DL 1080TT Hubungan Open-Delta
Terhadap Pembebanan
(Studi Kasus : Pada Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro)**

Zainal Abidin¹, Abdul Hadi²
Politeknik Negeri Bengkalis
zainal@polbeng.ac.id, abdulhadi@polbeng.ac.id

Abstract

Three-phase transformer Open-Delta connection is a special winding connection in three-phase transformers. Open-Delta winding connection is done if the Delta connection transformer one of the windings is damaged or if the load carried is too small. The value of current (I_0) and core losses (P_0) without load is influenced by the value of voltage (V_0), where the greater V_0 the greater I_0 and P_0 . the value of current (I_{hs}) and short-circuit losses (P_{hs}) is influenced by the value of the voltage (V_1), where the greater V_1 the greater the I_{hs} and P_{hs} . by increasing the load current in the load test, the losses and efficiency are greater. Efficiency in balanced load testing is 93.5% greater than the efficiency of unbalanced load testing of 91.69% because the output power of the unbalanced load transformer will absorb more power. Losses in the balanced load test are 68 Watts less than the losses in the unbalanced load test. 100 Watt

Keywords : Efficiency Losses Open-Delta

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan seperangkat peralatan mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana tegangan dan arus bolak balik ditransformasi di antara dua belitan atau lebih pada frekuensi yang sama dan pada nilai arus dan tegangan yang berbeda (SPLN 8-1: 1991).

Hubungan Belitan transformator tiga fasa

Transformator pada sistem tenaga listrik digunakan karena pertimbangan ekonomis dan efisiensi. Secara umum hubungan belitan transformator tiga fasa terbagi dua, yaitu hubungan Wye (Y) dan hubungan Delta (Δ), dimana sisi primer maupun sisi sekunder dapat dihubungkan secara Y atau Δ .

Transformator hubungan belitan Y-Y lebih ekonomis digunakan untuk melayani beban kecil. Perbandingan tegangan transformator hubungan belitan Y-Y sebesar:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi P}}{\sqrt{3} V_{\phi S}} = a \quad (1)$$

Transformator hubungan belitan Y- Δ umumnya digunakan sebagai transformator penurun tegangan, Hubungan Y- Δ lebih stabil dan tidak berpengaruh terhadap beban tidak seimbang dan harmonisa. Perbandingan tegangan transformator hubungan belitan Y- Δ sebesar:

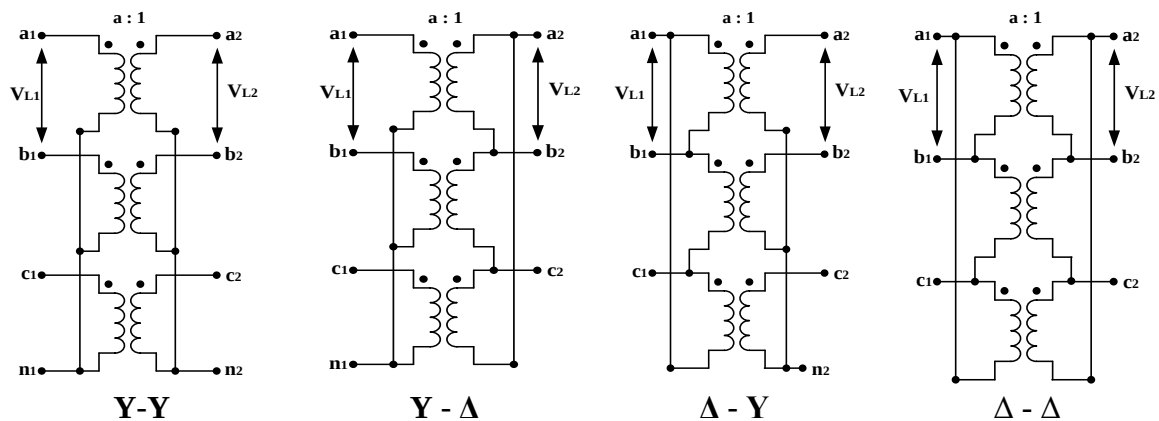
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = \sqrt{3} a \quad (2)$$

Transformator hubungan belitan Δ -Y umumnya digunakan untuk menaikkan tegangan dari tegangan pembangkitan ke tegangan transmisi. Hubungan Δ -Y lebih stabil dan tidak berpengaruh terhadap beban tidak seimbang dan harmonisa. Perbandingan tegangan transformator hubungan belitan Δ -Y sebesar:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{\sqrt{3} V_{\phi S}} = \frac{\sqrt{3}}{a} \quad (3)$$

Transformator hubungan belitan Δ – Δ lebih ekonomis digunakan untuk melayani beban besar dengan tegangan rendah. Keuntungan pemakaian transformator hubungan Δ – Δ adalah perbedaan fasa tidak ada dan stabil terhadap beban tidak seimbang dan harmonisa serta jika transformator mengalami gangguan pada salah satu belitannya maka transformator masih dapat bekerja melayani beban walaupun hanya menggunakan dua buah belitan. Perbandingan tegangan transformator hubungan belitan Δ – Δ sebesar :

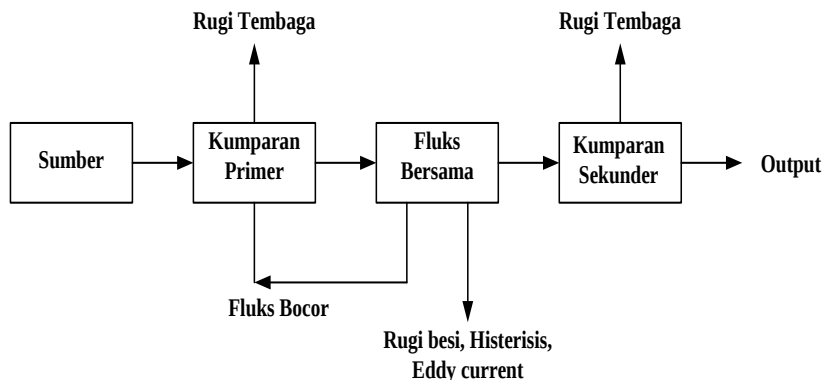
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a \quad (4)$$



Gambar 1. Hubungan Belitan transformator tiga fasa

Rugi – rugi Transformator

Rugi-rugi daya transformator terdiri dari rugi inti/rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun sekunder. Rugi inti/rugi besi dapat dikurangi dengan membuat penampang inti besi cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir dan untuk memperkecil rugi tembaga dengan menggunakan kawat tembaga berpenampang cukup besar dengan tujuan untuk mengalirkan arus listrik lebih cepat. Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histerisis. Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti, arus pusar menghasilkan panas dan besarnya arus pusar ditentukan oleh tegangan induksi pada inti. Rugi histerisis merupakan rugi tembaga yang disebabkan oleh fluks magnet bolak-balik pada inti. Gambar diagram rugi-rugi pada transformator:



Gambar 2. Diagram rugi – rugi transformator

Efisiensi Transformator

Efisiensi dinyatakan sebagai :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum rugi} = 1 - \frac{\sum rugi}{P_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

η = efisiensi (%)

P_{out} = daya keluar (watt)

P_{in} = daya masuk (watt)

$$\sum rugi = P_{cu} + P$$

Keseimbangan dan Ketidakseimbangan Beban

Keseimbang beban didefinisikan :

1. Ketiga vektor arus atau tegangan sama besar
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan ketidakseimbang beban adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan keseimbangan beban tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan ketidakseimbang beban adalah :

1. Ketiga vektor sama besar, tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
 2. Ketiga vektor tidak sama besar, tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa hubungan belitan yang terdapat pada transformator tiga fasa , yaitu Hubungan Δ -Y, biasanya digunakan untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau tegangan rendah. Satu diantara alasannya karena dengan menggunakan hubungan belitan ini untuk membumikan dari sisi tegangan tinggi telah tersedia saluran netral. Dapat dibuktikan bahwa hubungan belitan ini adalah hubungan yang paling banyak digunakan dilapangan[2].

Sebaliknya hubungan Y- Δ biasa digunakan untuk menaikkan tegangan dari tegangan rendah ke tegangan menengah, atau dari tegangan menengah ke tegangan tinggi. hal ini juga bertujuan sama, agar pada sisi tegangan tingginya apabila dikebumikan telah tersedia saluran netral [3],[4].

Hubungan delta - delta adalah satu jenis hubungan bilitan yang istimewa keuntungannya yaitu salah satu kaki transformator dapat dipindahkan apabila terjadi kerusakan atau apabila diadakan perawatan, sedangkan dua fasa yang tertinggal dapat terus beroperasi sebagai bank-3 fasa dengan ranting kVA yang turun sampai dengan 66,7% dari bank yang asli [5].

3. METODE PENELITIAN

Transformator tiga fasa hubungan Open-Delta adalah suatu hubungan belitan khusus pada transformator tiga fasa. Hubungan belitan ini dilakukan apabila pada transformator hubungan Delta salah satu belitannya mengalami kerusakan ataupun jika beban yang dipikul terlalu kecil. Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh beban tidak seimbang terhadap efisiensi transformator tiga fasa hubungan Open-Delta. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian dan pengambilan data serta perhitungan dari data hasil pengukuran.

Spesifikasi transformator DL 1080TT :

Three-phase transformer DL 1080TT for feeding a transmission line model 180 kV with scale factor 1:1000

Primary: 3 x 380 V windings with tap at 220 V

1. star or delta connection Secondary:
2. 3 x 220 V windings with taps at +5%, -5%, - 10%, -15%
3. star connection for 3 x 380 V
4. various star connections possible
5. rated power: 800 VA Tertiary: 3 x 220 V windings
6. delta connection for stabilizing the third harmonic voltage components
7. rated power: 266 VA

Lokasi Penelitian

Lokasi Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro

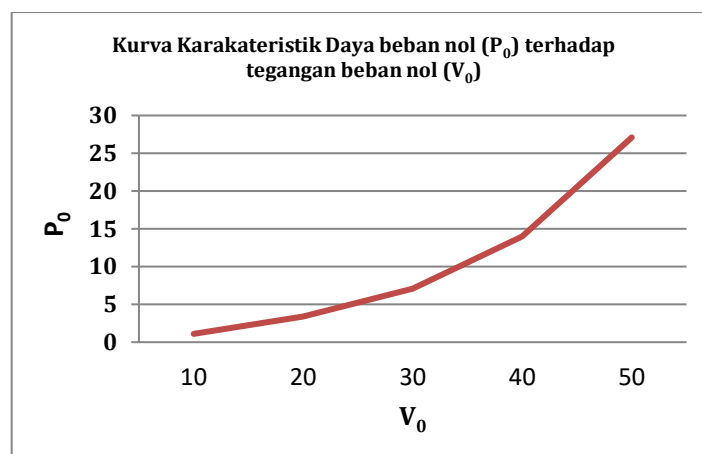
Metoda Pengujian dan analisa, meliputi :

1. Pengujian beban nol
2. Pengujian hubung singkat
3. Pengujian berbeban, meliputi ;
 - 3.1. Pengujian beban seimbang
 - 3.2. Pengujian beban tidak seimbang,

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Pengujian beban nol

N O	Pengujian					Hasil Perhitungan			
	V_0 (Volt)	I_1 (Amp)	P_0 (Watt)	V_2 (Volt)	$\cos \varphi$	I_c (A)	I_m (A)	R_c (Ω)	X_m (Ω)
1	10	0,14	1,1	46	0,79	0,11	0,08	90,9	125
2	20	0,2	3,4	81	0,85	0,17	0,1	117,64	200
3	30	0,31	7,1	117	0,76	0,23	0,2	130,43	150
4	40	0,45	14	154	0,78	0,35	0,28	114,28	142,85
5	50	0,64	27,1	193	0,85	0,54	0,33	92,59	151,51

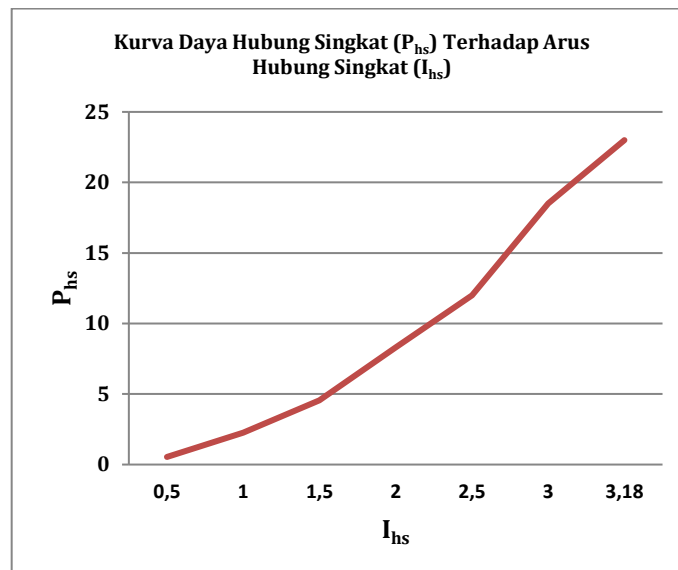


Gambar 3. Kurva Karakteristik Daya beban nol (P_0) terhadap tegangan beban nol (V_0)

Dari grafik kurva karakteristik daya beban nol (P_0) terhadap tegangan beban nol (V_0) transformator tiga fasa hubungan Open-Delta memiliki rugi-rugi beban nol sampai 27,1 Watt. jika tegangan beban nol dinaikkan hingga 50 Volt.

Tabel 2. Pengujian hubung singkat

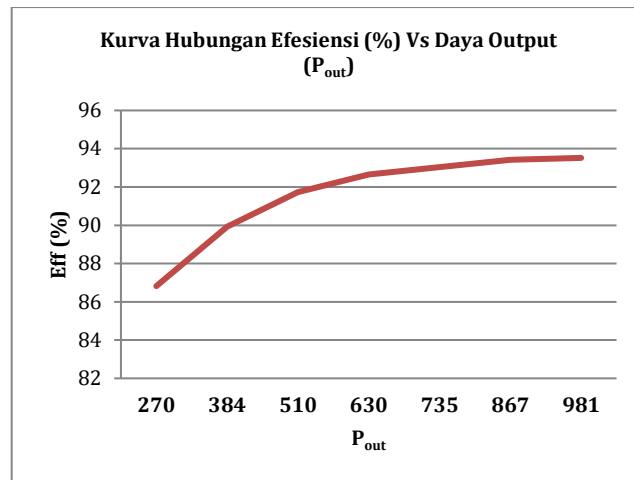
NO.	Pengujian				Hasil Perhitungan		
	I_1 (amp)	V_1 volt)	P_{hs} (watt)	I_{hs} (amp)	Z_{ek} (Ω)	R_{ek} (Ω)	X_{ek} (Ω)
1	0,84	0,9	0,54	0,5	1,071	0,765	0,4
2	1,71	1,85	2,25	1	1,082	0,769	0,404
3	2,42	2,62	4,55	1,5	1,083	0,777	0,399
4	3,28	3,55	8,3	2	1,082	0,771	0,402
5	4,02	4,35	12	2,5	1,082	0,743	0,423
6	4,9	5,25	18,5	3	1,071	0,771	0,397
7	5,38	5,75	23	3,18	1,069	0,795	0,377

Gambar 4. Kurva daya hubung singkat (P_{hs}) terhadap arus hubung singkat (I_{hs})

Dari pengujian hubung singkat transformator tiga fasa hubungan Open-Delta, rugi-rugi daya Hubung Singkat (P_{hs}) semakin besar mencapai 23 Watt akibat arus yang mengalir pada kumparan transformator semakin besar, yaitu 3,18 Amper

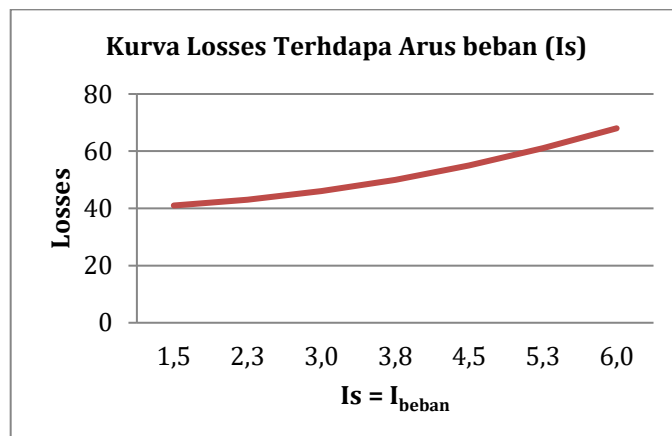
Tabel 3. Pengujian beban seimbang

Arus Phasa		P_{in} (watt)	P_{out} (watt)	Losses (watt)	Efisiensi (%)
I_p	I_s				
10,4	1,5	311	270	41	86,8
14,3	2,3	427	384	43	89,9
16,6	3,0	556	510	46	91,7
19,7	3,8	680	630	50	92,6
23,2	4,5	790	735	55	93,0
24,7	5,3	928	867	61	93,4
28	6,0	1049	981	68	93,5



Gambar 5. Kurva Hubungan Efisiensi (%) Vs Daya Output (P_{out})

Dari grafik terlihat : efisiensi transformator tiga fasa hubungan Open-Delta meningkat sampai 93,5% dengan daya output 981 Watt

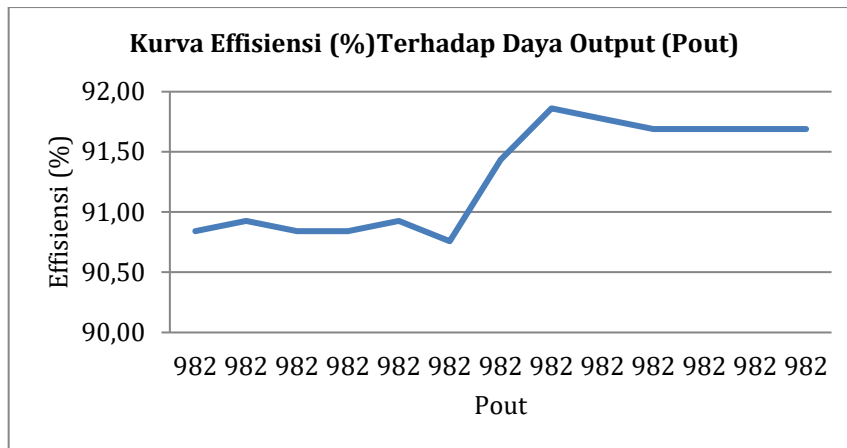


Gambar 6. Kurva Losses Terhadap Arus beban (I_s)

Dari grafik terlihat : Losses transformator tiga fasa hubungan Open-Delta meningkat sampai 68 Watt dengan arus beban 6 Amper

Tabel 4. Pengujian beban tidak seimbang,:

Pin (watt)	Pout (watt)	Losses (watt)	Efisiensi (%)
1081	982	99	90,84
1080	982	98	90,93
1081	982	99	90,84
1081	982	99	90,84
1080	982	98	90,93
1082	982	100	90,76
1074	982	92	91,43
1069	982	87	91,86
1070	982	88	91,78
1071	982	89	91,69
1071	982	89	91,69
1071	982	89	91,69
1071	982	89	91,69



Gambar 7. Kurva Efisiensi (%) Terhadap Daya Output (Pout)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pengujian beban nol, nilai arus (I_0) dan rugi-rugi inti (P_0) tanpa beban dipengaruhi oleh nilai tegangan (V_0), dimana semakin besar V_0 maka I_0 dan P_0 semakin besar.
2. Pengujian hubung singkat, nilai arus (I_{hs}) dan rugi-rugi (P_{hs}) tanpa hubung singkat dipengaruhi oleh nilai tegangan (V_1), dimana semakin besar V_1 maka I_{hs} dan P_{hs} semakin besar.
3. Pengujian berbeban, dengan menaikkan arus beban, maka rugi-rugi dan efisiensi semakin besar.
4. Losses pada pengujian beban seimbang lebih kecil jika dibandingkan Losses pada pengujian beban tidak seimbang.
5. Efisiensi pada pengujian beban seimbang lebih besar 93,5.% dengan P_{out} 981 Watt jika dibandingkan efisiensi pengujian beban tidak seimbang 91,69% dengan P_{out} 982 Watt, karena daya output pada transformator beban tidak seimbang akan menyerap daya yang lebih besar.

Saran

Penelitian ini masih jauh dari sempurna, mohon masukan dan saran untuk kesempurnaan hasil penelitian akan datang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Djulil, A. & Fali, O. 2003. *Kekuatan dan rugi-rugi dielektrik minyak transformator yang dipengaruhi oleh kontaminasi air dan kenaikan temperatur*, Seminar Nasional Teknik Elektro.
- [2]. Hutaaruk, T.S. 1987. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*, Jakarta, Erlangga.
- [3]. IEC. 1976. *Power Transformer*, IEC 76/1976.
- [4]. Kadir, A. 1981. *Transformator, Edisi 2*, Jakarta, Universitas Indonesia.
- [5]. Stevenson & Wiliam, D. 1996. *Analisa Sistem Tenaga Listrik, edisi 4*, Jakarta, Erlangga.
- [6]. Soemarwanto. 1988. *Teknik Tenaga Listrik, Edisi 1*, Malang, Universitas Brawijaya