

ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH BEBAN SEIMBANG DAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP REGULASI TEGANGAN DAN EFISIENSI PADA BERBAGAI HUBUNGAN BELITAN TRANSFORMATOR TIGA FASA

Yuliana Tanjung^[1], A. Rachman Hasibuan^[2]

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: yuliana.tanjung85@ymail.com

Abstrak

Transformator merupakan sebuah alat listrik statis yang dapat menyalurkan energi listrik dalam bentuk AC melalui gandengan magnet yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan. Transformator yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik adalah transformator tiga fasa. Pada transformator tiga fasa terdapat berbagai hubungan belitan yaitu hubungan Y, Δ dan Z. Masing-masing hubungan tersebut memiliki efisiensi dan regulasi tegangan yang berbeda-beda. Pada tulisan ini dilakukan penelitian untuk mendapatkan nilai daya, $\cos \phi$ dan arus beban pada setiap fasa dengan tegangan awal konstan 220 Volt dengan variasi beban kombinasi RLC. Penelitian menggunakan hubungan belitan Y_{y_0} , $Y_{d_{11}}$, D_{d_0} dan D_{y_5} sehingga dari parameter-parameter tersebut akan diperoleh nilai efisiensi dan regulasi tegangan. Nilai efisiensi yang terbaik adalah pada hubungan belitan Y_{y_0} pada saat beban tidak seimbang terhubung wye yaitu sebesar 97,8%. Sedangkan regulasi tegangan yang terendah adalah pada beban tidak seimbang terhubung delta hubungan transformator D_{y_5} sebesar 2,32%.

Kata Kunci: Transformator Tiga Fasa, Beban Seimbang, Beban Tidak Seimbang

1. Pendahuluan

Transformator adalah suatu alat listrik statis yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik AC ke peralatan lainnya melalui suatu gandengan magnet yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Transformator dapat dibagi menjadi transformator 1 fasa dan transformator 3 fasa. Pada transformator 3 fasa terdapat berbagai hubungan belitan misalnya hubungan Δ , Y, Z, dan lain-lain.

Hubungan-hubungan tersebut memiliki efisiensi dan regulasi tegangan yang berbeda-beda apabila dihubungkan dengan beban. Beban yang terpasang pada konsumen biasanya ada 3 jenis beban yaitu beban resistif, induktif dan kapasitif. Ketiga jenis beban ini jika terhubung dengan peralatan misalnya transformator maka efisiensinya akan berbeda-beda.

Kondisi pembebanan juga terbagi atas beban seimbang dan beban tidak seimbang. Dengan menggunakan transformator, dimana tegangan pembangkitan dinaikkan semaksimal mungkin, maka arus yang mengalir sangat kecil,

yang menyebabkan rugi-rugi daya yang kecil dan penampang kawat yang digunakan berukuran kecil sehingga lebih ekonomis.

2. Transformator Tiga Fasa

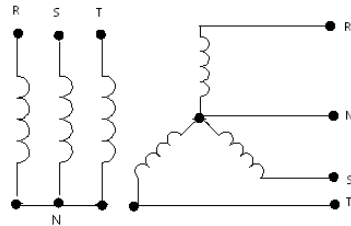
Pada prinsipnya transformator 3 fasa sama dengan transformator satu fasa [2]. Transformator 3 fasa dapat dibentuk dengan menggunakan 2 cara yaitu dengan menggunakan 3 buah transformator 1 fasa yang identik dan menghubungkan belitan ketiga transformator tersebut dan bisa juga membuat transformator dari 3 buah belitan primer, 3 buah belitan sekunder yang dihubungkan dengan 1 inti besi.

2.1 Hubungan Belitan Transformator 3 fasa Secara Umum

Hubungan belitan transformator 3 fasa terbagi dua yaitu :

1. Hubungan wye

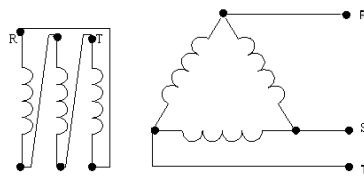
Sering disebut juga hubungan bintang, hubungan ini dibuat dengan menghubungkan titik awal atau titik akhir dari ketiga fasa ke 1 titik yang dinamakan netral. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Hubungan Wye

2. Hubungan Delta

Hubungan delta sering disebut juga hubungan mesh, hubungan ini dibuat dengan menghubungkan titik awal belitan dan titik akhir belitan lainnya. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 2:



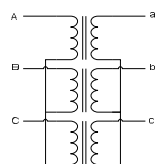
Gambar 2. Hubungan Delta

2.2 Berbagai Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa

Hubungan belitan pada transformator 3 fasa terdiri dari :

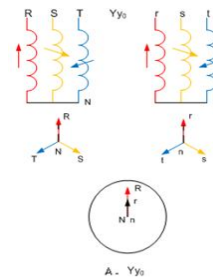
1. Hubungan Yy_0

Huruf Y pertama belitan primer dalam hubungan wye, huruf y kedua belitan sekunder juga dalam hubungan wye. Angka 0 menunjukkan beda fasa tegangan primer dan sekunder 0° . Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa YY

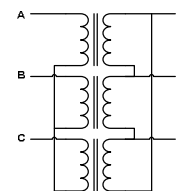
Vector grup untuk hubungan ini seperti pada Gambar 4 berikut [4] :



Gambar 4. Vektor Diagram Hubungan Belitan Yy_0

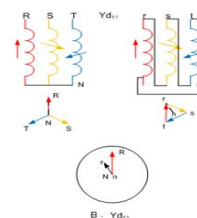
2. Hubungan Yd_{11}

Hubungan belitan primer dalam hubungan wye, belitan sekunder dalam hubungan delta. Beda fasa antara tegangan primer dan sekunder $11 \times 30^\circ = 330^\circ$. Trafo jenis ini sering digunakan di *substation* untuk menurunkan tegangan (*Step Down*). Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 5:



Gambar 5. Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa $Y\Delta$

Vector grup untuk hubungan ini seperti pada Gambar 6 [4] :

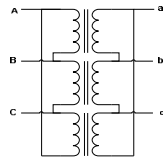


Gambar 6. Vektor Diagram Hubungan Belitan Yd_{11}

3. Hubungan Dd_0

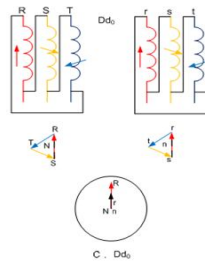
Menunjukkan huruf D pertama belitan primer dalam hubungan delta. Belitan sekunder juga dalam hubungan delta. Angka 0 menunjukkan beda fasa tegangan primer dan sekunder 0° . Pada transformator ini tidak beda sudut fasa antar fasanya dan tidak mempunyai

masalah dengan beban tidak seimbang. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 7:



Gambar 7. Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa ΔΔ

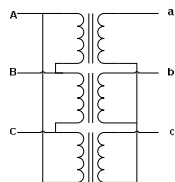
Vektor grup untuk hubungan ini seperti pada Gambar 8 [4] :



Gambar 8. Vektor Diagram Hubungan Belitan ΔΔ₀

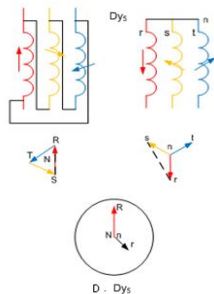
4. Hubungan Dy₅

Belitan primer dalam hubungan delta. Belitan sekunder dalam dalam hubungan wye. Beda fasa antara tegangan primer dan sekunder yaitu $5 \times 30^\circ = 150^\circ$. Hubungan ini dilihat pada Gambar 9 [3]:



Gambar 9. Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa ΔY

Vektor grup untuk hubungan ini seperti pada Gambar 10 [4] :



Gambar 10. Vektor Diagram Hubungan Belitan ΔY₅

2.3 Hubungan Transformator dalam Keadaan Beban Seimbang

Hubungan pada transformator dalam keadaan beban seimbang yaitu :

1. Hubungan Wye

Hubungan ini mempunyai titik netral sehingga dapat dibentuk dengan 3 kawat (tanpa netral) dan 4 kawat (dengan netral).

Total daya dari hubungan wye merupakan jumlah daya pada masing-masing fasa. Karena beban dalam keadaan seimbang maka besar daya pada masing-masing fasa itu sama. Untuk hubungan wye menggunakan Persamaan-1:

$$P_{\text{OUTPUT}} = \sqrt{3} V_{\text{L-L}} I_{\text{L}} \cos \phi \quad (1)$$

Total Daya,

$$P = 3 \times \text{daya pada masing- masing fasa} \\ = 3 \times V_{\text{PH}} I_{\text{PH}} \cos \phi \quad (2)$$

Dimana :

$V_{\text{L-L}}/V_{\text{PH}}$ = Tegangan Line-Line (Volt)

$I_{\text{L}}/I_{\text{PH}}$ = Arus Line (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor Daya Beban

P_{OUTPUT} = Daya Keluaran (Watt)

2. Hubungan Delta

Hubungan ini tidak mempunyai netral dan dibentuk hanya menggunakan 3 kawat. Karena beban dalam keadaan seimbang maka besar daya pada masing-masing fasa itu sama. Untuk hubungan delta juga menggunakan persamaan-1 dan 2.

2.4 Hubungan Transformator dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang

Hubungan transformator dalam keadaan beban tidak seimbang yaitu :

1. Hubungan Wye

Total daya dari hubungan wye merupakan jumlah daya pada masing-masing fasa. Karena beban dalam keadaan tidak seimbang maka besar daya pada masing-masing fasa itu berbeda sehingga digunakan Persamaan-3 dan 4 [1] :

$$P_{\text{R}} = V_{\text{PH}} I_{\text{ZR}} \cos \phi = V_{\text{L-L}} I_{\text{ZR}} \cos \phi \\ P_{\text{S}} = V_{\text{PH}} I_{\text{ZS}} \cos \phi = V_{\text{L-L}} I_{\text{ZS}} \cos \phi \\ P_{\text{T}} = V_{\text{PH}} I_{\text{ZT}} \cos \phi = V_{\text{L-L}} I_{\text{ZT}} \cos \phi \quad (3)$$

$$P_{OUTPUT} = P_{TOTAL} = P_R + P_S + P_T \quad (4)$$

Dimana :

- $P_R = P_S = P_T =$ Daya pada Tiap Fasa (Watt)
- $V_{PH} =$ Tegangan Fasa (Volt)
- $I_{ZR} = I_{ZS} = I_{ZT} =$ Arus pada Tiap Fasa (Watt)
- $P_{OUTPUT} =$ Daya Keluaran (Watt)

2. Hubungan Delta

Tahapan untuk menghitung total daya kondisi beban tidak seimbang terhubung delta menggunakan persamaan yang sama untuk menghitung total daya pada beban tidak seimbang terhubung wye yaitu menggunakan Persamaan-3 dan 4.

2.5 Efisiensi dan Regulasi Tegangan

Efisiensi dan regulasi tegangan merupakan parameter terpenting dalam penelitian.

1. Efisiensi

Efisiensi adalah perbandingan daya keluaran dan daya masukan, efisiensi dapat di rumuskan pada Persamaan-5 [2] :

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

- $\eta =$ Efisiensi
- $P_{out} =$ Daya yang Keluar
- $P_{in} =$ Daya yang Masuk

2. Regulasi Tegangan

Regulasi tegangan adalah perbandingan antara perubahan tegangan keluaran pada saat tanpa beban dan pada saat beban penuh terhadap tegangan keluaran pada tanpa beban dengan tegangan primer konstan. Regulasi tegangan dapat dirumuskan pada Persamaan-6 [2]:

$$VR = V_{no\ load} - V_{full\ load} / V_{no\ load} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

- $VR =$ Regulasi Tegangan
- $V_{NL} =$ Tegangan Keluaran Saat Tanpa Beban
- $V_{FL} =$ Tegangan Keluaran Pada Saat Beban Penuh

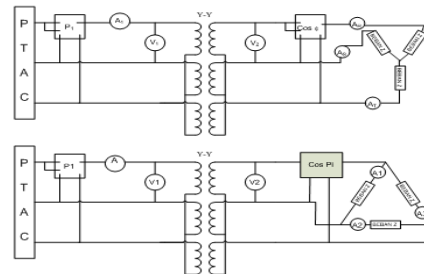
3. Metode Penelitian

Pengambilan data dalam penulisan ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi

Listrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Sumatera Utara pada tanggal 23 September 2013 pukul 14.00 s.d. 18.00 WIB

3.1 Rangkaian Pengambilan Data

Percobaan Berbeban Seimbang dan Tidak Seimbang Terhubung Wye dan Terhubung Delta Hubungan Y_{y0} , Y_{d11} , D_{d0} dan D_{y5} .



Gambar 11. Rangkaian Percobaan

4. Hasil Perhitungan dan Analisis Data

4.1 Beban Seimbang Terhubung Wye dan Delta

Data beban seimbang dapat dilihat pada Tabel 1 sampai 4 :

1. Tabel Percobaan Beban Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Y_{y0}

Kombinasi Beban			I_{ph}			V_{LL}		P_{INPPT} (Watt)	P_{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)	V_{FL} (Volt)	V_{NL} (Volt)				
480	480	480	1.11	1.11	1.11	124	158	300	233.6	77%	21.5%
610	610	610	1.5	1.5	1.5	124	158	350	315	90%	21.5%
667	667	667	2.1	2.1	2.1	124	158	450	447	99%	21.5%

Kombinasi Beban			I_{ph}			V_{LL}		P_{INPPT} (Watt)	P_{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)	V_{FL} (Volt)	V_{NL} (Volt)				
480	480	480	0.78	0.78	0.78	132	158	250	174.7	69.8%	16.45%
610	610	610	0.9	0.9	0.9	132	158	250	201.6	80.6%	16.45%
667	667	667	0.95	0.95	0.95	132	158	250	212.8	85.1%	16.45%

2. Tabel Percobaan Beban Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Y_{d11}

Kombinasi Beban			I_{ph}			V_{LL}		P_{INPPT} (Watt)	P_{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)	V_{FL} (Volt)	V_{NL} (Volt)				
480	480	480	0.66	0.66	0.66	75	94	150	58.3	38%	20.2%
610	610	610	0.8	0.8	0.8	75	94	200	70.6	35.3%	20.2%
667	667	667	0.84	0.84	0.84	75	94	200	74.2	37.1%	20.2%

Kombinasi Beban			I_{ph}			V_{LL}		P_{INPPT} (Watt)	P_{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I_R (Amp)	I_S (Amp)	I_T (Amp)	V_{FL} (Volt)	V_{NL} (Volt)				
480	480	480	0.48	0.48	0.48	75	94	200	42.4	21.2%	20.2%
610	610	610	1.2	1.2	1.2	75	94	200	106	53%	20.2%
667	667	667	1.8	1.8	1.8	75	94	200	159	79.5%	20.2%

3. Tabel Percobaan Beban Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Dd₀

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
480	480	480	1.1	1.1	1.1	127	147	300	229.8	76.6%	13.6%
610	610	610	1.35	1.35	1.35	127	147	300	271.6	90.5%	13.6%
667	667	667	2.5	2.5	2.5	127	147	700	522.4	74.6%	13.6%

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
480	480	480	0.86	0.86	0.86	134	147	300	189.6	63.2%	8.84%
610	610	610	1.57	1.57	1.57	134	147	400	346.1	86.5%	8.84%
667	667	667	1.9	1.9	1.9	134	147	450	418.9	92.8%	8.84%

4. Tabel Percobaan Beban Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Dy₅

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
480	480	480	1.2	1.2	1.2	136	215	300	268.5	89.5%	36.7%
610	610	610	1.72	1.72	1.72	136	215	400	384.9	96%	36.7%
667	667	667	2.1	2.1	2.1	136	215	500	469.9	93.9%	36.7%

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
480	480	480	0.95	0.95	0.95	134	215	300	209.4	69.8%	37.6%
610	610	610	1.82	1.82	1.82	134	215	450	401.3	89.1%	37.6%
667	667	667	2.2	2.2	2.2	134	215	500	485	97%	37.6%

4.2 Beban Tidak Seimbang Terhubung Wye dan Delta

Data beban tidak seimbang dapat dilihat pada Tabel 5 sampai 8 :

5. Tabel Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Yy₀

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	1.24	1.33	1.57	125	158	450	407.1	90.4%	20.8%
510	610	710	1.3	1.35	1.66	125	158	500	457.8	91.5%	20.8%
567	667	767	1.35	1.37	1.72	125	158	550	538.2	97.8%	20.8%

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	1.15	1.3	2.1	125	158	700	557.2	79.6%	20.8%
510	610	710	1.8	1.98	2.3	125	158	800	744.7	93%	20.8%
567	667	767	1.92	2.2	2.47	125	158	850	817	96.1%	20.8%

6. Tabel Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Yd₁₁

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	0.69	0.76	0.91	72	94	110	101.9	92.6%	23.4%
510	610	710	0.77	0.81	1.06	72	94	150	113.8	75.8%	23.4%
567	667	767	0.8	0.85	1.2	72	94	150	123	82%	23.4%

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	0.75	0.94	1.2	72	94	250	141.4	56.5%	23.4%
510	610	710	0.98	1.31	2.4	72	94	300	229.5	76.5%	23.4%
567	667	767	1.1	2.13	2.52	72	94	300	281.3	93.7%	23.4%

7. Tabel Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Dd₀

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	1.23	1.25	1.57	123	147	500	488.07	97.6%	16.3%
510	610	710	1.28	1.33	1.68	123	147	500	449.4	89.8%	16.3%
567	667	767	1.29	1.36	1.75	123	147	550	530.2	96.4%	16.3%

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	1.43	1.65	1.96	126	147	750	603.2	80.4%	14.2%
510	610	710	1.52	1.98	2.7	126	147	800	749.8	93.7%	14.2%
567	667	767	1.56	1.97	2.73	126	147	800	772.9	96.6%	14.2%

8. Hasil Analisis Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Wye dan Delta Hubungan Dy₅

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	1.54	1.74	1.81	210	215	1200	1047.3	87.2%	2.32%
510	610	710	1.66	1.79	2.2	210	215	1300	1127.1	86.7%	2.32%
567	667	767	1.76	2.4	2.9	210	215	1700	1452.9	85.46%	2.32%

Kombinasi Beban			I _{PH}			V _{LL}		P _{IN} PUT (Watt)	P _{OUT} (Watt)	% η	%VR
R (VA)	S (VA)	T (VA)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	V _{FL} (Volt)	V _{NL} (Volt)				
380	480	580	2.56	3.24	3.56	200	215	2000	1834.4	91.7%	6.97%
510	610	710	2.73	3.71	4.1	200	215	2200	2002.6	91.02%	6.97%
567	667	767	3.2	3.8	4.32	200	215	2400	2218.7	92.4%	6.97%

4.3 Hasil Analisis Data Beban Seimbang dan Tidak Seimbang

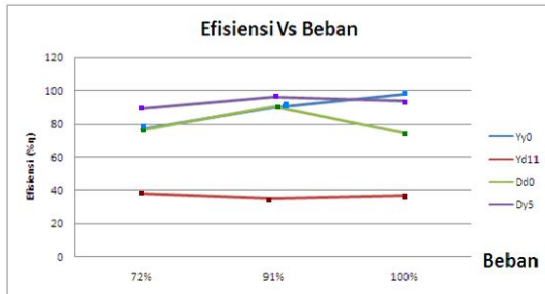
Dari hasil perhitungan dapat dianalisa dan diperoleh efisiensi tertinggi pada hubungan transformator Yy₀ beban seimbang terhubung wye sebesar 98%. Regulasi tegangan terendah pada hubungan transformator Dd₀ beban seimbang terhubung delta yaitu sebesar 8,84%.

Sedangkan untuk beban tidak seimbang diperoleh efisiensi tertinggi pada hubungan transformator Yy₀ beban terhubung wye sebesar 97,8%. Regulasi tegangan yang terendah pada hubungan transformator Dy₅ beban terhubung wye yaitu sebesar 2,32%.

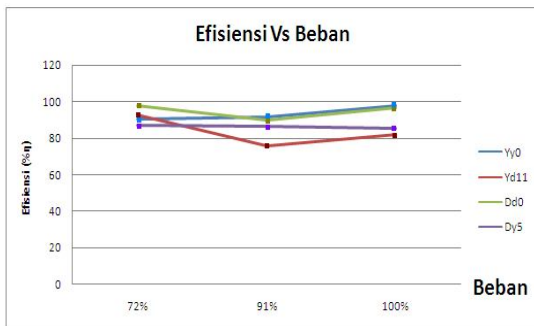
Efisiensi yang paling tinggi menandakan dapat melayani beban yang paling baik begitu juga sebaliknya. nilai regulasi tegangan yang paling rendah menandakan pada hubungan ini kualitas tegangan yang paling baik.

Berdasarkan data dari Tabel 1 dan 5 diperoleh hasil grafik pada Gambar 12 dan 13 :

1. Grafik Efisiensi Vs Beban Seimbang dan Tidak Seimbang



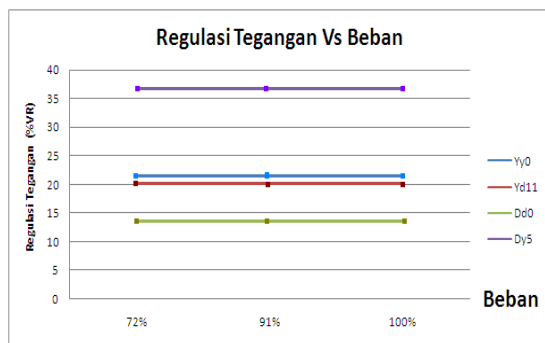
Gambar 12. Grafik Efisiensi Vs Beban Seimbang



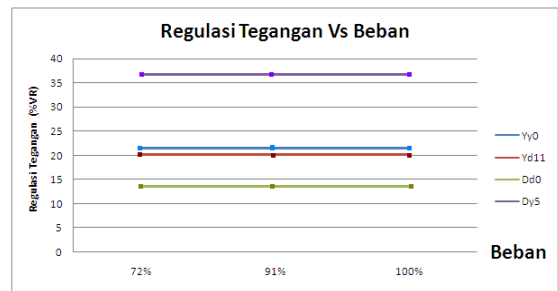
Gambar 13. Grafik Efisiensi Vs Beban Tidak Seimbang

Berdasarkan data dari Tabel 1 dan 5 diperoleh hasil grafik pada Gambar 13 dan 14 :

2. Grafik Regulasi Tegangan Vs Beban Seimbang dan Tidak Seimbang



Gambar 13. Grafik Regulasi Tegangan Vs Beban Seimbang



Gambar 14. Grafik Regulasi Tegangan Vs Beban Tidak Seimbang

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis percobaan, diperoleh regulasi tegangan yang terbaik yaitu pada transformator hubungan belitan Dy₅ beban tidak seimbang terhubung wye sebesar 2,32% dengan nilai efisiensi sebesar 87,2%.
2. Dari hasil analisis percobaan beban tidak seimbang, nilai efisiensi ketika beban tidak seimbang terhubung wye rata-rata lebih besar dibandingkan beban tidak seimbang terhubung delta.

7. Daftar Pustaka

- [1]. Rijono, Yon, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta: 1997
- [2]. Wijaya, Mochtar, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*, Djambatan, Jakarta : 2001
- [3]. Mehta, V.K. and Rohit Mehta, *Principles of Electrical Engineering And Electronics*, S. Chand & Company Ltd, New Delhi : 2000
- [4]. Franklin, A.C. and Austen Stigant, *A Practical Technology of The Power Transformer*, Butterworth & Co (Publisher) Ltd, London : 1973