

KAJIAN UNJUK KERJA BEBAN TIDAK SEIMBANG PADA TRAF0 DELTA

Pelpinus Sinay¹, Marselin Jamlaay²

^{1,2}Politeknik Negeri Ambon

¹nussinay20@gmail.com, ²marselin90@gmail.com

Abstract-A transformer is a device that can transfer (distribute) and change electrical energy from one circuit to another with the same frequency based on the principle of electromagnetic induction. The transformer that will be used in this study is a delta connected three-phase transformer, which can be used to transmit three-phase electric power to a load, which is connected to a delta-connected load. The performance possessed by the effect of unbalanced load on the open delta transformer, when loaded with an unequal load on each phase, causes an increase in current on each phase, resulting in an increase in the input power absorbed by the unbalanced load resulting in power loss (loss) is greater with a smaller efficiency. The aim of the research is to study the performance of unbalanced loads on delta transformers and the research method is an experimental method in the laboratory, which includes testing on three-phase delta transformers under unbalanced load conditions. The measurement results show that there are differences in performance (output results) the effect of unbalanced loads between the average current with losses and with efficiency in the delta transformer.

Keywords: Delta Transformer; Unbalanced Load

Abstrak-Transformator (trafo) adalah suatu alat yang dapat memindahkan (menyalurkan) dan mengubah energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Trafo yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah trafo tiga fasa hubungan delta., yang dapat difungsikan untuk menyalurkan daya listrik tiga fasa ke beban, yang tersambung dengan beban terhubung delta. Unjuk kerja yang dimiliki dari pengaruh beban tidak seimbang pada trafo open delta, saat dibebani dengan beban tidak seimbang yang tidak sama besar pada setiap fasa, menyebabkan terjadi kenaikan arus pada setiap fasa, sehingga terjadi kenaikan daya input yang diserap oleh beban tidak seimbang mengakibatkan rugi daya (loses) yang lebih besar dengan efisiensi yang mengecil. Tujuan penelitian adalah kajian unjuk kerja beban tidak seimbang pada trafo delta dan Metode penelitian adalah metode eksperimen pada laboratorium, yang meliputi pengujian pada trafo tiga fasa hubungan delta dalam keadaan beban tidak seimbang. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat perbedaan unjuk kerja (hasil keluran) pengaruh dari beban tidak seimbang antara rata- rata arus dengan loses maupun dengan efisiensi pada trafo delta.

Kata Kunci : Trafo Delta; Beban Tidak Seimbang

I. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu alat yang dapat memindahkan (menyalurkan) dan mengubah besar daya listrik dari satu rangkaian ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan yang diterima dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan besar kecilnya arus dalam rangkaian. Daya listrik yang dipindahkan dan diubah tersebut adalah tegangan dan arus bolak-balik (AC).

Jenis-jenis transformator sangat bervariasi, tetapi secara umum dapat diklasifikasikan atas tiga jenis, yaitu Transformator Daya, Transformator Distribusi, dan Transformator Pengukuran. Pada umumnya jenis transformator yang dipergunakan sebagai Transformator Daya dan Transformator Distribusi adalah transformator tiga fasa, sebagai penyalur tenaga listrik dari pembangkit ke beban. Transformator tiga fasa terdapat dua hubungan belitan utama yaitu hubungan delta dan hubungan bintang. Hubungan delta-delta (Δ - Δ) adalah hubungan yang paling efektif digunakan untuk tegangan rendah dengan arus beban yang besar. Hubungan belitan ini juga merupakan hubungan belitan yang paling banyak digunakan, jika dibandingkan dengan berbagai macam hubungan belitan lainnya.

Jika yang tersedia hanyalah dua buah transformator satu fasa masih memungkinkan untuk membuat suatu sistem tiga fasa dengan menggunakan dua buah transformator satu fasa atau dua belitan tersebut dapat difungsikan untuk menyalurkan daya listrik dengan menggunakan hubungan belitan open-delta.

Melepaskan salah satu belitan juga dapat dilakukan pada transformator tiga fasa hubungan delta-delta, jika beban yang dilayani terlalu kecil untuk masa sekarang, tetapi perlu diantisipasi jika terjadi pertumbuhan beban dimasa yang akan datang yaitu dengan pemasangan kembali belitan yang dibuka tersebut, Kemampuan kapasitas daya trafo delta dapat melayani system beban 100%,

Pada umumnya beban yang dilayani suatu transformator diusahakan seimbang. Tetapi dalam kenyataannya sering beban yang dilayani oleh suatu transformator tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban mengakibatkan arus pada masing-masing fasa tidak seimbang sehingga resultan arus beban tidak sama dengan nol. Akibatnya untuk daya output yang sama transformator berbeban tidak seimbang akan mempunyai rugi-rugi yang lebih besar dan akan menyerap daya yang lebih besar sehingga efisiensinya akan lebih kecil. Arus pada masing-masing fasa tidak seimbang dapat terjadi karena impedansi dari beban perfasa tidak seimbang. Jika transformator open delta dibebani tidak seimbang maka arus-arus fasa akan tidak seimbang yang mengakibatkan tegangan sekundernya pada transformator tidak seimbang, sehingga dapat mengurangi daya input (P_{in}) yang disalurkan ke beban. Maka sebelum dioperasikan perlu dilakukan pengujian. Pengujian dimaksud untuk membahas unjuk kerja beban tidak seimbang pada trafo delta.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kajian Unjuk Kerja

Melihat dari isi penelitian sebelumnya, belum ada penyelesaian yang mendekati pembahasan penelitian mengenai kajian unjuk kerja beban tidak seimbang pada trafo open delta, sehingga pengertian dari kajian unjuk kerja dapat dijelaskan sebagai berikut :

Unjuk kerja adalah merupakan performen, respon, karakteristik atau hasil keluaran suatu sistem berupa rata-rata arus dan losses maupun efisiensi yang diperoleh dari daya dan arus pada masing-masing fasa dalam keadaan berbeban, Kajian unjuk kerja (hasil keluaran) yang diperoleh dari arus dan daya beban yang diberikan pada setiap fasa / digunakan pada trafo open delta saat dibebani beban seimbang maupun beban tidak seimbang. Hubungan open delta diperoleh sebesar $= 66,6\% = 0,66$. Untuk memperoleh kapasitas daya Open Delta (V)

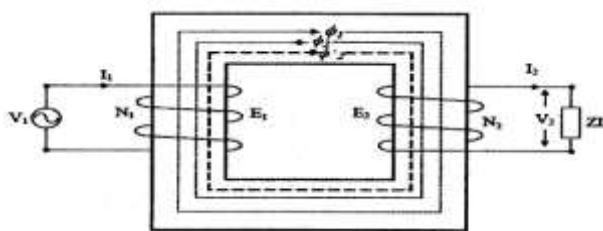
$$= \frac{\frac{2}{3} \times 1}{\frac{2}{3} \times \sqrt{3}} = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{2}{\sqrt{3}}} = \frac{0,666}{1,154} = 0,577$$

$$\text{Atau : } \frac{P_{V-V}}{P_{\Delta-\Delta}} = \frac{\sqrt{3} V_{L-L} I_P}{3 V_{L-L} I_P} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577.$$

Trafo open delta pada kapasitas normal, $= 0,577$ dianggap sama dengan $66,6\% = 0,666$ [1].

2.2 Keadaan Transformator Berbeban

Transformator dikatakan berbeban, jika kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1 Transformator dalam keadaan berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , akan mengalir arus I_2 pada kumparan sekunder, dimana $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$ dengan faktor kerja $\cos \phi$ yang merupakan faktor kerja beban.

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan. Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi [2]:

$$I = I_0 + I_2' \text{ (ampere)}$$

Bila komponen arus rugi inti (I_c) diabaikan, maka $I_0 = I_m$, sehingga:

$$I = I_m + I_2' \text{ (ampere)}$$

Dimana : I_1 = Arus pada sisi primer

I_0 = Arus penguat.

I_m = Arus pemagnetan

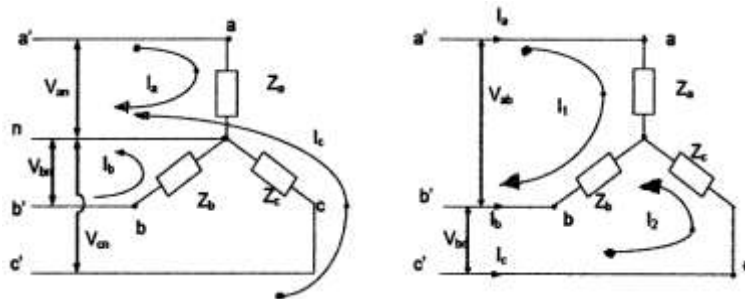
I_c = Arus rugi-rugi inti

2.3 Rangkaian Beban Pada Trafo Tiga Phasa Tidak Seimbang

Yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada dua yaitu:

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

Penyelesaian beban tak seimbang untuk hubungan delta dapat disamakan dengan keadaan seimbang. Sedangkan untuk hubungan bintang penyelesaiannya adalah sebagai berikut: Pada sistem 4 kawat, masing-masing fase akan mengalirkan arus yang tak seimbang menuju Netral . Sedangkan pada sistem tiga kawat akan mengakibatkan tegangan yang berubah cukup signifikan dan memunculkan netral yang berbeda dari netral yang semestinya, seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Beban tidak seimbang terhubung bintang empat kawat dan tiga kawat

Pada sistem dengan empat kawat, akan berlaku [3] :

$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_a}$$

$$I_b = \frac{V_{bn}}{Z_b}$$

$$I_c = \frac{V_{cn}}{Z_c}$$

$$I_n = -(I_a + I_b + I_c) \text{ Sedangkan pada sistem tiga kawat, diselesaikan dengan persamaan loop sebagai berikut :}$$

$$\text{Loop 1: } V_{ab} = -Z_a \cdot I_1 - (I_1 + I_2) Z_b$$

$$\text{Loop 2: } V_{bc} = -Z_c I_2 - (I_1 + I_2) Z_b$$

nilai I_1 dan I_2 , atau arus-arus line dapat dicari dengan:

$$I_a = I_1$$

$$I_b = I_1 + I_2$$

$$I_c = I_2$$

sedangkan besar tegangan pada setiap impedansi beban adalah:

$$V_{a0} = I_a Z_a$$

$$V_{b0} = I_b Z_b$$

$$V_{c0} = I_c Z_c$$

2.4 Trafo Delta Dalam Keadaan Tidak Seimbang

Transformator delta melayani beban tiga fasa resistif dalam keadaan tidak seimbang, yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang disini adalah keadaan yang diakibatkan oleh ketidak seimbangan pada beban artinya Ketidak seimbangan beban yang diatur pada transformator delta serupa(sama) dengan yang diatur / diberikan pada transformator delta, yang dilayani dengan sumber daya tiga fasa yang seimbang. Jika transformator delta dibebani tidak seimbang maka arus-arus fasanya akan tidak seimbang yang mengakibatkan tegangan sekundernya tidak seimbang. Perubahan besar tegangan V_{ab} dan V_{bc} ini seiring dengan masing-masing vektor dari emfnya yaitu $I_{ab} Z_h$ merupakan daya semu yang diserap oleh beban dan yang menghasilkan V'_{ab} dan V'_{bc} , diagram vektor arus dan tegangannya seperti pada gambar 3, yang ditunjukkan pada halaman berikutnya. Uraian hubungan dari Vektor arus dan tegangan sebagai berikut [4] :

- $$V'_{ab} = V_{ab} - I_{ab} \cdot Z_{sh}$$

$$I_{ab} = \frac{V_{ab} - V'_{ab}}{Z_{sh}}$$

$$I_{ab} = \frac{V_{ab} - V'_{ab}}{X \cdot r}$$

$$V_{ab} = I_{ab} \cdot r \cdot X + V'_{ab}$$

$$I_{ab} = \frac{V_{ab} - V'_{ab}}{Z_{sh}}$$
- $$V'_{bc} = V_{bc} - I_{bc} \cdot Z_{sh}$$

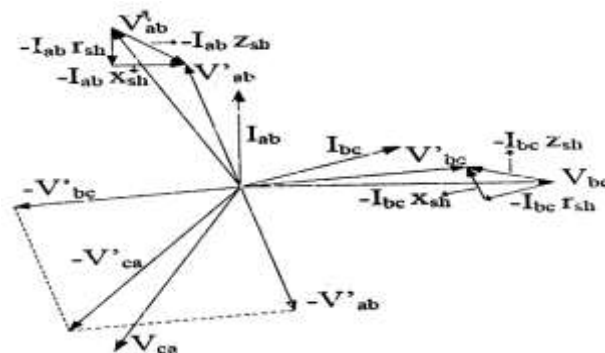
$$I_{bc} = \frac{V_{bc} - V'_{bc}}{Z_{sh}}$$

$$I_{bc} = \frac{V_{bc} - V'_{bc}}{X \cdot r}$$

$$V_{bc} = I_{bc} \cdot r \cdot X + V'_{bc}$$

$$I_{bc} = \frac{V_{bc} - V'_{bc}}{Z_{sh}}$$
- $$V'_{ca} = -V'_{bc} + (-V'_{ab})$$

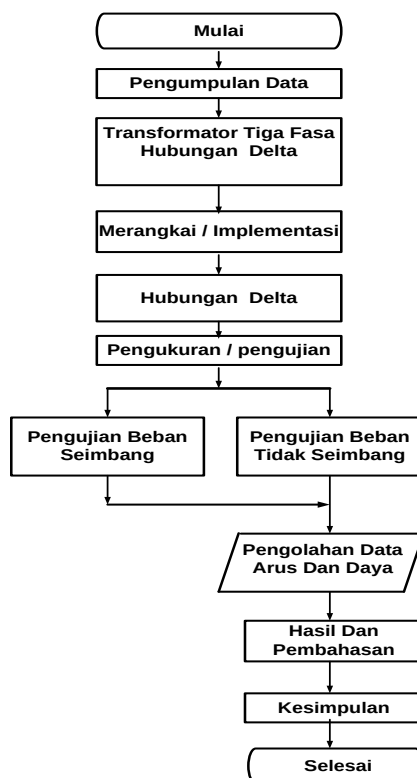
$$-V'_{ca} = -V_{bc} - V_{ab}$$



Gambar 3. Diagram vektor arus dan tegangan transformator delta pada keadaan tidak seimbang

III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian/ pengukuran dan analisis yaitu melakukan pengujian di laboratorium untuk memperoleh data pengujian. Langkah-langkah metodologi penelitian yang akan dilakukan dalam proposal tesis ini ditunjukkan dalam diagram alir (flow chart) pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Metodologi Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Name Plate Transformator Tiga Fasa Hubungan Open Delta Dan Delta

Adapun data Name Plate yang tertera di badan transformator tiga fasa adalah sebagai berikut :

kapasitas Transformator	: 2100 VA
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan sisi primer	: 50- 64 Volt
Arus sisi primer	: 22 Amper
Tegangan sisi sekunder	: 110 – 220 Volt
Arus sisi sekunder	: 10 Amper

4.2 Menentukan Nilai Rata-Rata Arus Beban tidak seimbang Tiap Fasa Pada Trafo Delta

Adapun rangkaian dari trafo open Sedangkan untuk hubungan Delta diperoleh :

Kapasitas Trnsformator : $2100 \times 1 = 2100$ vA, 50 Hz

Tegangan sisi primer / sekunder : 55 / 220 Volt

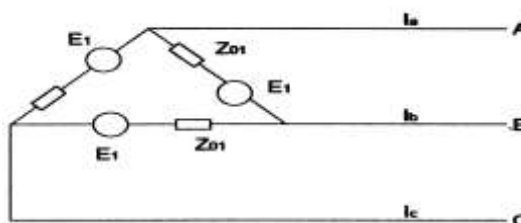
Arus sisi primer :

$$I_p = \frac{2100}{\sqrt{3} \times 55} = \frac{2100}{95,26} = 22 \text{ A}$$

Arus sisi sekunder :

$$I_s = \frac{2100}{\sqrt{3} \times 220} = \frac{2100}{380} = 5,3 \text{ A}$$

Hubungan delta ini juga mempunyai tiga buah belitan dan masing-masing memiliki rating yang sama, seperti pada Gambar 5. berikut ini.



Gambar 5. Trafo Hubungan Delta

Menurut Panjaitan R. (1989) menjelaskan bahwa dari gambar diatas dapat kita ketahui sebagai berikut.

$$I_A = I_L \neq I_{ph} \text{ (ampere)}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph} \text{ (ampere)}$$

Dimana : I_L = Arus line/ Arus jala-jala

$$I_{ph} = I_f = \text{Arus fasa}$$

Dan,

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \text{ (volt)}$$

$$V_{L-L} = V_{ph} = V_f = E_1 \text{ (volt)}$$

Dimana :

$$V_{L-L} = \text{Tegangan fasa ke fasa}$$

$$V_{ph} = V_f = \text{Tegangan fasa ke netral}$$

4.3 Pengukuran Dan Analisis Transformator Tiga Fasa Hubungan Delta Pada Keadaan Berbeban

Berikut ini adalah data pengukuran berbeban tidak seimbang, dengan 2 fasa seimbang sedangkan fasa lain tidak dibebani, pada trafo hubungan delta dengan engaturan $V_1 = 55$ Volt.

TABEL 1
DATA PENGUKURAN DENGAN 2 FASA SEIMBANG

No	Arus Primer (Amp)			Daya Input (Watt)			Vout (Volt)	Arus Sekunder (Amp)			Daya Keluaran (Watt)		
	I_1	I_2	I_3	P_1	P_2	P_3	V_2	I_4	I_5	I_6	P_4	P_5	P_6
1	17,2	19,1	17,3	665	738	669	190,75	8	8	0	983	983	0
2	19,2	17,2	17,3	741	664	667	190,35	8	0	8	981	0	981
3	17,3	19,3	17,2	667	743	662	190,55	0	8	8	0	982	982

Analisis data pengukuran berbeban tidak seimbang, dengan 2 fasa seimbang sedangkan fasa lain tidak dibebani, pada trafo hubungan delta.

untuk No. 1 :

P input total :

$$P_{in} = P_1 + P_2 + P_3 \\ = 665 + 738 + 669 = 2072 \text{ watt}$$

P output total:

$$P_{out} = P_4 + P_5 + P_6 \\ = 983 + 983 + 0 = 1966 \text{ watt}$$

Rugi-rugi transformator :

$$\text{Loses} = P_{in} - P_{out} \\ = 2072 - 1966 = 106 \text{ watt}$$

Efisiensi transformator :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{1966}{2072} \times 100 = 94,88 \% \text{ Sedangkan rata-rata arus beban adalah:}$$

- Untuk arus-arus fasa beban tidak seimbang = (8, 8, 0)

Dengan $I = 4$ amper = arus fasa rata-rata / arus fasa dalam keadaan berbeban seimbang.

$$I_{AB} = a \times I, \text{ maka } a = 2$$

$$I_{BC} = b \times I, \text{ maka } b = 2$$

$$I_{CA} = c \times I, \text{ maka } c = 0$$

Sehingga rata-rata arus adalah :

$$= \frac{\{2-1 \mid + \mid 2-1 \mid + \mid 0-1 \mid\}}{3} \times 100 \% = \frac{3}{3} = 1 \times 100 = 100 \% \text{ Dengan cara yang sama, data selanjutnya dapat ditentukan sehingga}$$

diperoleh tabel hasil analisis data :

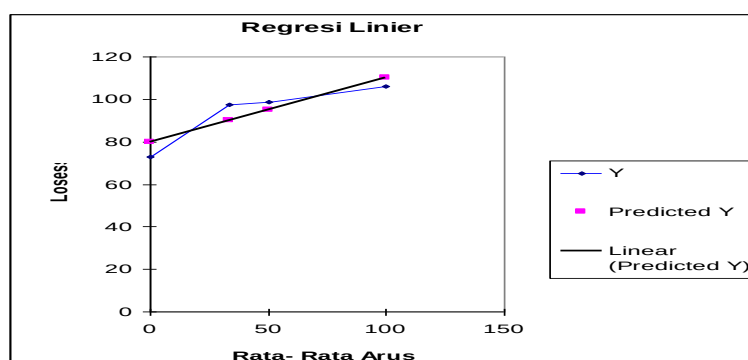
TABEL 2
HASIL ANALISA DATA PENGUKURAN DENGAN 2 FASA SEIMBANG

No	Daya Input (watt)	Daya output (watt)	Loses (watt)	Efisiensi (%)
1	2072	1966	106	94,88
2	2072	1962	110	94,69
3	2072	1964	108	94,78

TABEL 3
HASIL ANALISIS DATA RATA-RATA ARUS BEBAN, PADA TRAFO HUBUNGAN DELTA

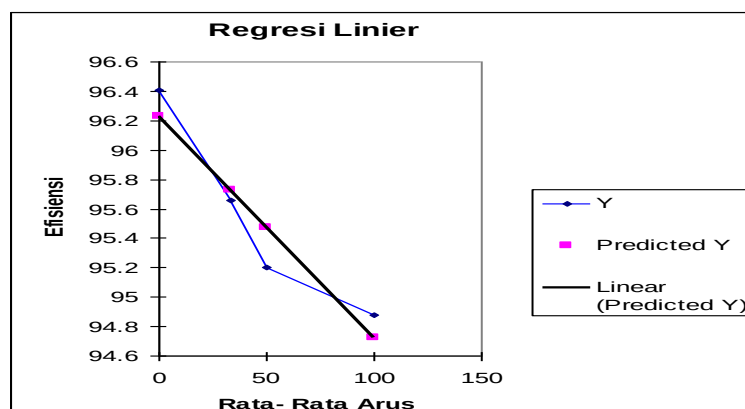
Rata-Rata Arus (%)	Loses (watt)	Efisiensi (%)
100	106	94,88
50	98,83	95,20
33,33	97,33	95,66
0	73	96,41

Dari tabel hasil analisis data pengukuran berbeban tidak seimbang, diperoleh unjuk kerja (karakteristik) hubungan antara rata-rata arus beban dengan loses, pada trafo tiga fasa hubungan delta, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, berikut ini:



Gambar 6. Karakteristik hubungan antara rata-rata arus beban dengan loses

Selain itu, dari tabel hasil analisis data pengukuran berbeban tidak seimbang, diperoleh unjuk kerja (karakteristik) hubungan antara rata-rata arus beban dengan efisiensi, pada trafo tiga fasa hubungan delta, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini :



Gambar 7. Karakteristik hubungan antara rata-rata arus beban dengan efisiensi

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kajian unjuk kerja (hasil keluaran) berdasarkan analisis data yang diperoleh dari percobaan trafo delta menunjukkan bahwa rata-rata arus beban perfasa pada trafo delta sebesar 100% dari kapasitas daya aktif yang digunakan.
2. Unjuk kerja yang dimiliki beban seimbang tidak sama besar dengan unjuk kerja beban tidak seimbang pada trafo delta, saat dibebani beban seimbang dan beban tidak seimbang yang sama besar, hal ini disebabkan karena kenaikan arus pada setiap fasa beban tidak seimbang, sehingga terjadi kenaikan daya input yang diserap oleh beban tidak seimbang mengakibatkan rugi daya (loses) yang lebih besar dengan efisiensi yang mengecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soemarwanto dan Purnomo, H., Mesin Elektrik I, Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2000
- [2] Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, Bandung: Penerbit ITB, 1991
- [3] Michael, N., Teknologi Instalasi Listrik Jakarta: Penerbit Erlangga, 1999
- [4] William, D. Dan Stevenson, Jr., Analisis Sistem Tenaga Listrik, Jakarta: Erlangga, 1983