

STUDI EFISIENSI TRANSFORMATOR TIGA FASA

Oleh:

Janter Napitupulu ¹⁾

Demak Tinambunan ²⁾

Lego Sitinjak ³⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3)}

E- mail :

jantermh@gmail.com ¹⁾

demakeliezer@yahoo.com ²⁾

gajahtunggu@gmail.com ³⁾

ABSTRACT

The value of transformer losses will determine the efficiency of the 3Φ transformer. By experimenting on the $Y - Y$, $Y - \Delta$, $\Delta - Y$, $\Delta - \Delta$, it is known that the efficiency of the transformer in the unloaded and loaded state with testing time starting from 0 minutes, then every multiple of 5 minutes until the total time is 30 minutes.

Keywords: *Resistance, Transformer, Efficiency, Electrical Load*

ABSTRAK

Nilai rugi-rugi transformator akan menentukan efisiensi transformator 3Φ . Dengan melakukan percobaan pada hubungan $Y - Y$, $Y - \Delta$, $\Delta - Y$, $\Delta - \Delta$ diketahui efisiensi transformator pada keadaan tidak berbeban dan berbeban dengan waktu pengujian mulai dari 0 menit, kemudian setiap kelipatan 5 menit sampai waktu totalnya 30 menit.

Kata Kunci : *Tahanan, Transformator, Efisiensi, Beban Listrik*

PENDAHULUAN

Pada penyaluran energi listrik dibutuhkan manajemen energi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian listrik [1], termasuk pada pengoperasian peralatan listrik Transformator. Transformator adalah suatu alat elektromagnetik yang sederhana, andal dan efisiensi untuk mengubah tegangan arus bolak balik dari satu tingkat nilai tegangan ketingkat nilai tegangan yang lain.

Pada umumnya Transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari

besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu primer dan sekunder.

Dalam hal ini, pengaruh panas pada belitan transformator dengan cara menghitung tahanan, rugi-rugi daya dan efisiensi pada belita transformator untuk mengetahui bagaimana pengaruh panas dapat dilihat pada thermometer yang di hubungkan kebelitan primer maupun sekunder dengan terlebih dahulu mengatur waktu $\frac{1}{2}$ jam dengan melihat peningkatan panas yang di ukur thermometer setiap 5 menit. Pada umumnya kenaikan suhu thermometer

akan lebih cepat sewaktu transformator dibebani.

1. TINJAUAN PUSTAKA

Tranformator adalah suatu alat listrik (mesin listrik) yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari suatu ragkain listrik ke rangkain listrik yang lain, melalui gandengan magnet berdasarkan pada prinsip induktif elektromagnetik.



Gambar 1. Blok Diagram

Transformator

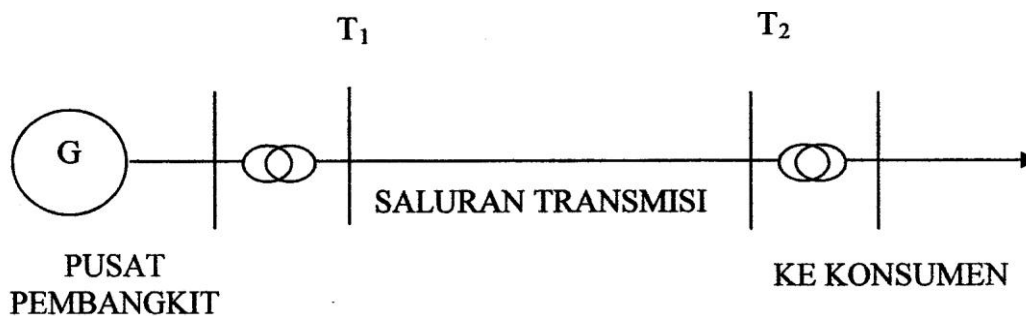
Ada beberapa alasan kegunaan transformator apabila tengangan atau arus transformator tersebut diubah, antar lain:

1. Digunakan untuk pengiriman tenaga listrik

Pegunaan terbesar dari transformator adalah pada sistem tenaga listrik, sebab dengan adanya transformator memungkinkan tenaga listrik dapat disalurkan ke tempat yang jauh.

Pada jarak yang jauh kerugian daya saluran tranmini (I^2R) adalah besar yang disebabkan adanya tahanan pada kawat penghantar, demikian juga halnya dengan kerugian tengangan (I^2z) yang juga besar.

Untuk memperkecil kerugian daya dan kerugian tengangan dibuat tegangan menjadi tinggi seshingga arus menjadi kecil. Apabila arus pada saluran transmisi kecil, maka rugi daya dan juga rugi tengangan juga kecil atau menurut nilainya.



Gambar 2. Diagram Segaris Sistem Tenaga Listik

Ket : T_1 = Transformator penaik tengangan (*step up*)

T_2 = Transformator penurun tengangan (*step up*)

2. Untuk menyesuaikan tengangan Transformator digunakan untuk menyesuaikan tengangan setempat dengan tengangan pada

peralatan listrik. Misalnya suatu mesin listrik dengan tengangan 220 volt, apabila ingin dipasang pada tempat

yang tegangan 127 volt, maka tegangan harus diturunkan menjadi 127 volt, dengan transformator.

3. Untuk mengadakan pengukuran dari besaran listrik

Apabila kita ingin mengukur tegangan tinggi misalnya 150 KV, maka penyesuaian tegangan melalui transformator dapat digunakan.

4. Untuk memisahkan rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain

Transformator digunakan untuk memisahkan rangkaian yang lain berbahaya ke rangkaian yang tidak berbahaya, misalnya pada rele pengaman.

5. Untuk memberikan tenaga pada alat tertentu

Transformtor diperlukan pada pengoperasian radio, televisi dan sebagainya.

Hukum –Hukum Dasar

Transformator:- Hukum Maxwell

$$N = HI$$

dimana :

N = Jumlah lilitan

I = Arus listrik (A)

H = Kuat medan magnet

l = Panjang jalur

Nl = adalah merupakan Gaya gerak Magnet (GGM) yang merupakan penghasilan flux.

Kuat medan menghasilkan garis Flux yang kerapatannya adalah :

$$B = \mu H$$

Dimana :

B= Kerapatan flux dalam weber/meter²

μ = Permeabilitas dalam weber/ampere turn

Hukum Induksi Faraday

Hukum induksi yang digunakan pada prinsip kerja transformator adalah hukum induksi Faraday.

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

dimana :

E = Gaya gerak listrik (ggl) dalam volt

N= Jumlah lilitan

Φ = Flux dalam weber

Dt= unsur waktu

- = Arah tegangan terinduksi berlawanan dengan tegangan sumber yang membangkitkannya.

Prinsip Dasar Transformator

Dalam menganalisa prinsip kerja dan transformator dan untuk mempermudah untuk menjelaskan kejadian – kejadian dalam transformator, maka transformator dianggap sebagai transformator ideal, dengan beberapa pengertian sebagai berikut :

1. Tahanan kumparan tembaga diabaikan.
2. Flux yang dihasilkan kumparan primer seluruhnya akan melingkupi pada kumparan sekunder atau dapat dikatakan tidak terdapat kebocoran flux.
3. Rugi-rugi inti (rugi-rugi hysteresis dan rugi-rugi arus Eddy) diabaikan.
4. Inti mempunyai permeabilitas magnet yang konstan (tidak terdapat kejenuhan inti besi).

Menghasilkan :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Dimana :

a = Angka transformasi

Atau $\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} = 4,44 f \Phi_m$

Jadi harga efektif tegangan terinduksi tiap lilitan primer adalah sama dengan harga efektif tegangan terinduksi tiap lilitan sekunder jika transformator dianggap ideal.

Catatan :

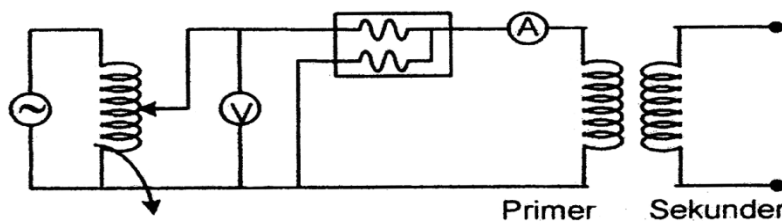
$a < 1$, Transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan

$a > 1$, Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan

Penentuan –Penentuan Rugi-Rugi Transformator:-

Tes Hubungan Terbuka

Tes hubungan terbuka dipakai untuk mencari rugi-rugi besi (rugi-rugi inti) pada transformator.



Gambar 3. Diagram Rangkaian Pengukuran T anpa Beban

Terlihat pada diagram di atas bahwa pada sisi sekunder dalam keadaan terbuka (tanpa beban) dan sisi primer diberi sumber tegangan melalui pengatur tegangan. Sumber tegangan diatur sampai mencapai harga nominal dari tegangan sisi TR. Arus tanpa beban I_0 adalah relative kecil yaitu 2 s/d 6% dari arus nominalnya, sehingga tegangan jatuh sisi primer dapat diabaikan yang menyebabkan penunjukkan oleh Wattmeter sama dengan besarnya kerugian inti transformator.

Dari hasil pengukuran Voltmeter, Amperemeter dan Wattmeter didapat sebagai berikut:

V_1 = Tegangan nominal sisi Primer

I_0 = Arus tanpa beban

P_C = Kerugian inti

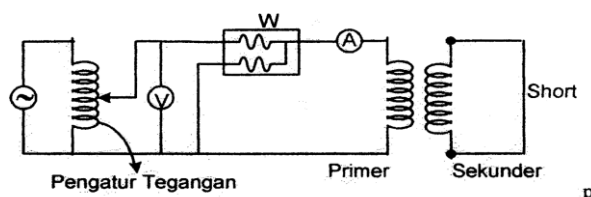
Maka $P_c = V_1 I_0 \cos \phi$

Factor daya tanpa beban adalah:

$$\cos \Theta_0 = \frac{P_c}{V_1 I_0}$$

Pengukuran Hubungan Singkat

Pengukuran hubungan singkat pada sisi sekunder dihubungkan singkat dan sisi primer dihubungkan dengan sumber tegangan melalui pengatur tegangan dapat digunakan untuk mencari rugi-rugi tembaga.



Gambar 4. Pengukuran Hubung Singkat

Sumber tegangan diatur sampai arus pada sisi primer mencapai arus nominal. Besarnya tegangan sisi primer relative kecil yaitu 2 s/d 12% dari tegangan nominal, sehingga arus I_0 akan relative lebih apabila dibandingkan dengan arus nominal, sehingga arus I_0 akan relative lebih kecil apabila dibandingkan dengan arus nominal, sehingga arus I_0 dapat diabaikan.

Penunjukan Wattmeter adalah rugi inti dan rugi tahanan kedua kumparan primer dan sekunder. Karena rugi inti umumnya kecil pada tegangan nominal, sehingga dianggap penunjukan Wattmeter hanya menunjukkan rugi tahanan kedua lilitan.

Dari hasil pengukuran Voltmeter, Amperemeter dan Wattmeter adalah sebagai berikut :

V_{sc} = Tegangan sisi primer agar arus mencapai harga nominal

I_{sc} = Arus nominal sisi primer

P_{sc} = Rugi tahanan kedua kumparan primer dan sekunder

$$R_e = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$Z_e = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2}$$

Rugi-Rugi Transformator dan Efisiensi

Rugi-Rugi Transformator

Rugi-rugi transformator terdiri dari :

1. Rugitembaga
2. Rugi inti

Table 1. Penetapan Skala Beberapa Jenis Termometer

Jenis Termometer	Celcius	Reamur	Fahrenheit	Kelvin
Titik Didih Air	100 ⁰	80 ⁰	212 ⁰	373

- a. Rugi Hysteresisi
 - b. Rugi arus Eddy
3. Rugi arus pusar dalam tembaga (rugi tambahan)

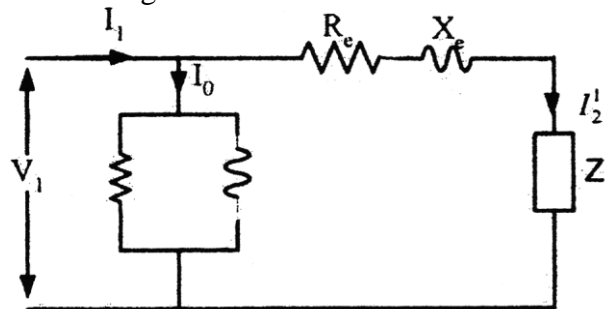
Efisiensi

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya keluar (P_{out}) dengan daya masuk (P_{in}).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Rugi-rugi}}$$

$$\eta = \frac{P_{in} - \text{Rugi-rugi}}{P_{in}}$$

Perhitungan efisiensi maksimum



Gambar 5. Rangkaian Pengganti Pendekatan Perhitungan Efisiensi Maksimum

$$P_{in} = V_1 I_1 \cos \phi_1$$

$$P_e = P_h + P_c$$

$$P_{cu} = (I_2^1)^2 \cdot R_e = (I_2^1)^2 \cdot R_e$$

Dimana :

P_e = Rugi inti

P_{cu} = Rugi Tembaga total

Skala Temperatur

Penetapan skala beberapa jenis thermometer ditunjukkan pada Table 1. di bawah ini :

Titik Lebur	0 ⁰	0 ⁰	32 ⁰	273
Jumlah Skala	100 ⁰	80 ⁰	180 ⁰	100

Dari table 1. terlihat bahwa 100⁰skala Celcius = 80⁰skala Reamur = 180⁰skala Fahrenheit = 100 skala Kelvin.

Dengan demikian rumus – rumus konversi dari thermometer di atas adalah sebagai berikut :

- a) Konversi Celcius ke Reamur dan sebaliknya

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{4} t^{\circ}\text{R}$$

- b) Konversi Celcius ke Fahrenheit dan sebaliknya

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} t^{\circ}\text{F}$$

- c) Konversi Celcius ke Kelvin dan Sebaliknya

$$t^{\circ}\text{C} = t^{\circ}\text{K} - 273$$

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Transformator:-

Teori Perhitungan:-

Menghitung Perubahan Tahanan Tembaga Pada Temperatur,

Tahanan kawat berubah oleh temperature. Dalam panas temperature (C) untuk kawat tembaga dan aluminium berlaku rumor :

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t (T_2 - T_1)]$$

dimana :

R_t =Tahanan pada temperature setelah dioperasikan

R_0 =Tahanan temperature sebelum dioperasikan

αt =Koetisien temperature dari tahanan

Untuk tembaga (Cu) yang mempunyai konduktivitas 100%, koefisien temperature dari tahanan pada 20⁰C adalah :

$$\alpha_{20} = 0,00393$$

$$T_o = \left(\frac{1}{0,00393} \right) - 20 = 234,5$$

dimana,

T_1 dan T_2 adalah temperature (⁰C).

Menghitung Rugi-Rugi Total dan Efisiensi.

Rugi-rugi Tembaga

Rugi-rugi tembaga lebih mudah menghitungnya pada beban penuh dengan hal yang pertama dicari adalah tahanan R perfase, dimana untuk mendapatkan nilai R harus dicari dulu perbandingan transformatornya.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \alpha$$

$$\text{Sehingga } \alpha = \frac{V_1}{V_2} =$$

Tegangan sekunder perfase

Tegangan primer perfase

Kemudian nilai R perfase dapat diketahui melalui rumor :

$$R = R_2 + \alpha^2 R_1$$

Dimana,

R_2 =Nilai tahanan sisi primer transformator (nilainya diketahui melalui percobaan)

R_1 =Nilai tahanan sisi sekunder transformator (nilainya diketahui melalui percobaan)

Jika nilai R_2 dihubungkan dengan suhu maka, jika R_2 adalah R_{t1} maka R_2 akan didapat melalui rumus :

$$R_{t2} = R_{t1} \left(\frac{t_2 + 234,5}{t_1 + 234,5} \right)$$

Selanjutnya dicari arus tiap fasa sisi sekunder, dimana untuk mencari arus ini harus diperhatikan hubungan sisi sekunder transformator tersebut.

Bila hubungan transformatornya bintang, maka $I_2 = I_{line} / \sqrt{3}$

Bila hubungan transformatornya bintang, maka $I_2 = I_{line}$

Selanjutnya yang dihitung adalah :

Rugi tembaga 50% (1/2 beban penuh) = $(1/2)^2 \times P_{cu}$ beban penuh.

Rugi tembaga 70% (0,7 beban penuh) = $(0,7)^2 \times P_{cu}$ beban penuh.

Efisiensi

Efisiensi dapat dihitung melalui rumus :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Daya keluar}}{\text{Daya masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya keluar} + \sum \text{rugi}} \text{ Ohm} \\ &= 1 - \frac{\sum \text{rugi}}{\text{daya masuk}} \\ &= 1 - \frac{\sum \text{rugi}}{V_2 I_2 \cos \phi + \sum \text{rugi}} \end{aligned}$$

Dimana, $\sum \text{rugi} = P_{cu} + P_i$

Analisa Perhitungan Beban Nol

Tabel 2. Hasil Percobaan Beban Nol hubungan Y – Y

V ₁ Volt	I ₁ Ampere	P ₁ Ohm	R ₁ Volt	V ₂ Volt	I ₂ Amper	P ₂ Watt	R ₂ Ohm	T °C	t Menit
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	34	0
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	34,4	5
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	35	10
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	35,2	15
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	35,7	20
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	35,9	25
380	0,043	20	0,15	224	0	0	0	36,2	30

Catatan : semua percobaan tidak berbeda dilakukan dengan pemanasan Transformator selama 30 menit.

Hasil Perhitungan Beban Nol Hubungan Y-Y

Nilai perbandingan transformatornya yaitu :

$$a = \frac{V_1 / \text{fasa}}{V_2 / \text{fasa}} = \frac{380 / \sqrt{3}}{224 / \sqrt{3}} = 1,69$$

$\frac{R_{12}}{R_{t1}} = \frac{t_2 + 234,5}{t_1 + 234,5}$ akan didapatkan nilai

R_{tp} dengan menganggap

$R_{t1} = R_1$ dan $R_{t2} = R_{tp}$, maka

$$R_{tp} = R_1 \left(\frac{t_2 + 235,5}{t_1 + 234,5} \right) =$$

$$1,69 \left(\frac{34 + 234,5}{34 + 234,5} \right) = 1,69$$

Begitu juga untuk bagian sekundernya untuk mendapatkan nilai R_{ts} maka dianggap,

$$R_{t1} = R_2 \text{ dan } R_{t2} = R_{ts} = R_2 \left(\frac{t_2 + 234,5}{t_1 + 234,5} \right)$$

Kemudian untuk mencari rugi-rugi transformatornya dalam keadaan tidak berbeban sama dengan penunjukan Wattmeter pada sisi primer, dimana rugi yang dihasilkan adalah rugi inti (P_i).

Rugi-rugi transformatornya adalah 22 watt

Mencari tahanan R perfasa dapat dicari melalui rumus 4.6 :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Beban Nol Hubungan Y-Y

A	R_{tp} Ohm	R_{ts} Ohm	η %	R Fase	P_i Watt
1,69	0,150	0	0	0,428	18
1,69	0,150	0	0	0,428	18
1,69	0,150	0	0	0,428	18
1,69	0,150	0	0	0,428	18
1,69	0,150	0	0	0,428	18
1,69	0,151	0	0	0,431	18
1,69	0,151	0	0	0,431	18

Analisa Perhitungan Percobaan Berbeban

Pertama sekali mencari nilai perbandingan transformatornya :

$$\frac{\frac{V_1}{f_{asa}}}{\frac{V_2}{f_{asa}}} = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\frac{216}{\sqrt{3}}} = 1,75$$

Tahanan R perfasa = R_2 perfasa + a^2

$$\begin{aligned} R_1 \text{ perfasa} &= 0,365 + (1,75)^2 \cdot 0,873 \\ &= 3,038 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$R = R_2 + a^2 R_1$ dengan

R_2 = tahanan pada lilitan tegangan rendah perfasa (Ohm) yang bila telah dipengaruhi suhu menjadi R_{ts}

R_1 = tahanan pada lilitan tegangan rendah perfasa (Ohm) yang bila telah dipengaruhi suhu menjadi R_{tp} .

Sehingga, $R = R_{ts} + a^2 \cdot R_{tp}$

maka, $R = 0 + 1,69^2 \cdot 1,69 = 4,54$ ohm perfasa

untuk efisiensi transformator maka digunakan rumor 4.8 :

$$\eta = \frac{\text{Daya keluar}}{\text{Daya masuk}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan selanjutnya dapat

dilihat pada tabel 3. di bawah ini :

Nilai tahanan R perfasa setelah dipengaruhi suhu

$$\begin{aligned} R_{ts} &= R_2 \text{ perfasa} \left(\frac{t_2 + 234,5}{t_1 + 235,5} \right) = \\ &0,365 \left(\frac{31,5 + 234,5}{31 + 234,5} \right) = 0,365 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$R_{tp} = R_1 \text{ perfasa} \left(\frac{t_2 + 234,5}{t_1 + 234,5} \right) = 0,873$$

$$\left(\frac{31,5 + 234,5}{31 + 234,5} \right) = 0,873 \text{ Ohm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tahanan perfasa} &= R_{ts} + a^2 \cdot R_{tp} \\ &= 0,365 + (1,75)^2 \cdot 0,873 \\ &= 3,023 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Pada ½ beban penuh didapat $P_2 = 160$ watt, maka

Pada beban penuh $160 \times 2 = 320$ watt

$$\begin{aligned} \text{Sehingga rugi tembaga beban penuh} &= 3 \times (I_2 \text{ perfasa})^2 \times R \text{ perfasa} \\ &= 3 \times (0,39)^2 \times 3,023 \Omega \\ &= 1,378 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pada ½ beban penuh $= (0,5)^2 \times$ rugi tembaga beban penuh

$$\begin{aligned} &= (0,5)^2 \times 1,378 \\ &= 0,344 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Efisiensi didapat melalui rumus :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Daya Keluar}}{\text{Daya Keluar} + \sum \text{rugi}} = \\ \frac{160}{160 + 0,344} &= 0,9978 \end{aligned}$$

Atau 99,78%

3. SIMPULAN

Setelah dilakukan percobaan transformator $3\Phi, 750 \text{ VA}$, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada keadaan tidak berbeban, arus I_0 relative kecil sehingga tegangan jatuh sisi primer dapat diabaikan dan penunjuk Wattmeter adalah kerugian inti besi. Transformator tidak cepat naik suhunya karena Transformator belum dibebani sehingga rugi yang disebabkan adanya arus beban pada kawat tembaga dan tahanan kecil. Nilai tahanan awal pada beban nol akan semakin besar dengan naiknya suhu pada transformator.

2. Pada keadaan berbeban, rugi tembaga pada transformator sudah ada karena adanya arus beban yang mengalir pada tahanan kawat tembaga, dimana hal ini ditunjukkan pada perhitungan, demikian juga halnya semakin banyak beban terpasang, maka rugi-rugi tembaga semakin besar pula. Semakin tinggi suhu atau temperature maka tahanan tembaga semakin besar pula.

4. DAFTAR PUSTAKA

1. Janter N, et al ,” Models Of Electrical Power Management In Application Of Energy Conservation Based On The Environment.*Int. J. Adv. Res.* 6(3), 635-642, Article DOI:10.21474/IJAR01/6712.
2. Abdul Kadir, “Transformator”, Penerbit PT Elex Komputindo Kelompok – Gramedia Jakarta.
3. Drs. H.G Sihombing, 1980” Soal dan Penyelesaian Transformator”.
4. Drs. Sumanto, MA, “Teori Transformator”, Penerbit Andi Off Set Yogyakarta
5. Ir. B. RICSON SIMARMATA, 1993. “Transmisi Daya Listrik”. Penerbit Erlangga Jakarta.
6. Zuhail 1991”, Dasar Tenaga Listrik,” Penerbit ITB Bandung.