



**ANALISIS EFISIENSI TRAFU TOROID *STEP DOWN* DENGAN
MENGUNAKAN MATERIAL *CORE GRAIN ORIENTED SILICON
STEEL 0,23 (23PM85)* DAN SENG TALANG GALVALUM**

SKRIPSI

Oleh

Titik Nurhana

NIM 171910201019

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022



**ANALISIS EFISIENSI TRAFU TOROID *STEP DOWN* DENGAN
MENGUNAKAN MATERIAL *CORE GRAIN ORIENTED SILICON
STEEL 0,23 (23PM85)* DAN SENG TALANG GALVALUM**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana

Teknik

Oleh

Titik Nurhana

NIM 171910201019

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat serta karunianya sehingga laporan tugas akhir mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember dengan judul “Analisis Efisiensi Trafo Toroid *Step Down* Dengan Menggunakan Material *Core Grain Oriented Silicon Steel 0,23 (23PM85)* dan Seng Talang Galvalum” dapat selesai dengan baik. Sholawat dan salam tidak lupa selalu dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW . Dengan tulus ikhlas dan kerendaham hati, skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang;
2. Baginda Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri teladan bagi seluruh umat;
3. Kedua orang tua saya yang tercinta, Bapak Nardi dan Ibu Suryani yang telah banyak berkorban dan berusaha untuk membesarkan dan mendidik saya, serta kepada kakak-kakak saya Fitri susanti/ Agus Susilo sebagai suaminya , Icut Setiawan, dan Ashifa Qholbitul Latifah sebagai adek saya. Terimakasih atas kasih sayangnya kepada saya.
4. Diri Saya sendiri yang telah berjuang melawan malas.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Guido Dias Kalandro, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Anggota yang rela meluangkan waktu dan fikirannya guna memberikan bimbingan dan arahnya dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberi motivasi kepada saya selama ini.
7. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Ir. Satriyo Budi Utomo, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikann kritik dan masukan yang membangun dalam penyempurnaan penyusunan skripsi ini;
8. Guru SD, SMP, dan SMA serta seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah mendidik dan membeikan ilmu serta motivasinya kepada saya;
9. Almamater Universitas Jember yang saya banggakan;
10. Keluarga besar RESISTRO yang telah menemani, membantu dan memberi semangat dari awal menjadi mahasiswa;
11. Keluarga Jogja yang selama ini telah memberi motivasi dan semangatnya untuk menyelesaikan skripsi ini;
12. Semua pihak yang telah membantu saya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, saya ucapkan banyak terimakasih.

MOTTO

Tidak ada kata terlambat untuk memulai menciptakan kehidupan yang kamu inginkan

(Dawn Clark)

Ilmu adalah kehidupan bagi pikiran

(Abu Bakar)

Ilmu itu lebih baik dari kekayaan, karena kekayaan itu harus dijaga, sedangkan ilmu menjaga kamu

(Ali Bin Abi thalib)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Titik Nurhana

NIM : 171910201019

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Efisiensi Trafo Toroid *Step Down* Dengan Menggunakan Material *Core Grain Oriented Silicon Steel* 0,23 (23PM85) dan Seng Talang Galvalum” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus saya junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 14 Mei 2022

Yang menyatakan,



Titik Nurhana
NIM 171910201019

SKRIPSI

HALAMAN PEMBIMBING

**ANALISIS EFISIENSI TRAFU TOROID *STEP DOWN* DENGAN
MENGUNAKAN MATERIAL *CORE GRAIN ORIENTED SILICON
STEEL 0,23 (23PM85)* DAN SENG TALANG GALVALUM**



Oleh

Titik Nurhana

NIM 171910201019

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Guido Dias Kalandro, S.T., M.Eng

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Efisiensi Trafo Toroid *Step Down* dengan Menggunakan Material *Core Grain Oriented Silicon Steel 0,23 (23PM85)* dan Seng Talang Galvalum” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,



Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 197104022003121001

Guido Dias Kalandro, S.T., M.Eng.
NIP 760015734

Tim Penguji

Penguji 1,

Penguji 2,



Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 196104141989021001

Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.
NIP. 198501262008011002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Analisis Efisiensi Trafo Toroid *Step Down* Dengan Menggunakan Material *Core Grain Oriented Silicon Steel 0,23 (23PM85)* dan Seng Talang Galvalum

Titik Nurhana, 171910201019; 2022; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Transformator atau biasa dikenal dengan istilah trafo adalah perangkat elektromagnetik statis yang mentransfer energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit lainnya dengan induksi elektromagnetik tanpa perubahan frekuensi. Dalam bidang industri, trafo biasa digunakan untuk menaikkan tegangan (*step up*) dan menurunkan tegangan (*step down*).

Efisiensi trafo toroid dipengaruhi oleh jumlah lilitan dan material inti besi. Pada penelitian milik Joni Pranata telah membahas tentang pengaruh perbedaan jumlah lilitan sedangkan untuk penelitian ini membahas tentang pengaruh perbedaan material inti besi yang digunakan. Material yang dibandingkan adalah material dari *Grain Oriented Silicon Steel* dan seng talang galvalum.

Jenis trafo yang dipilih adalah trafo toroid *step down* 220 volt menjadi 110 volt dengan jumlah lilitan sebanyak 660 lilitan untuk primer dan 330 lilitan untuk bagian sekundernya. Ukuran kedua inti besi yang digunakan adalah tinggi 5 cm, diameter dalam 8 cm, dan diameter luar sebesar 15,3 cm.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban lampu pijar 110 volt 100 watt sebanyak 5 buah dengan parameter yang diamati adalah tegangan, arus, daya dan efisiensinya. Pengujian pertama yaitu dengan tanpa beban, beban 100 watt, 200 watt, 300 watt, 400 watt dan 500 watt. Pada pengujian dengan menggunakan beban 100 watt, trafo toroid material *Grain Oriented Silicon Steel* menghasilkan tegangan output sebesar 96,1 volt, arus 0,8 A, daya 76,88 watt dengan efisiensi 99%. Sedangkan pada trafo toroid material seng talang galvalum menghasilkan tegangan 99 volt, arus 0,73 A, Daya 72,27 watt dan efisiensi sebesar 61%. Sehingga jika dibandingkan, trafo toroid dengan material *Grain*

Oriented Silicon Steel memiliki besar tegangan yang lebih kecil dibandingkan dengan trafo toroid material seng talang, namun untuk arus, daya dan efisiensinya lebih besar.



DAFTAR ISI

COVER	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN.....	iv
Saya yang bertanda tangan dibawah ini :	iv
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Transformator	5
2.1.1 Prinsip Kerja Transformmator	6
2.1.2 Rangkaian Ekvivalen Transformator	6
2.2 Transformator Toroid.....	9
2.2.1 Konstruksi Transformator Toroid	10
2.2.1.1 Core	10
2.2.1.2 Kumparan	11
2.2.1.3 Isolator	13
2.2.2 Efisiensi dan Rugi-rugi Transformator Toroid.....	13
2.2.2.1 Rugi Inti (P_i).....	13
2.2.2.2 Rugi Tembaga (P_{cu})	14

2.2.2.3 Efisiensi	15
2.3 <i>Silicon Steel</i>	16
2.4 Seng Talang Galvalum.....	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Tahapan Penelitian	19
3.3 Alat dan Bahan.....	21
3.4 Perancangan Sistem.....	21
3.5 Perancangan Alat.....	22
3.6 Desain Alat.....	24
3.7 Metode Pengumpulan Data	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Rancang Bangun Trafo Toroid <i>Step Down</i>	26
4.2 Pengujian Trafo Toroid <i>Step Down</i> Menggunakan Material Inti Besi <i>Grain Oriented Silicon Steel (23PM85)</i>	28
4.3 Pengujian Trafo Toroid <i>Step Down</i> Menggunakan Material Inti Besi Seng Talang Galvalum.....	38
BAB 5 PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Gambar Transformator6

Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Transformator6

Gambar 2. 3 Rangkaian Ekvivalen Transformator7

Gambar 2. 4 Keadaan Transformator Tanpa Beban (a) Vektor Transformator Tanpa Beban8

Gambar 2. 5 Contoh Core Transformator Toroid10

Gambar 2. 6 Diagram Blok Rugi-rugi Transformator13

Gambar 2. 7 Contoh *Silicon Steel*16

Gambar 2. 8 Contoh Seng Talang Galvalum17

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian19

Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Sistem.....22

Gambar 3. 3 Desain Transformator Toroid.....24

Gambar 4. 1 inti besi seng talang galvalum26

Gambar 4. 2 Lilitan primer trafo toroid27

Gambar 4. 3 trafo toroid menggunakan material seng talang galvalum dan *grain oriented silicon steel*28

Gambar 4. 4 Pengujian trafo toroid dengan variasi beban.....29

Gambar 4. 5 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* tanpa beban31

Gambar 4. 6 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 100 watt32

Gambar 4. 7 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 200 watt33

Gambar 4. 8 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 300 watt34

Gambar 4. 9 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 400 watt34

Gambar 4. 10 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 500 watt35

Gambar 4. 11 grafik tegangan output trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban.....36

Gambar 4. 12 grafik arus output trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban37

Gambar 4. 13 grafik daya output trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban37

Gambar 4. 14 grafik efisiensi trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban38

Gambar 4. 15 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum tanpa beban41

Gambar 4. 16 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 100 watt	41
Gambar 4. 17 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 200 watt	42
Gambar 4. 18 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 300 watt	43
Gambar 4. 19 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 400 watt	43
Gambar 4. 20 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 500 watt	44
Gambar 4. 21 grafik tegangan output trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban	45
Gambar 4. 22 grafik arus output trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban	45
Gambar 4. 23 grafik daya output trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban	46
Gambar 4. 24 grafik efisiensi trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban	46
Gambar 4. 25 grafik perbandingan efisiensi trafo toroid material <i>grain oriented silicon steel</i> dan seng talang galvalum	48

DAFTAR TABEL

tabel 4. 1 data hasil pengujian trafo toroid material <i>grain oriented silicon steel</i> dengan variasi beban.....	31
tabel 4. 2 data hasil pengujian trafo toroid material seng talang galvalum dengan variasi beban	40
tabel 4. 3 perbandingan efisiensi trafo toroid material <i>grain oriented silicon steel</i> dan seng talang galvalum.....	47



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator atau biasa dikenal dengan istilah trafo adalah perangkat elektromagnetik statis yang mentransfer energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit lainnya dengan induksi elektromagnetik tanpa perubahan frekuensi. Dalam bidang industri, trafo biasa digunakan untuk menaikkan tegangan (*step up*) dan menurunkan tegangan (*step down*).

Faktor utama yang mempengaruhi besar kecilnya efisiensi trafo adalah faktor inti besi dan faktor lilitan. Menurut struktur intinya, trafo memiliki beberapa tipe seperti tipe toroid (donat), tipe R, Tipe EI, tipe CD, dan tipe kering kolom ganda. Inti tipe toroid memiliki kinerja elektromagnetik yang baik seperti kerapatan fluks magnet saturasi tinggi, induktansi primer yang tinggi, dan kapasitas daya magnetisasi unit yang besar. Hal ini membantu meningkatkan tingkat pemanfaatan dan area jendela berliku, mengurangi hambatan dan belokan arus searah, meningkatkan kapasitas kelebihan beban dan efisiensi trafo. Pada frekuensi menengah dan tinggi, trafo tipe ini tidak akan menimbulkan kebisingan karena ekspansi magnetik yang tidak dapat dicapai oleh trafo tipe EI, tipe kering, dan inti laminasi lainnya.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan transformator toroid, salah satunya yaitu pada tahun 2018, Harshit R. Sawant melakukan penelitian dengan judul "*Analysis and Design of Toroidal Transformer*". Transformator yang dirancang adalah jenis trafo *step down* dengan memperhitungkan *chopper loss*. Material yang digunakan adalah M-15 *Steel* yang disimulasikan dengan *software* FEMM untuk mengetahui parameter trafo sebelum melakukan rancang bangun. Pada tahun yang sama, Kunal Chakraborty juga melakukan penelitian yang berjudul "*Comparative Study of Transformer Core Material*". Penelitian ini membahas tentang beberapa jenis material core trafo yang digunakan untuk mengetahui *core loss* berdasarkan *grade* dan ketebalan jenis material yang digunakan. Pada tahun 2019, Joni Pranata mahasiswa Teknik Elektro Universitas

Jember dengan penelitian berjudul “Analisis Efisiensi Trafo Toroid 5A Untuk Sistem Pengisi Baterai Pada Diameter Kawat Email Yang Berbeda”, penelitian ini berfokus pada rancang bangun trafo toroid dengan mengubah lilitan sekunder untuk mengetahui efisiensi yang terbaik.

Pada penelitian tugas akhir ini akan menjelaskan tentang bagaimana cara merancang trafo toroid dengan menggunakan material *core* yang berbeda untuk mengetahui efisiensi trafo yang lebih baik agar memudahkan orang lain dalam memilih material *core* sebelum merancang sebuah trafo. Jenis trafo yang digunakan pada penelitian ini adalah trafo *step down* dengan menggunakan material *grain oriented silicon steel* (23PM85) dan seng talang galvalum. Kedua material tersebut adalah material yang mudah didapat di Indonesia. Kedua material dililit dengan menggunakan diameter kawat email dan jumlah lilitan yang sama yaitu dengan diameter kawat email 0.5mm sebanyak 660 lilitan untuk bagian primer dan diameter kawat email 1mm sebanyak 330 lilitan untuk bagian sekundernya. Untuk mengetahui masing-masing tegangan yang dihasilkan nantinya menggunakan sumber AC sebesar 220v dengan menggunakan variasi beban. Penelitian akhir ini berjudul “Analisis Efisiensi Trafo Toroid *Step Down* dengan Menggunakan Material *Core Grain Oriented Silicon Steel* 0,23 (23PM85) dan Seng Talang Galvalum”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, terdapat rumusan-rumusan masalah yang diselesaikan pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana perancangan trafo toroid *step down* dengan material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum?
2. Bagaimana cara membuat trafo toroid *step down* dari 220 volt menjadi 110 volt?
3. Bagaimana pengaruh material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum terhadap efisiensi trafo toroid?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang perlu dijelaskan, supaya pembahasan dari penelitian ini tidak meluas dan keluar dari poin-poin yang diharapkan, yaitu sebagai berikut :

1. Trafo yang digunakan adalah trafo jenis *step down*.
2. Material *core* yang digunakan adalah *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum.
3. Diameter kawat email yang digunakan adalah 0,5mm untuk lilitan primer dan 1mm untuk lilitan sekunder.
4. Lilitan yang digunakan adalah sama untuk masing-masing *core* yaitu 660 lilitan primer dan 330 lilitan sekunder.
5. Beban yang digunakan berupa lampu pijar 110 V.
6. Parameter yang diamati adalah tegangan input, tegangan output, daya output, dan efisiensi yang dihasilkan dari trafo toroid material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Untuk mengetahui bagaimana cara merancang trafo toroid *step down* dengan material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum.
2. Untuk mengetahui cara membuat trafo toroid *step down* dari 220 volt menjadi 110 volt.
3. Untuk mengetahui pengaruh material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum terhadap efisiensi trafo toroid.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, manfaat yang akan didapat adalah :

1. Mengetahui bagaimana cara merancang trafo toroid *step down* dengan material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum.

2. Dapat mengetahui cara membuat trafo toroid *step down* dari 220 volt menjadi 110 volt.
3. Mengetahui pengaruh material *grain oriented silicon steel* 0,23 (23PM85) dan seng talang galvalum terhadap efisiensi trafo toroid.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar, penyusunan tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut :

a. BAB 1 PENDAHULUAN

Hal ini membahas tentang latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan dan batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.

b. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang penjelasan kajian teoritis sebagai landasan dalam penelitian.

c. BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat dilakukannya penelitian serta metode yang digunakan dalam penelitian.

d. BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil dari penelitian yang berupa data dan analisis hasil penelitian.

e. BAB 5 PENUTUP

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian dan saran dari penulis.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

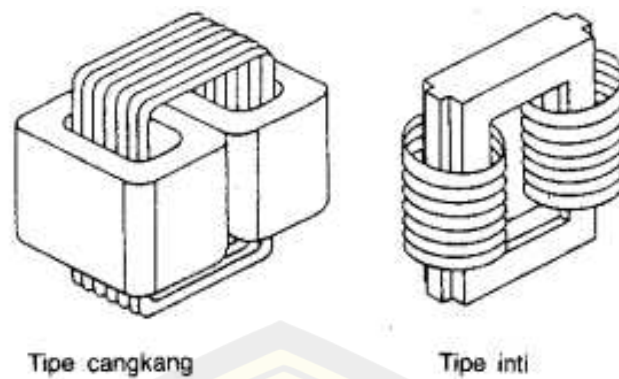
2.1 Transformator

Transformator atau biasa dikenal dengan istilah trafo adalah suatu alat listrik yang menggunakan medan magnet dan prinsip induksi elektromagnetik untuk mengubah dan mentransfer energi listrik dari satu rangkaian atau lebih ke rangkaian lainnya. Transformator biasanya terdiri dari dua atau lebih kumparan yang dililitkan di sekitar inti besi. Kumparan tidak terhubung langsung satu sama lain, tetapi fluks magnet di inti besi membuat mereka tetap terhubung.

Transformator dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain sebagai berikut.

1. Berdasarkan level tegangan transformator (Puntoko, 2008)
 - a. Transformator tegangan rendah (20kV/380V, 6kV/380V)
 - b. Transformator tegangan menengah (150/30kV, 150/20kV)
 - c. Transformator tegangan tinggi (500/150kV, 150/70kV)
2. Berdasarkan Fungsinya
 - a. Transformator pembangkit (*step up*)
 - b. Transformator distribusi (*step down*)
 - c. Transformator gardu induk (*step down*)
3. Berdasarkan penggunaannya
 - a. Transformator daya
 - b. Transformator distribusi
 - c. Transformator arus
 - d. Transformator tegangan

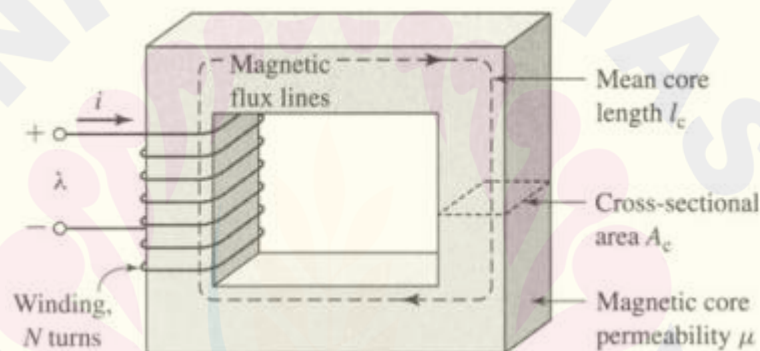
Selain itu, trafo juga dibedakan berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti yang biasa dikenal dengan transformator tipe inti dan tipe cangkang.



Gambar 2. 1 Contoh Gambar Transformator

(sumber : Zuhail,1988)

2.1.1 Prinsip Kerja Transformator



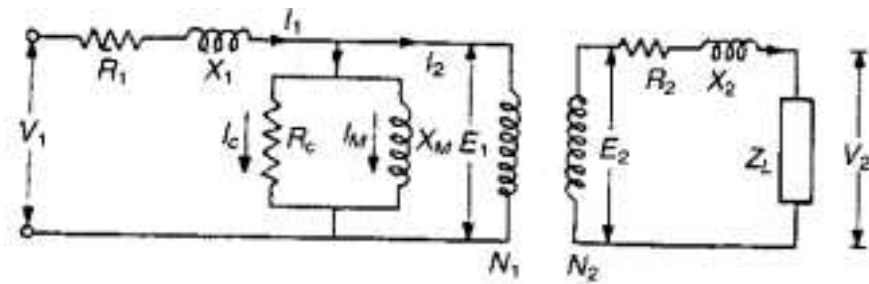
Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Transformator

(Sumber : Fitzgerald, 1981)

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan input AC melintasi primer menghasilkan fluks magnet, yang idealnya semuanya terhubung ke belitan sekunder. Fluks magnet bolak-balik menginduksi gaya gerak listrik pada belitan sekunder. Jika efisiensinya sempurna, semua daya belitan primer dipindahkan ke belitan sekunder.

2.1.2 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Untuk menganalisis kerja suatu trafo, diperlukan model rangkaian ekuivalen seperti gambar 2.3 Dari gambar dibawah, terdapat reaktansi X_1 dan X_2 yang menunjukkan bahwa adanya fluks bocor ϕ_1 dan ϕ_2 . Sedangkan R_1 dan R_2 menunjukkan rugi tahanan.



Gambar 2. 3 Rangkaian Ekivalen Transformator

(sumber : Zuhail,1988)

Berdasarkan rangkaian diatas, dapat rumus sebagai berikut.

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.1)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2 \quad (2.2)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.3)$$

Atau

$$E_1 = a E_2 \quad (2.4)$$

Sehingga

$$E_1 = a(I_2 Z_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2) \quad (2.5)$$

Karena

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_2 = a I'_2 \quad (2.6)$$

Maka

$$E_1 = a^2 I'_2 Z_L + a^2 I'_2 R_2 + a^2 I'_2 X_2 \quad (2.7)$$

Sehingga

$$E_1 = a^2 I'_2 Z_L + a^2 I'_2 R_2 + a^2 I'_2 X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.8)$$

Dengan penyederhanaan rangkaian, diperoleh :

$$R_{eq} = R_1 + (N_1/N_2)^2 \cdot R_2 \quad (2.9)$$

$$X_{eq} = X_1 + (N_1/N_2)^2 \cdot X_2 \quad (2.10)$$

Dimana

V_1 = Tegangan primer (V)

I_2 = Arus sekunder (A)

V_2 = Tegangan sekunder (V)

X_1 = Reaktansi primer (Ω)

E_1 = ggl primer (V)

X_2 = Reaktansi sekunder (Ω)

E_2 = ggl sekunder (V)

N_1 = Jumlah lilitan primer

R_1 = Hambatan primer (Ω)

N_2 = Jumlah lilitan sekunder

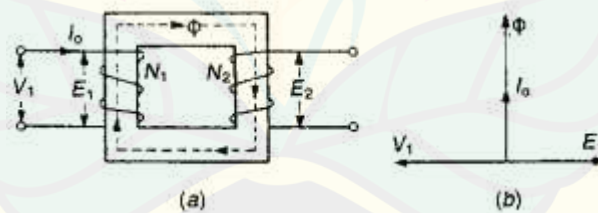
R_2 = Hambatan sekunder (Ω)

Z_L = Impedansi beban (Ω)

I_1 = Arus primer (A)

a = Konstanta

Selain rangkaian ekuivalen diatas, adapula keadaan transformator tanpa beban, yang dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. 4 Keadaan Transformator Tanpa Beban (a) Vektor Transformator Tanpa Beban

(sumber : Zuhail,1988)

Dari gambar tersebut, didapatkan persamaan :

$$\phi = \phi_{Max} \sin wt \quad (2.11)$$

Berdasarkan hukum faraday, fluks sinusoidal menghasilkan tegangan induksi e_1 yang dirumuskan :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.12)$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\phi_{Max} \sin \omega t)}{dt} \quad (2.13)$$

$$e_1 = -N_1 \omega \phi_{Max} \cos \omega t \quad (2.14)$$

Maka

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \phi_{Max}}{\sqrt{2}} = 4.44 N_1 f \phi_{Max} \quad (2.15)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.16)$$

$$e_2 = -N_2 \omega \phi_{Max} \cos \omega t \quad (2.17)$$

$$E_2 = 4.44 N_2 f \phi_{Max} \quad (2.18)$$

Sehingga

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.19)$$

Dengan mengabaikan rugi hambatan dan fluks bocor, didapat persamaan sebagai berikut.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.20)$$

Dimana : a adalah perbandingan trafo.

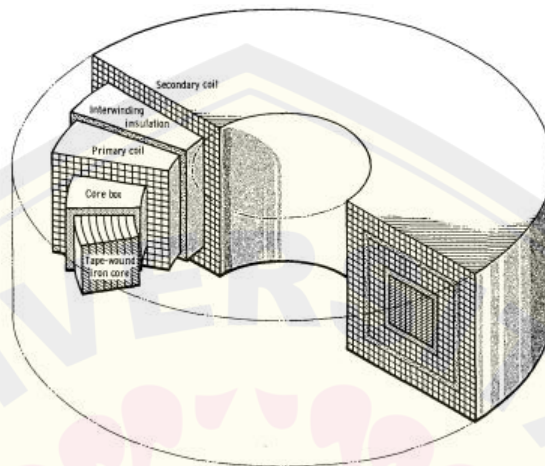
2.2 Transformator Toroid

Transformator toroid adalah sebuah transformator yang memiliki bentuk inti seperti donat atau bulat. Sebuah transformator Toroidal memberikan peningkatan fleksibilitas desain, efisiensi & desain yang ringkas jika dibandingkan untuk transformator tipe shell & core tradisional. Desain dari trafo toroidal paling efisien yang dapat dibangun memberikan frekuensi, peringkat volt ampere, kerapatan fluks magnet, jendela faktor pengisi dan bahan yang dapat digunakan. Desain yang paling efisien terjadi ketika kehilangan tembaga sama dengan 60%

kehilangan besi. Ketika kriteria ini diikuti efisiensi lebih tinggi (Harshit Sawant, 2018).

2.2.1 Konstruksi Transformator Toroid

2.2.1.1 Core



Gambar 2. 5 Contoh Core Transformator Toroid

(Sumber : James,1972)

Pada tahun 1880-an, transformator pertama kali dibuat dengan menggunakan besi tempa kualitas tinggi. Namun, pada tahun 1900 inti trafo mulai dibuat dengan menggunakan campuran aluminium atau silikon yang dipercaya dapat mengurangi rugi magnetik (Chakraborty, 2018). *Core* atau inti besi adalah komponen trafo yang digunakan untuk mempermudah jalannya fluks magnetik yang disebabkan oleh arus listrik dari kumparan. Inti besi ini dibuat dari lapisan lapisan besi tipis yang berisolasi untuk mengurangi rugi rugi inti besi. Semakin tipis lapisan plat yang digunakan, maka akan semakin bagus pula inti besi tersebut. Inti besi modern memiliki permeabilitas 1500 kali dibandingkan dengan udara. Inti besi dari trafo toroid berbentuk bulat, oleh sebab itu trafo ini juga biasa dikenal dengan trafo donat.

Luas dari *core* trafo toroid dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$A = \sqrt{Px1.1} \quad (2.21)$$

Dimana,

A = luas *core* trafo (cm^2)

P = daya maksimal trafo (watt)

1.1 = konstanta ketetapan *core* trafo

2.2.1.2 Kumparan

Kumparan trafo adalah kawat email yang dililitkan hingga menyerupai gulungan atau kumparan. Kumparan ini terdiri dari 2 jenis, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Fungsi dari kumparan ini adalah untuk mentransformasikan arus dan tegangan.

Dalam kumparan ini terdapat istilah yang disebut dengan GPV (gulungan per volt) yang digunakan untuk menentukan jumlah lilitan. Nilai GPV dapat dicari dengan cara sebagai berikut.

$$GPV = \frac{f}{A} \quad (2.22)$$

Dimana,

GPV = jumlah gulungan/lilitan per volt

f = frekuensi (Hz)

A = luas penampang *core* trafo toroid (cm^2)

Rumus dari luas penampang sendiri adalah

$$A = \left(\frac{R_2 - R_1}{2} \right) \times t \quad (2.23)$$

Dimana,

A = luas penampang *core* trafo toroid (cm^2)

R_2 = diameter luar *core* trafo (cm)

R_1 = diameter dalam *core* trafo (cm)

t = tinggi *core* trafo (cm)

Dengan adanya nilai dari GPV tersebut, dapat dicari jumlah lilitan dengan rumus sebagai berikut.

$$N = GPV \times V \tag{2.24}$$

Dimana,

N = jumlah lilitan

GPV = jumlah gulungan/lilitan per volt

V = tegangan (V)

Untuk trafo *step down* biasanya jumlah lilitan primer lebih banyak dibandingkan dengan jumlah lilitan sekunder, begitu juga sebaliknya untuk trafo *step up* dimana jumlah lilitan sekunder yang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah lilitan primernya. Selain itu, diameter kawat yang digunakan untuk lilitan primer akan lebih kecil dibandingkan dengan lilitan pada sekunder. Hal ini menyebabkan arus keluaran lebih besar dibandingkan arus input. Berikut gambar tabel diameter kawat dengan arus yang dihantarkan.

Tabel 2. 1 Kemampuan Hantar Arus Kawat Email

Conductor Size					Current Rating
A.W.G	C.M.A	Diameter (mm)	mm ²	Size	
#32	63	0.20	0.03	*	0.3A
#30	101	0.26	0.05	*	0.5A
#28	160	0.32	0.08	•	0.7A
#26	254	0.41	0.13	•	1.0A
#24	404	0.51	0.20	•	2.0A
#22	643	0.64	0.33	•	3.0A
#20	1,020	0.81	0.52	•	5.0A
#18	1,624	1.02	0.82	•	7.0A
#16	2,583	1.29	1.31	•	10.0A
#14	4,106	1.63	2.08	•	20.0A
#12	6,530	2.05	3.31	•	30.0A
#10	10,384	2.59	5.26	•	50.0A

2.2.1.3 Isolator

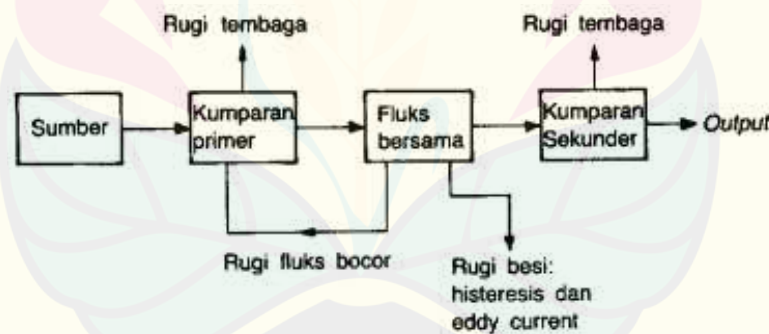
Isolator difungsikan sebagai pemisah antara penghantar listrik satu dengan penghantar listrik lainnya agar tidak ada loncatan listrik. Isolator tegangan tinggi dibagi menjadi 3 jenis, yaitu isolator solid (kertas, nilon, *flexyglass*), isolator cair (oli trafo, oli silikon), dan isolator gas (SF6 dan CO2+N20).

Ada beberapa hal tentang isolasi yang perlu diperhatikan sebelum merancang trafo frekuensi tinggi bertegangan tinggi, yaitu (Darsono, 2012) :

- a. Isolasi antara lilitan kabel, hal ini dikarenakan adanya *skin effect* yang menyebabkan arus mengalir di permukaan konduktor.
- b. Isolasi antar belitan.
- c. Isolasi antar kumparan primer dan sekunder.
- d. Isolasi kumparan dengan inti trafo.

2.2.2 Efisiensi dan Rugi-rugi Transformator Toroid

Rugi-rugi trafo biasanya akan menyebabkan panas dan membuat suhu naik, serta menurunkan efisiensi.



Gambar 2. 6 Diagram Blok Rugi-rugi Transformator

(sumber :Zuhal,1988)

2.2.2.1 Rugi Inti (P_i)

Rugi inti besi dibagi menjadi 2, yaitu

- a. Rugi histeresis, merupakan rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi. Rugi histeresis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_h = K_h f B_{Maks}^{1.6} \text{ watt} \tag{2.25}$$

Dimana,

P_h = rugi histeresis (w/kg)

K_h = konstanta

f = frekuensi (Hz)

B_{Maks} = fluks maksimum (weber)

- b. Rugi *eddy current*, merupakan rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi. Dengan menggunakan material yang semakin tipis itu akan membantu mengurangi besarnya *eddy current*. Laminasi besi yang digunakan biasanya antara 0,35-0,65mm pada 50 Hz. Untuk laminasi tipis pada 400 Hz menggunakan panduan khusus atau *grain oriented* berorientasi. Rugi *eddy current* dinyatakan sebagai berikut.

$$P_e = K_e f^2 B_{Maks}^2 \quad (2.26)$$

Dimana,

P_e = rugi *eddy current* (w/kg)

K_e = konstanta

f = frekuensi(Hz)

B_{Maks} = fluks maksimum (weber)

Sehingga, rugi inti besi adalah sebagai berikut.

$$P_i = P_h + P_e \quad (2.27)$$

2.2.2.2 Rugi Tembaga (P_{cu})

Rugi tembaga merupakan rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kawat tembaga. Besar rugi tembaga ini tidak konstan, hal ini karena arus yang mengalir pada beban juga berubah-ubah. Rugi tembaga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{cu} = I^2 R \quad (2.28)$$

Dimana,

P_{cu} = rugi tembaga (w)

I = arus (A)

R = hambatan atau beban (ohm)

2.2.2.3 Efisiensi

Transformator juga dibandingkan dan dinilai berdasarkan efisiensinya. Pada transformator daya besar biasanya akan menghasilkan efisiensi yang tinggi yaitu sebesar 99,5% untuk pengoperasian normal. Efisiensi tersebut didefinisikan oleh persamaan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.29)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Loss}} \times 100\% \quad (2.30)$$

Persamaan ini berlaku untuk motor dan generator serta transformator.

Rangkaian ekivalen transformator memudahkan perhitungan efisiensi. Di sana ada tiga jenis kerugian yang ada pada transformator:

1. *Chopper* (I^2R) *Losses*. Kerugian ini dicatat oleh resistansi seri di rangkaian ekivalen.
2. *Hysteresis Losses*, dikaitkan dengan penataan ulang domain magnetik di inti selama setiap setengah siklus. Mereka adalah fungsi nonlinier yang kompleks dari tegangan yang diterapkan pada transformator.
3. *Eddy Current Losses*, adalah rugi-rugi pemanasan resistif dalam inti dari transformator. Mereka sebanding dengan kuadrat dari tegangan yang diterapkan pada transformator.

Untuk menghitung efisiensi transformator pada beban yang diberikan, cukup tambahkan kerugian dari masing-masing resistor dan menerapkan Persamaan (2.32). Karena daya keluaran diberikan oleh

$$P_{out} = V_s I_s \cos \theta_s \quad (2.31)$$

Sehingga efisiensi transformator dapat dinyatakan dengan

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{Cu} + P_i + V_s I_s \cos \theta_s} \times 100\% \quad (2.32)$$

Dimana,

η = efisiensi trafo

P_{out} = daya output trafo (w)

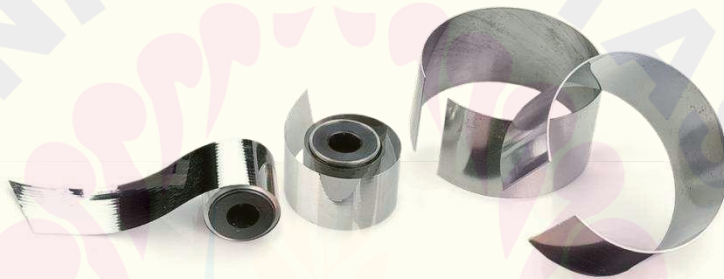
V_s = tegangan sekunder/output (V)

I_s = arus sekunder/output (A)

P_{Cu} = rugi tembaga (w)

P_i = rugi inti trafo (w/kg)

2.3 Silicon Steel



Gambar 2.7 Contoh *Silicon Steel*

(Sumber : Itaca)

Silicon Steel atau disebut baja listrik, adalah bahan magnet lunak paling populer di listrik industri tenaga listrik sebagai bahan inti mesin listrik. Baja silikon berorientasi biji-bijian terutama digunakan di bidang manufaktur inti transformator, yang menyediakan magnet yang diperlukan anisotropi dan kerugian terendah saat dimagnetisasi dalam penggulungan arah (K.G.Nilanga B. Abeywickrama, 2008).

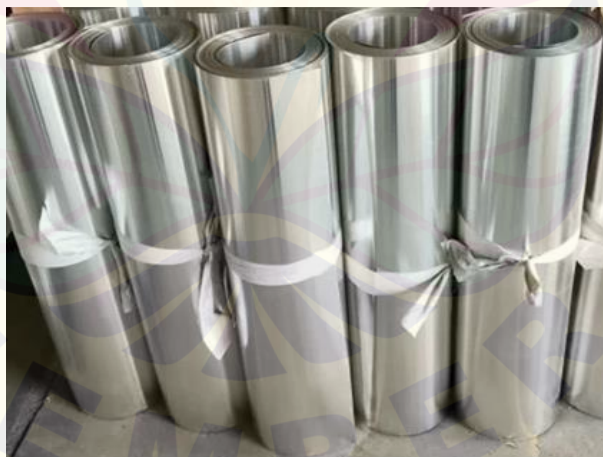
Rugi-rugi arus eddy semakin berkurang pada daya frekuensi (50/60 Hz) dengan menggunakan laminasi baja silikon. Laminasi biasanya diisolasi dengan bahan organik tipis atau pelapis permukaan anorganik untuk baja silikon non orientasi dan dengan lapisan fosfat untuk baja silikon berorientasi butir yang mencegah aliran arus antar laminasi. Laminasi biasanya diproduksi dalam strip

setebal 0,35–0,8 mm untuk grade yang tidak berorientasi dan tebal 0,23–0,35 mm untuk kemiringan berorientasi (Moses,1990).

Perbedaan utama antara *carbon steel* dan *grain oriented steel* adalah :

- a. Untuk mengurangi rugi histeresis, ukuran butir *grain oriented steel* sengaja dibesarkan dan dibuat 10 kali lebih besar dibandingkan dengan baja biasa, sehingga dapat mengurangi rugi histeresis.
- b. Butir *grain oriented steel* sejajar dengan arah penggulangan baja dan sudut missorientasi maksimal adalah 7% untuk GO konvensional dan kurang dari 3% untuk Hi-B GO, dengan demikian ini dapat mengurangi rugi histeresis secara drastis.
- c. Komposisi kimia baja GO menunjukkan bahwa 3,2% dari Silikon sebagai paduan, sehingga meningkatkan resistivitas baja, oleh karena itu arus eddy berkurang. Baja GO juga didekarbonisasi dan tidak lebih dari 0,06% karbon dalam komposisi kimianya. Ini mencegah penuaan baja.
- d. Untuk mengurangi kerugian arus Eddy antar-laminar, lapisan insulasi karlit khusus digunakan pada baja.

2.4 Seng Talang Galvalum



Gambar 2. 8 Contoh Seng Talang Galvalum
(Sumber : Hari Jaya)

Galvalum memiliki sejarah sebagai rangka atap konstruksi yang efektif dan ekonomis. Baja galvalum terdiri dari lapisan tipis seng dan alumunium yang terikat pada substrat baja. Kombinasi ini membuat bahan yang memiliki sifat

mekanik baja dan juga dengan ketahanan korosi seng dan alumunium. Lapisan galvalum telah terbukti kinerjanya di berbagai kondisi lingkungan. Ketahanan korosi lapisan seng ditentukan oleh ketebalan lapisan tetapi bervariasi dengan kondisi lingkungan. Prediksi usia lapisan penting untuk perencanaan dan pembiayaan yang dibutuhkan dalam pemeliharaan (Santoso, 2015).



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

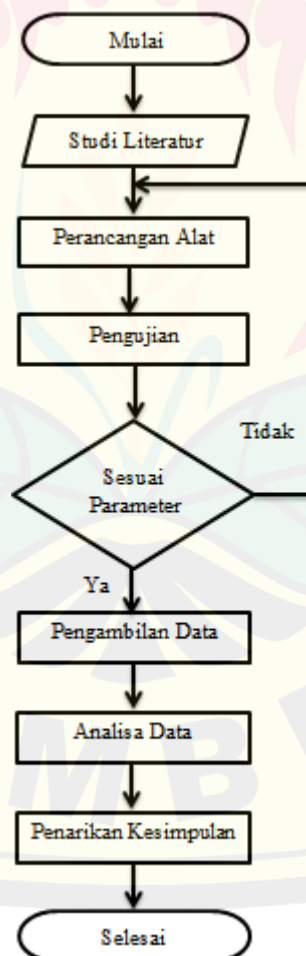
Adapun penelitian yang berjudul “Analisis Efisiensi Trafo *Step Down* dengan Menggunakan Material *Core Grain Oriented Silicon Steel* 0,23 (23PM85) dan Seng Talang Galvalum” ini dilaksanakan di :

Tempat : Jl. Asem 2 Blok C No.15, Rt.04/Rw.05, Klurak Baru, Boko Harjo, Prambanan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55572

Waktu : Maret 2022 – April 2022

3.2 Tahapan Penelitian

Adapun beberapa tahap dalam pelaksanaan perancangan transformator toroid sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

1. Studi Literatur dan Perumusan Masalah

Studi literasi merupakan tahap awal penelitian guna mendapatkan informasi mengenai topik yang akan diteliti. Informasi tersebut dapat diperoleh melalui buku, jurnal, artikel, karya ilmiah, *website*, atau dari sebuah forum dan sebagainya yang dapat menunjang penelitian sehingga dapat dilaksanakan lebih maksimal. Berdasarkan informasi-informasi tersebut, dapat dirumuskan beberapa masalah yang nantinya akan diselesaikan dalam penelitian tersebut.

2. Perancangan Desain Transformator Toroid

Tahap selanjutnya adalah perancangan Transformator Toroid, dimana pada tahap ini akan ditentukan konstruksi trafo seperti ukuran *core*, jumlah lilitan, material core, arus maksimal yang dihasilkan dan jenis trafo yang digunakan.

3. Pengujian dan Pengambilan Data

Tahap Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dari trafo serta kesesuaian antara performa dengan dasar teori yang sudah diperoleh dari studi literatur. Pengujian yang dilakukan yaitu memberi tegangan sumber 220v dan mengukur menggunakan alat ukur wattmeter untuk mengetahui daya, multimeter untuk mendapatkan nilai tegangan input, tegangan output, dan arus. Selain itu, pengujian juga menggunakan osiloskop untuk mengetahui gelombang yang dihasilkan. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pengujian pada trafo berbahan *silicon steel* dan pengujian pada trafo berbahan seng talang galvalum untuk mendapatkan nilai tegangan dan daya yang nantinya dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi dari masing-masing trafo.

4. Analisa dan Pembahasan

Tahap ini dilakukan setelah tahap pengujian dan pengambilan data. Data yang diperoleh akan dianalisa dan dibahas dengan lebih detail agar lebih mudah dipahami.

5. Membuat Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini adalah tahap penarikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, pembuatan saran juga diperlukan agar dapat memperbaiki serta mempermudah dalam penelitian selanjutnya.

3.3 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Alat

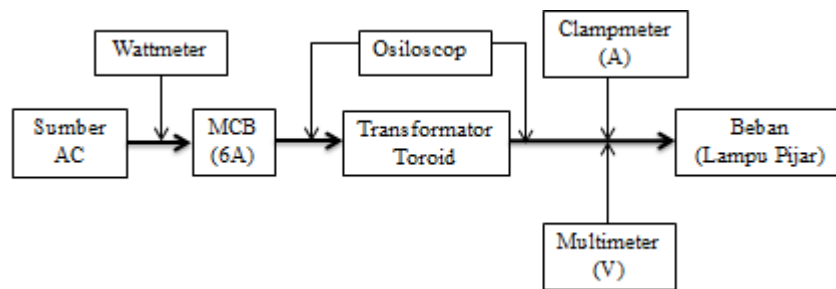
a. Cutter	1 buah
b. Alat bantu lilit	2 buah
c. Gunting Seng	1 buah
d. Multimeter	1 buah
e. Clampmeter	1 buah
f. Wattmeter	1 buah
g. Osiloskop	1 buah
h. MCB 10A	1 buah

2. bahan

a. Kern <i>silicon steel</i> (23PM85)	1 buah
b. Plat seng talang galvalum	5 meter
c. Kawat email 0.5 mm	1 kg
d. Kawat email 1 mm	1,5 kg
e. Kertas isolator	100 meter
f. Lampu Pijar 100 watt	5 buah
g. Kabel	secukupnya
i. Lem	2 buah

3.4 Perancangan Sistem

Penelitian yang menggunakan alat yang dibuat sendiri ini menggunakan material core yang berbeda yaitu dengan menggunakan *silicon steel* dan seng talang galvalum. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi trafo toroid yang lebih baik. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram blok berikut ini :



Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Sistem

- Sumber AC adalah Suplay arus tegangan dari sumber PLN 220 V
- Wattmeter digunakan untuk mengukur daya input, arus input, dan tegangan input.
- MCB 6A sebagai proteksi
- Osciloskop digunakan untuk mengetahui gelombang tegangan yang dihasilkan
- Multimeter adalah untuk mengukur tegangan output pada lilitan sekunder trafo toroid
- Clamp meter digunakan sebagai pengukur arus output trafo toroid
- Beban adalah sebagai parameter uji dengan menggunakan lampu pijar 100 watt sebanyak 5 buah

3.5 Perancangan Alat

Pada penelitian ini menggunakan trafo toroid yang dibuat sendiri sebagai objek penelitian dengan menggunakan material yang berbeda. Trafo yang dibuat adalah trafo toroid jenis *step down* sebanyak dua buah dengan material berupa *grain oriented silicon steel* (23PM85) dan seng talang galvalum. Untuk spesifikasi core nya yaitu menggunakan *core* dengan diameter dalam sebesar 8 cm, diameter luar sebesar 15.3 cm, dan tinggi nya sebesar 5 cm. Kawat email yang digunakan yaitu kawat berdiameter 0,5 mm untuk lilitan primernya dan 1 mm untuk lilitan sekundernya.

Sebelum perancangan alat, langkah yang harus dilakukan adalah menghitung luas *core*, nilai gulungan per volt, jumlah lilitan primer dan sekunder, panjang kawat primer dan sekunder dan berat kawat email yang akan digunakan.

Tahap awal adalah dengan menghitung luas inti dari trafo toroid yang dirumuskan sebagai berikut.

$$A = \left(\frac{Dl - Dd}{2} \right) \times t$$

$$A = \left(\frac{15,3 - 8}{2} \right) \times 5$$

$$A = 18,25 \text{ cm}^2$$

Selanjutnya adalah menghitung jumlah gulungan per volt (GPV) pada trafo toroid untuk mencari jumlah lilitan yang nantinya akan digunakan. Cara menghitungnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} GPV &= \frac{f}{A} \\ &= \frac{50}{18,25} \\ &= 2,739 \\ &= 3 \text{ GPV} \end{aligned}$$

Setelah diketahui jumlah gulungan per volt, maka jumlah lilitan yang digunakan baik lilitan primer maupun lilitan sekundernya dapat dihitung.

- Menghitung lilitan primer

$$N_p = V_p \times GPV$$

$$N_p = 220 \text{ V} \times 3$$

$$= 660 \text{ lilitan}$$

- Menghitung lilitan sekunder

$$N_s = V_s \times GPV$$

$$N_s = 110 \text{ V} \times 3$$

$$= 330 \text{ lilitan}$$

Berdasarkan perhitungan jumlah lilitan diatas, dapat diketahui berapa panjang kawat email yang dibutuhkan. Cara menghitung panjang kawat email yang dibutuhkan yaitu :

- Menghitung keliling inti trafo toroid

$$K = (l + t) \times 2$$

$$K = \left(\left(\frac{15,3 - 8}{2} \right) + 5 \right) \times 2$$

$$K = (3,65 + 5) \times 2$$

$$K = 17,3 \text{ cm}$$

- Panjang kawat email primer

$$P_p = K \times N_p$$

$$P_p = 17,3 \times 660$$

$$P_p = 11.418 \text{ cm} = 114,18 \text{ m}$$

- Panjang kawat email sekunder

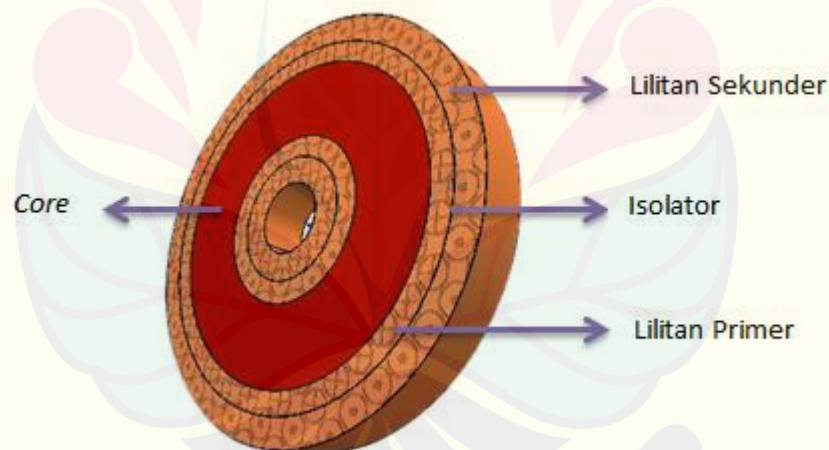
$$P_s = K \times N_s$$

$$P_s = 17,3 \times 330$$

$$P_s = 5.709 \text{ cm} = 57,09 \text{ m}$$

3.6 Desain Alat

Pada transformator toroid ini memiliki beberapa bagian utama seperti inti besi, kumparan dan juga isolator (Adrian Munteanu, 2016). Dari ketiga bagian tersebut, dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Desain Transformator Toroid

Inti besi atau *core* yang digunakan adalah *grain oriented silicon steel* (23PM85) dan seng talang galvalum. Inti besi akan diberi lapisan isolator terlebih dahulu sebelum dibelit dengan kawat email. Belitan pertama yaitu sebagai lilitan primer dengan menggunakan kawat email sebesar 0.5mm sebanyak 660 lilitan.

Setelah belitan primer selesai, lapiasi lagi dengan kertas isolator. Kemudian untuk lilitan sekundernya menggunakan kawat email sebesar 1mm sebanyak 330 lilitan.

3.7 Metode Pengumpulan Data

Untuk mengetahui pengaruh variasi material *core* terhadap performa trafo toroid, maka dilakukan pengujian sebanyak 2 kali dengan menggunakan beberapa variasi beban untuk mendapatkan nilai tegangan, arus, daya dan efisiensi dari trafo tersebut. Beban yang digunakan berupa lampu pijar 110 volt 100 watt, 200 watt, 300 watt, 400 watt, dan 500 watt.



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini akan membahas tentang hasil perancangan dan pengujian pada trafo toroid *step down* dengan menggunakan material *core* berbeda yang dilakukan di Prambanan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Material *core* yang dipilih dalam penelitian kali ini adalah *grain oriented silicon steel* (23PM85) dan seng talang galvalum dengan ukuran diameter luar sebesar 15,3 cm, diameter dalam sebesar 8 cm, tinggi 5 cm dan berat 4,5 kg. Besar kawat tembaga dan juga jumlah lilitan masing-masing adalah sama yaitu 0,5mm sebanyak 660 lilitan untuk kumparan primer dan 1mm sebanyak 330 lilitan untuk kumparan sekundernya.

4.1 Rancang Bangun Trafo Toroid Step Down

Trafo toroid yang dirancang menggunakan dua material yang berbeda yaitu *grain oriented silicon steel* (23PM85) dan seng talang galvalum. Material berupa plat tipis yang digulung sedemikian rupa hingga berbentuk bulat dengan diameter luar sebesar diameter luar sebesar 15,3 cm, diameter dalam sebesar 8 cm, tinggi 5cm.



Gambar 4. 1 inti besi seng talang galvalum

Perancangan yang pertama adalah trafo toroid dengan menggunakan material *grain oriented silicon steel* (23PM85). Inti besi dilapisi dengan kertas isolator terlebih dahulu sebelum dilakukan pelilitan kawat tembaga pada inti besi. Hal ini digunakan untuk mengurangi resiko terjadinya lompatan listrik antar penghantar listrik. Setelah inti besi terlapisi oleh kertas isolator, maka langkah selanjutnya

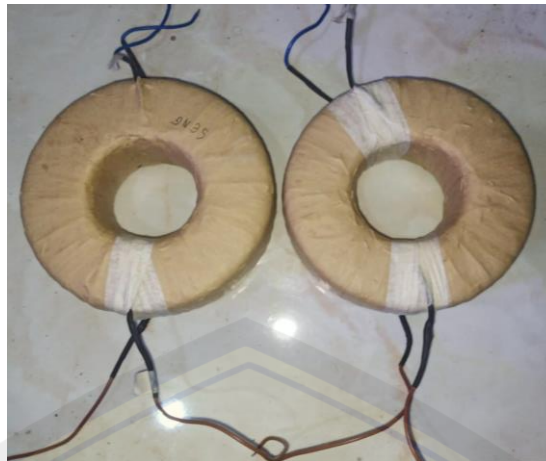
adalah melakukan pelilitan kawat tembaga sebagai kumparan primer pada inti besi. Kawat tembaga yang digunakan adalah kawat tembaga dengan diameter sebesar 0,5mm. Jumlah lilitan sebanyak 660 lilitan sesuai dengan perhitungan sebelumnya yaitu perkalian antara jumlah gulungan per volt dengan tegangan masukan. Setelah kumparan primer selesai, dilanjutkan untuk menutup kumparan dengan menggunakan kertas isolator lagi sebelum melanjutkan pada kumparan sekunder.



Gambar 4. 2 Lilitan primer trafo toroid

Kumparan sekunder digunakan sebagai keluaran pada trafo toroid. Diameter kawat yang digunakan adalah sebesar 1mm dan jumlah lilitan yang digunakan sebanyak 330 lilitan. Sesuai dengan prinsipnya, untuk trafo jenis *step down* memiliki tegangan keluaran yang lebih kecil dibandingkan tegangan masukan, sehingga jumlah lilitan untuk kumparan primer lebih banyak dibandingkan jumlah lilitan pada kumparan sekundernya. Berbeda dengan besar arusnya, arus pada kumparan primer lebih kecil dibanding dengan kumparan sekunder. Ketika kumparan sekunder sudah selesai, dilanjut dengan penutupan kumparan dengan kertas isolator dan pemasangan kabel biru pada kumparan primer dan kabel cokelat pada kumparan sekunder.

Pada trafo toroid dengan menggunakan material inti besi seng talang galvalum, cara membuatnya sama dengan trafo toroid sebelumnya.

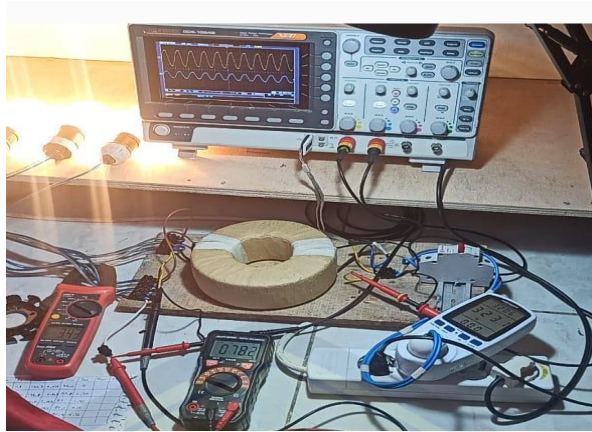


Gambar 4.3 trafo toroid menggunakan material seng talang galvalum dan *grain oriented silicon steel*

Dari kedua material diatas, seng talang galvalum memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan material *silicon steel* karena harga *core silicon steel* dua kali lipat harga material seng talang galvalum. Namun, untuk ketersediaan core berbahan seng talang jarang ditemui, sehingga harus membuat sendiri dari lapisan plat seng talang galvalum untuk membentuk *core* nya. Sedangkan untuk *core* material *silicon steel* mudah untuk didapat karena sangat banyak dipasaran.

4.2 Pengujian Trafo Toroid *Step Down* Menggunakan Material Inti Besi *Grain Oriented Silicon Steel* (23PM85)

Pengujian ini dilakukan sebanyak 6 kali, yaitu pengujian ketika tanpa beban dan pengujian ketika berbeban dengan beban lampu pijar 110 volt sebesar 100 watt, 200 watt, 300 watt, 400 watt dan 500 watt. Data yang diambil adalah daya input, tegangan input, arus input, daya output, tegangan output dan arus output yang nantinya dengan data tersebut dapat di lihat besar efisiensi dari trafo toroid yang telah dirancang.



Gambar 4. 4 Pengujian trafo toroid dengan variasi beban

Berdasarkan persamaan 2.4 trafo toroid memiliki kinerja yang baik ketika nilai $E_1 = aE_2$. Trafo yang dirancang kali ini adalah trafo dengan sumber tegangan 220 volt dengan jumlah lilitan primer dan lilitan sekunder masing-masing adalah 660 lilitan dan 330 lilitan. Dari kedua lilitan tersebut didapat nilai dari a sebesar 2. Sehingga, dengan menggunakan persamaan 2.3 dapat diketahui bahwa

$$E_1 = aE_2$$

$$220 = 2E_2$$

$$E_2 = 110 \text{ volt}$$

Namun ketika dilakukan pengukuran, tegangan yang dihasilkan tidak mencapai 220 volt melainkan 200 volt dengan nilai tahanan 880 Ω dan 1806,6 Ω . Besar induktansi yang terukur adalah sebesar 525,8 mH dan 1955 mH. Dari besar tersebut, dapat dicari nilai reaktansi trafo dengan persamaan

$$X = 2\pi fL$$

$$X_1 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,5258$$

$$X_1 = 165,185 \Omega$$

$$X_2 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 1,955$$

$$X_2 = 614,181\Omega$$

Dengan nilai reaktansi diatas, dapat dihitung nilai dari ggl induksi sesuai dengan persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_1$$

$$200 = E_1 + 0,009 \times 880 + 0,009 \times 165,185$$

$$200 = E_1 + 7,92 + 1,4867$$

$$200 = E_1 + 9,4067$$

$$E_1 = 190,5933 \text{ volt}$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2$$

$$E_2 = 99,6 + 0 \times 1806,6 + 0 \times 614,181$$

$$E_2 = 99,6 + 0 + 0$$

$$E_2 = 99,6 \text{ volt}$$

Oleh karena arus primer yang dihasilkan lebih dari 0 pada pengujian tanpa beban, maka hal ini menyebabkan nilai E_1 mengalami penurunan sehingga $E_1 \neq aE_2$. Sedangkan untuk nilai dari reaktansi dan resistansi ekuivalen dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$R_{ek} = R_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2$$

$$R_{ek} = 880 + \left(\frac{660}{330}\right)^2 1806,6$$

$$R_{ek} = 880 + 7226,4$$

$$R_{ek} = 8106,4 \Omega$$

$$X_{ek} = X_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_2$$

$$X_{ek} = 165,185 + \left(\frac{660}{330}\right)^2 614,181$$

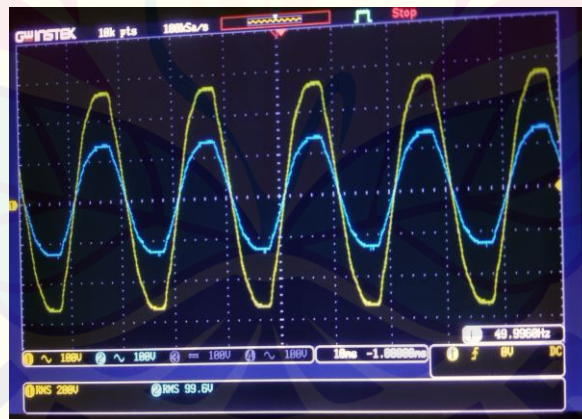
$$X_{ek} = 165,185 + 2456,724$$

$$X_{ek} = 2621,909 \Omega$$

tabel 4. 1 data hasil pengujian trafo toroid material *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban

Beban	V _{in} (Volt)	I _{in} (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (Watt)	Efisiensi
0	200	0.009	1.8	99.6	0	0	0%
100	200	0.389	77.8	96.1	0.8	76.88	99%
200	200	0.743	148.6	93.4	1.55	144.77	97%
300	200	1.091	218.2	90.9	2.29	208.161	95%
400	200	1.435	287	88.2	3.02	266.364	93%
500	200	1.756	351.2	85.2	3.7	315.24	90%

Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwa ketika pengujian dilakukan tanpa menggunakan beban, arus output yang dihasilkan adalah 0 atau tidak ada arus yang mengalir sehingga daya outputnya juga sama dengan 0. Daya input yang dihasilkan juga kecil yaitu 1,8 watt yang dipengaruhi oleh arus input yang hanya sebesar 0,009 A. Tegangan output yang dihasilkan sebesar 99,6 V dimana tegangan ini lebih kecil dibandingkan dengan tegangan inputnya.

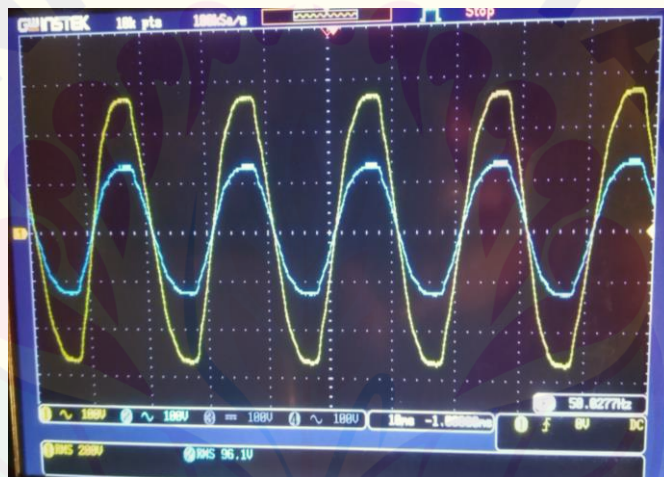


Gambar 4. 5 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* tanpa beban

Berdasarkan gambar 4.5, dapat dilihat bahwa bentuk gelombang tegangan dari trafo toroid ini adalah berupa gelombang sinus dimana gelombang kuning merupakan input dan gelombang biru sebagai outputnya. Besar dari tegangan

output adalah setengah dari tegangan input, hal ini disebabkan oleh trafo toroid yang dirancang merupakan trafo jenis *step down* 220 volt ke 110 volt.

Pengujian yang kedua yaitu dengan memberikan beban berupa lampu pijar 110 volt 100 watt. Untuk tegangan input sebesar 200 volt diturunkan menjadi 96,1 volt. Dalam hal ini, arusnya mengalami kenaikan yaitu dari 0,389 A menjadi 0,8 A. Dengan mengalikan antara arus dan tegangan ini akan didapat besar daya dari trafo toroid yang dirancang. Dari tabel 4.1 beban 100 watt, daya output memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan daya inputnya. Daya output pada beban lampu 100 watt sebesar 76,88 volt sedangkan daya inputnya adalah 77,8 watt. Untuk bentuk gelombang tegangannya sama seperti pengujian tanpa beban, yaitu gelombang berbentuk sinusoidal.



Gambar 4. 6 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 100 watt

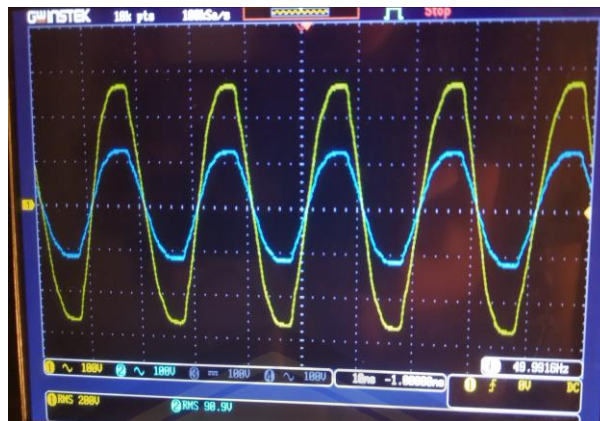
Pengujian yang ketiga adalah pengujian trafo toroid material *grain oriented silicon steel* dengan menggunakan beban 2 buah lampu pijar 100 watt. Pemberian beban ini menunjukkan lampu menyala terang keduanya. Tegangan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, namun arus yang dihasilkan menunjukkan angka yang semakin besar. Pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa tegangan input sebesar 200 volt berubah menjadi 93,4 volt pada keluarannya. Hal ini menunjukkan bahwa trafo bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu sebagai penurun tegangan. Pada pembebanan ini, arus keluarannya sudah

mencapai angka 1,55 A yang nilainya lebih besar dibanding pengujian sebelumnya. Hasil bentuk gelombang tegangan trafo toroid dengan menggunakan material *grain oriented silicon steel* pada beban 200 watt dapat dilihat pada gambar 4.7 yang bentuk gelombangnya berupa gelombang sinusoidal.



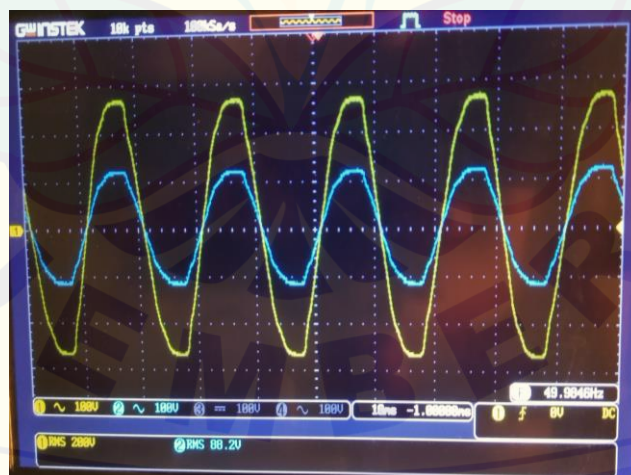
Gambar 4.7 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 200 watt

Selanjutnya adalah pengujian dengan menggunakan beban 300 watt. Beban ini berupa lampu pijar 100 watt sebanyak 3 buah. Ketika pengujian dimulai, ketiga lampu menyala secara terang. Ketiga lampu tersebut dalam kondisi panas. Dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, tegangan yang dihasilkan semakin menurun menjadi 90,9 volt dan arusnya semakin meningkat hingga sebesar 2,29 A. Pada pembebanan sebesar 300 watt ini menghasilkan daya output sebesar 208,161 watt yang memiliki selisih 8,161 watt terhadap daya inputnya. Bentuk gelombang tegangan sinusoidalnya dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4. 8 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 300 watt

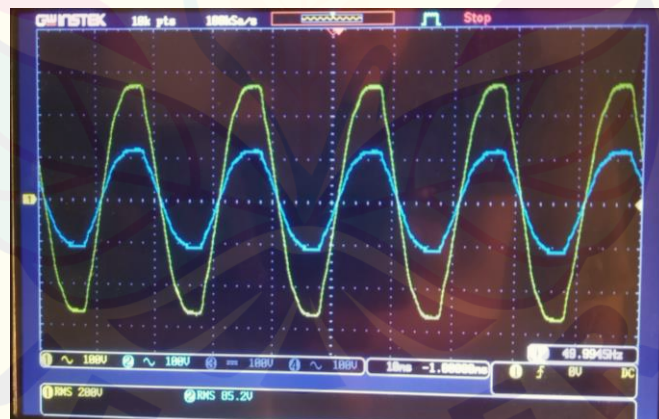
Pengujian selanjutnya adalah pengujian trafo toroid menggunakan material *grain oriented silicon steel* dengan beban 400 watt. Beban ini menggunakan lampu pijar 100 watt sebanyak 4 buah. Berdasarkan tabel 4.1 diatas, tegangan output yang dihasilkan pada pembebanan 400 watt adalah sebesar 88,2 volt dengan arus output sebesar 3,02 A, sehingga dapat diperoleh daya output sebesar 266,364 watt. Sesuai dengan teori yang berlaku, untuk trafo toroid jenis *step down* memiliki arus input yang lebih kecil dibandingkan dengan arus outputnya dan tegangan inputnya akan lebih besar dibandingkan dengan tegangan output yang dihasilkan.



Gambar 4. 9 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 400 watt

Pada gambar 4.9 menunjukkan bentuk gelombang yang tidak berubah dari pengujian-pengujian sebelumnya, dimana gelombang tegangan yang dihasilkan berbentuk sinusoidal dengan frekuensi 50 Hz. Perbedaannya hanya terletak pada besar tegangan outputnya yang semakin kecil seiring dengan semakin besar beban yang diberikan pada trafo toroid ini.

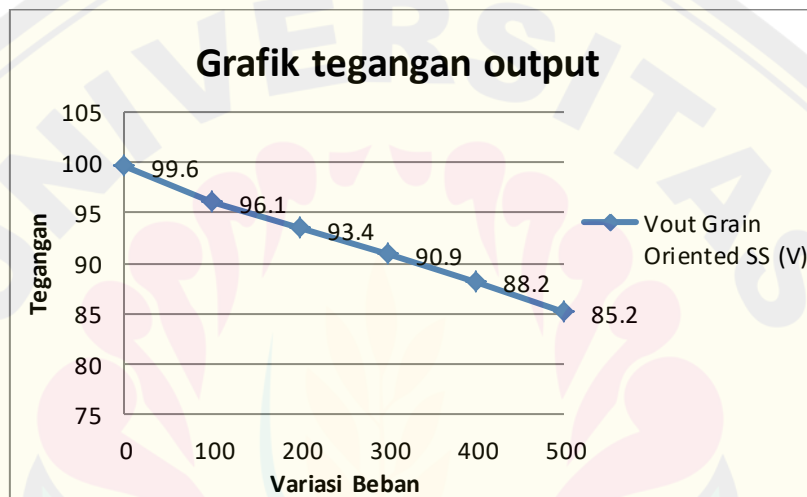
Pengujian terakhir untuk trafo toroid dengan material inti besi *grain oriented silicon steel* ini dilakukan dengan memberikan beban berupa lampu pijar sebesar 500 watt. Pada pengujian ini, arus outputnya mencapai 3,7 A dan arus inputnya sebesar 1,756 A. Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan paling kecil untuk jika dibandingkan dengan pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban 100 watt hingga 400 watt yaitu sebesar 85,2 volt. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1, dimana daya yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan pengujian sebelumnya yaitu sebesar 315,24 watt. Dengan melihat tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat drop tegangan sehingga ketika beban yang diberikan sebesar 500 watt, daya yang terukur tidak mencapai 500 watt. Hal ini disebabkan oleh adanya rugi tembaga dan rugi inti besi yang terjadi pada trafo toroid.



Gambar 4. 10 gelombang tegangan trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan beban 500 watt

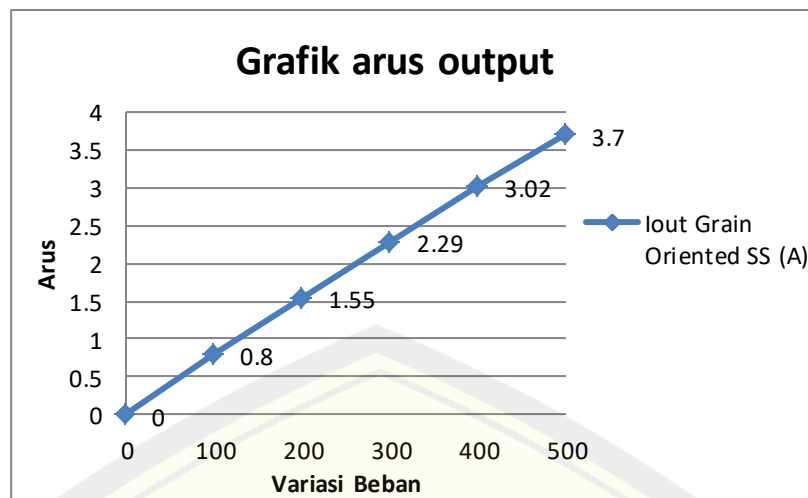
Berdasarkan keenam pengujian yang telah dilakukan pada trafo toroid dengan material inti besi *grain oriented silicon steel* dapat dilihat pula besar efisiensi masing-masing dari pengujian yang menunjukkan pada beban 100 watt, efisiensi

trafo yang dihasilkan adalah sebesar 99%. Efisiensi akan menurun ketika diberikan tambahan beban, seperti pada pemberian beban 200 watt, efisiensi yang dihasilkan menjadi 97%. Pada pemberian beban 300 watt efisiensi menunjukkan angka 95% dan 93% untuk efisiensi pada trafo toroid beban 400 watt. Sedangkan pada beban 500 watt, trafo toroid memiliki efisiensi sebesar 90%. Pada tabel diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar beban yang diberikan, maka efisiensi trafo akan semakin menurun. Begitu pula dengan tegangan yang dihasilkan, seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan, tegangan akan semakin menurun juga. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut ini.



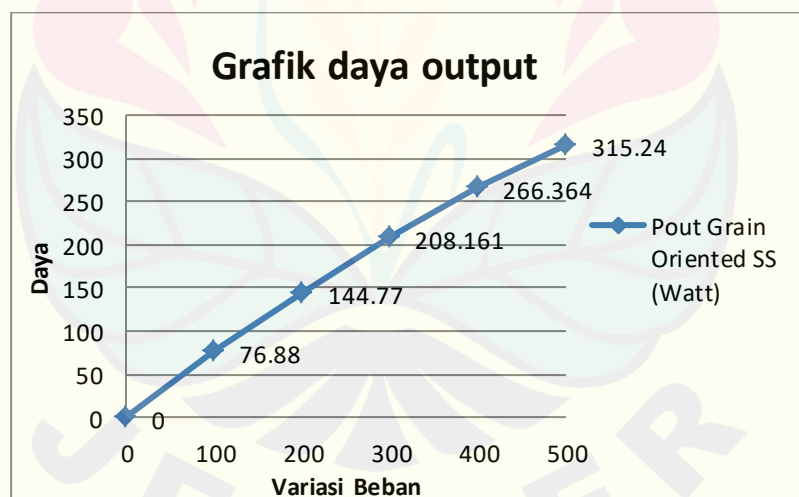
Gambar 4. 11 grafik tegangan output trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban

Grafik 4.11 adalah grafik perbandingan tegangan output terhadap beban yang diberikan. Ketika trafo diuji tanpa bebahan, maka trafo menghasilkan tegangan sebesar 99,6 volt. Ketika trafo diberi beban sebesar 100 watt, maka trafo menghasilkan tegangan sebesar 96,1 volt. Pemberian beban kedua, yaitu lampu sebesar 200 watt, menghasilkan tegangan yang lebih rendah dibandingkan tegangan sebelumnya. Tegangan yang dihasilkan adalah sebesar 93,4 volt. Begitu pula dengan pemberian beban berikutnya, ketika beban yang diberikan sebesar 300 watt, maka tegangan yang dihasilkan adalah 90,9 volt dan 88,2 volt untuk pemberian beban 400 watt. Ketika pembebanan sebesar 500 watt, tegangan semakin menunjukkan penurunan nilai hingga bernilai 85,2 volt.



Gambar 4. 12 grafik arus output trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban

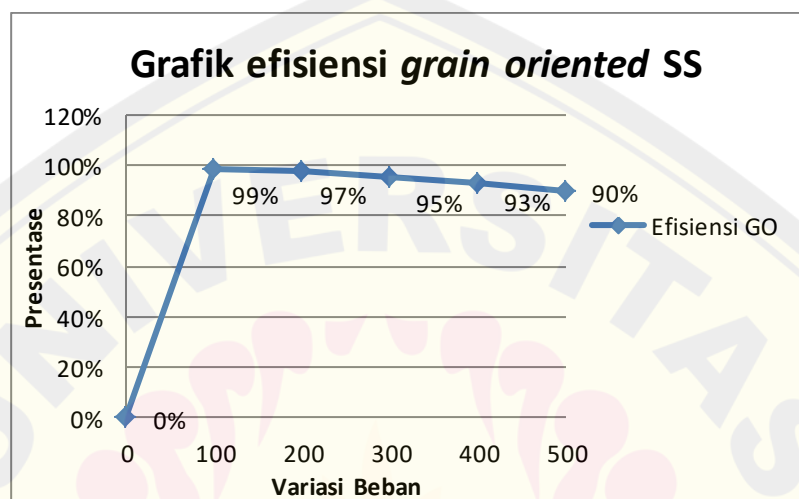
Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan arus output dari trafo toroid dengan material *grain oriented silicon steel* terhadap variasi beban. Berbeda dengan tegangan, arus yang dihasilkan ini memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan bertambah besarnya beban yang diberikan. Arus maksimal yang dihasilkan adalah 3,7 A pada kondisi pemberian beban 500 watt.



Gambar 4. 13 grafik daya output trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban

Daya merupakan hasil perkalian antara arus dan juga tegangan. Pada pengujian kali ini, daya yang dihasilkan adalah 0 ketika pengujian dilakukan tanpa menggunakan beban. Hal ini dikarenakan jika tidak ada beban yang diberikan

maka tidak akan ada arus yang mengalir sehingga tidak ada daya yang dihasilkan pula. Ketika pembebanan 100 watt daya output yang dihasilkan sebesar 76,88 watt. Pada beban yang semakin besar, daya yang dihasilkan juga semakin besar, namun tidak mencapai besar daya yang masuk dikarenakan ada drop tegangan dan juga rugi-rugi daya. Seperti pada pembebanan 500 watt, daya yang dihasilkan adalah sebesar 315,24 watt.



Gambar 4. 14 grafik efisiensi trafo toroid *grain oriented silicon steel* dengan variasi beban

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa pemberian beban pada trafo toroid akan mempengaruhi besar efisiensi yang dihasilkan. Pada beban 100 watt maka efisiensi yang diperoleh adalah sebesar 99% dan pada beban 500 watt efisiensinya menjadi 90%. Efisiensi ini merupakan hasil pembagian antara daya output dengan daya input dikalikan dengan 100% tanpa memperhitungkan rugi-rugi daya yang terjadi.

4.3 Pengujian Trafo Toroid *Step Down* Menggunakan Material Inti Besi Seng Talang Galvalum

Sama dengan pengujian sebelumnya, pengujian dilakukan sebanyak 6 kali, yaitu pengujian ketika tanpa beban dan pengujian ketika berbeban dengan beban lampu pijar 110 volt sebesar 100 watt, 200 watt, 300 watt, 400 watt dan 500 watt. Data yang diambil adalah daya input, tegangan input, arus input, daya output, tegangan output dan arus output yang nantinya dengan data tersebut dapat di lihat

besar efisiensi dari trafo toroid yang telah dirancang. Efisiensi inilah yang akan di bandingkan dengan trafo toroid sebelumnya.

Pada trafo toroid material seng talang galvalum, tegangan yang dihasilkan juga tidak mencapai 220 volt melainkan 204 volt dengan nilai tahanan 19,14 Ω dan 80,36 Ω . Besar induktansi yang terukur adalah sebesar 67,56 mH dan 271,1 mH. Dari besar tersebut, dapat dicari nilai reaktansi trafo dengan persamaan

$$X_1 = 2\pi fL$$

$$X_1 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,06756$$

$$X_1 = 21,2246 \Omega$$

$$X_2 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,2711$$

$$X_2 = 85,169 \Omega$$

Dengan nilai reaktansi diatas, dapat dihitung nilai dari ggl induksi sesuai dengan persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_1$$

$$200 = E_1 + 0,258 \times 19,14 + 0,258 \times 21,2246$$

$$200 = E_1 + 4,938 + 5,476$$

$$200 = E_1 + 10,414$$

$$E_1 = 189,586 \text{ volt}$$

$$E_2 = V_2 + I_2R_2 + I_2X_2$$

$$E_2 = 203 + 0 \times 80,36 + 0 \times 85,169$$

$$E_2 = 203 + 0 + 0$$

$$E_2 = 203 \text{ volt}$$

Oleh karena arus primer yang dihasilkan lebih dari 0 pada pengujian tanpa beban, maka hal ini menyebabkan nilai E_1 mengalami penurunan sehingga $E_1 \neq aE_2$. Untuk nilai resistansi dan reaktansi ekuivalennya dapat dilihat dengan persamaan berikut.

$$R_{ek} = R_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2$$

$$R_{ek} = 19,14 + \left(\frac{660}{330}\right)^2 80,36$$

$$R_{ek} = 19,14 + 321,44$$

$$R_{ek} = 340,58 \Omega$$

$$X_{ek} = X_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_2$$

$$X_{ek} = 21,2246 + \left(\frac{660}{330}\right)^2 85,169$$

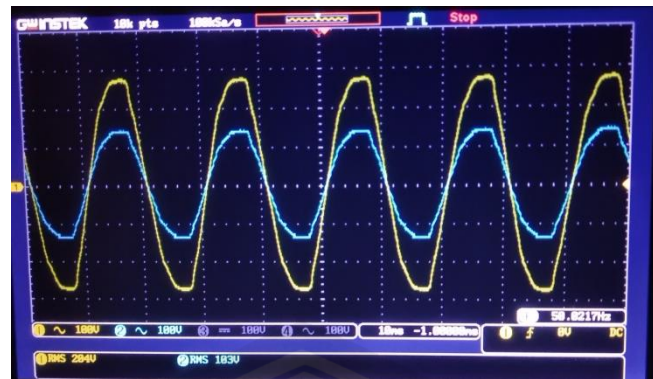
$$X_{ek} = 21,2246 + 340,676$$

$$X_{ek} = 361,9006 \Omega$$

tabel 4. 2 data hasil pengujian trafo toroid material seng talang galvalum dengan variasi beban

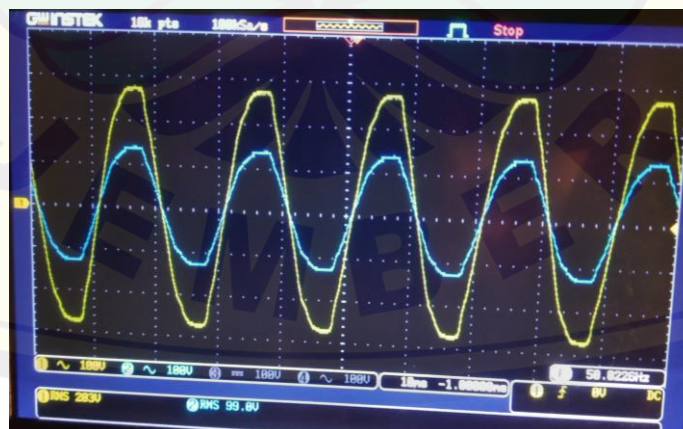
Beban	Vin (V)	Iin (A)	Pin (Watt)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (Watt)	Efisiensi
0	204	0.258	52.632	103	0	0	0%
100	203	0.583	118.349	99	0.73	72.27	61%
200	203	0.93	188.79	95.2	1.44	137.088	73%
300	203	1.286	261.058	91.9	2.14	196.666	75%
400	203	1.625	329.875	88.9	2.81	249.809	76%
500	203	1.945	394.835	86.3	3.44	296.872	75%

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa ketika pengujian dilakukan tanpa menggunakan beban, arus output yang dihasilkan adalah 0 atau tidak ada arus yang mengalir sehingga daya outputnya juga sama dengan 0. Daya input yang dihasilkan yaitu 52,632 watt yang memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan trafo toroid dengan menggunakan material *grain oriented silicon steel*. Tegangan output yang dihasilkan sebesar 103 V dimana tegangan ini lebih kecil dibandingkan dengan tegangan inputnya. Tegangan yang diperoleh memiliki besar yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya yang menggunakan material *grain oriented silicon steel* yang sebesar 99,6 V. Untuk hasil gelombang pada trafo toroid seng talang galvalum tanpa beban ini dapat dilihat pada gambar 4.15 dibawah dimana gambar menunjukkan gelombang sinusoidal tanpa adanya harmonisa.



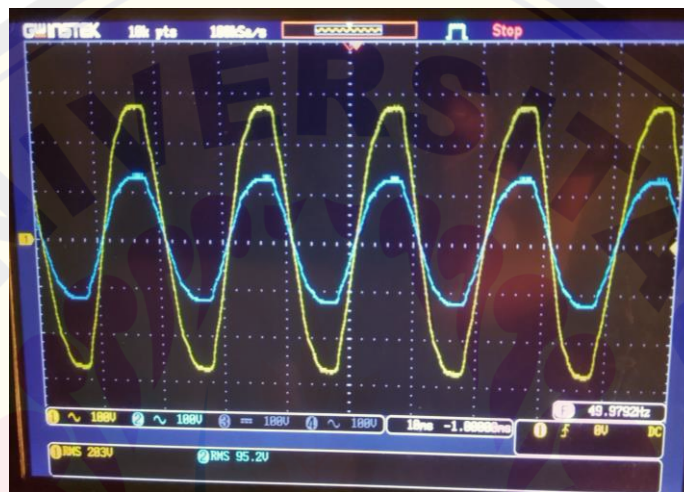
Gambar 4. 15 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum tanpa beban

Pengujian selanjutnya adalah pengujian trafo toroid dengan menggunakan seng talang galvalum pada beban 100 watt. Beban yang digunakan sama dengan pengujian trafo toroid *grain oriented silicon steel* yaitu dengan lampu pijar 100 watt 110 volt. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.2 dimana tegangan output yang dihasilkan adalah 99 volt dengan tegangan input sebesar 203 volt. Jika dibandingkan dengan trafo sebelumnya, besar tegangan yang dihasilkan oleh trafo toroid seng talang galvalum ini lebih besar. Daya input nya mencapai 203 watt sedangkan daya outputnya mencapai 72,27 watt. Untuk prinsip kerjanya sama dengan trafo sebelumnya yaitu trafo difungsikan sebagai penurun tegangan sehingga tegangan output akan lebih kecil dibandingkan dengan tegangan inputnya. Berbanding terbalik dengan arusnya yang nilai outputnya akan lebih besar dibandingkan dengan nilai inputnya. Besar kecilnya arus dan tegangan ini akan sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 4. 16 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 100 watt

Pengujian trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 200 watt menghasilkan data yang digambarkan pada tabel 4.2 dimana tegangan output bernilai 95,2 volt yang berarti lebih kecil jika dibandingkan pengujian pada trafo toroid dengan beban 100 watt yang memiliki nilai sebesar 99 volt. Berdasarkan tabel 4.2 pembebanan 200 watt, arus mengalami kenaikan hingga mencapai 1,44 A dengan arus input sebesar 0,93 A. Sama halnya dengan pengujian sebelumnya ketika pada pembebanan 100 watt, daya input yang dihasilkan adalah sebesar 203 watt namun daya output yang dihasilkan lebih besar yaitu 137,088 watt.



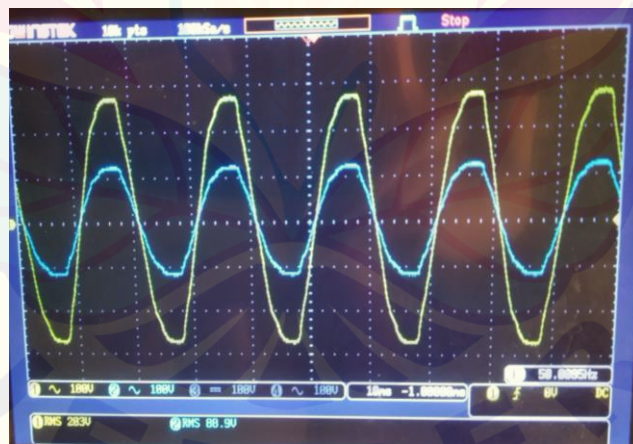
Gambar 4. 17 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 200 watt

Pada pengujian trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 300 watt ini memiliki prinsip yang sama dengan pengujian sebelumnya. Nilai tegangan output menurun menjadi 91,9 volt dengan arus yang naik menjadi 2,14 A sehingga daya outputnya sebesar 196,666 watt. Besarnya daya naik seiring dengan kenaikan arus yang terjadi pada trafo toroid. Selisih antara daya input dan daya output adalah 6,444 watt.



Gambar 4. 18 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 300 watt

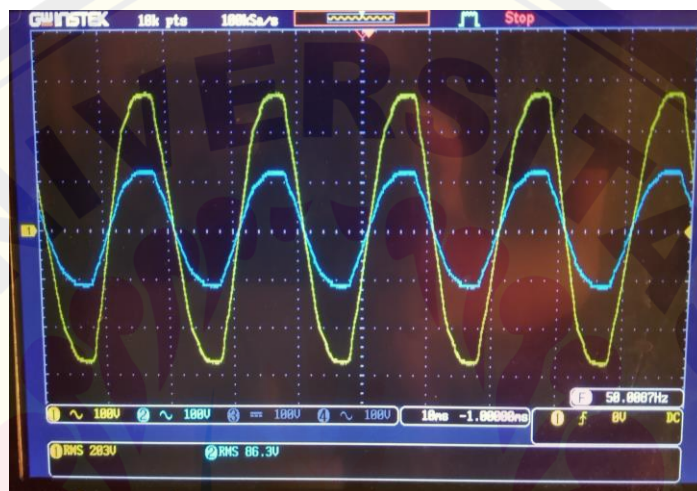
Pengujian selanjutnya adalah pengujian trafo toroid dengan menggunakan inti besi seng talang galvalum pada beban 400 watt. Beban ini menggunakan lampu pijar 110 volt 100 watt sebanyak 4 buah. Dengan beban 400 watt, arus yang dihasilkan adalah sebesar 2,81 A dan tegangan outputnya sebesar 88,9 volt. Dari arus dan tegangan tersebut, didapat nilai daya sebesar 249,809 watt. Gambar 4.19 menunjukkan bentuk gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum pada beban 400 watt dimana gelombang berbentuk sinusoidal.



Gambar 4. 19 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 400 watt

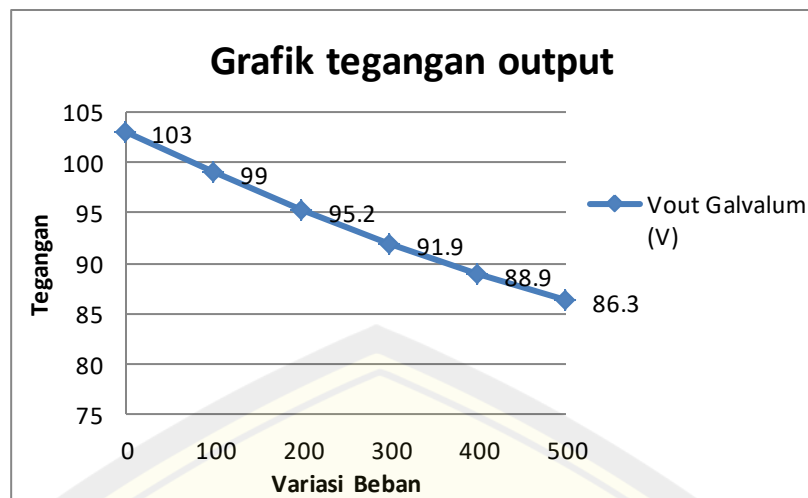
Pengujian yang terakhir adalah pengujian dengan menggunakan beban sebesar 500 watt. Pada tabel 4.2 pembebanan 500 watt dapat dilihat bahwa arus outputnya dapat mencapai 3,44 A yang nilainya lebih besar dibandingkan dengan arus inputnya. Meskipun tegangan output mengalami penurunan nilai seiring

besar nilai beban yang diberikan, daya yang dihasilkan semakin besar karena adanya kenaikan arus yang signifikan juga. Tegangan input yang dihasilkan pada pengujian beban 500 watt sesuai pada tabel 4.2 yaitu sebesar 203 volt yang nilainya tidak jauh berbeda dengan tegangan input pada setiap pengujian dengan variasi beban. Pada pengujian ini, kelima lampu nyala terang hingga panas dan trafo toroid juga terasa sedikit hangat pada diameter tengahnya. Hal tersebut berbeda dengan trafo toroid dengan menggunakan material *grain oriented silicon steel* yang tidak panas ketika pengujian berlangsung.



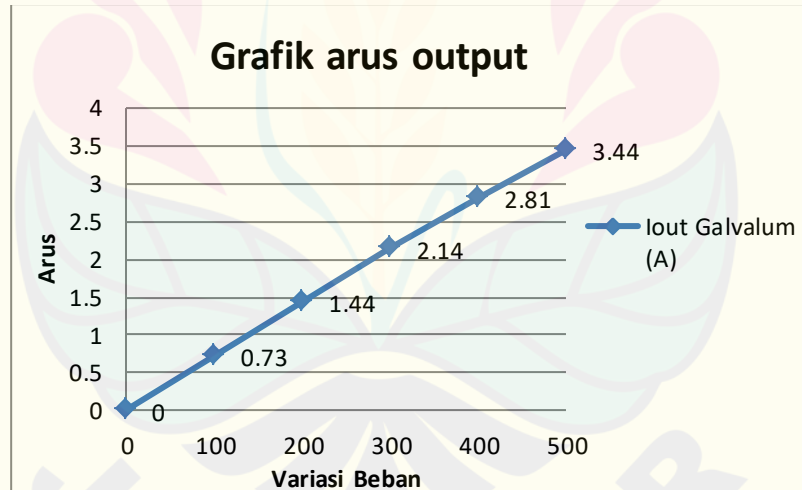
Gambar 4. 20 gelombang tegangan trafo toroid seng talang galvalum dengan beban 500 watt

Dari tabel 4.2 diatas, seiring dengan kenaikan beban, arus dan daya output mengalami kenaikan sedangkan pada tegangan output mengalami penurunan. Namun berbeda dengan trafo toroid *grain oriented silicon steel* yang memiliki efisiensi stabil dengan penurunan ketika terjadi kenaikan beban, efisiensi trafo toroid seng talang galvalum mengalami kenaikan efisiensi seiring dengan penambahan beban, tetapi ketika beban diberikan secara maksimal maka efisiensi akan menurun dari efisiensi sebelumnya. Seperti pada beban 100 watt efisiensi trafo adalah 61%, dengan bertambahnya beban hingga 400 watt, efisiensi trafo naik hingga mencapai 76% sedangkan pada beban 500 watt efisiensi turun menjadi 75%.



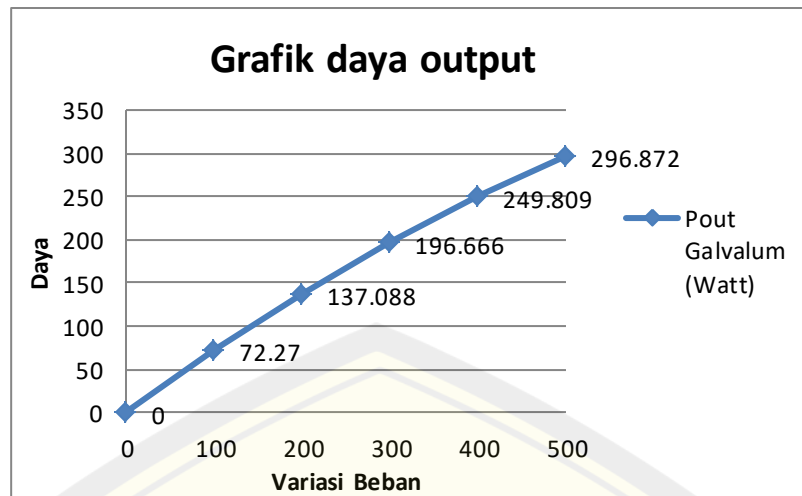
Gambar 4. 21 grafik tegangan output trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban

Gambar 4.21 menunjukkan perbandingan tegangan output terhadap variasi beban yang diberikan. Grafik menurun seiring dengan penambahan beban. Sehingga seiring dengan penambahan beban ini drop tegangan yang dihasilkan semakin besar pula.



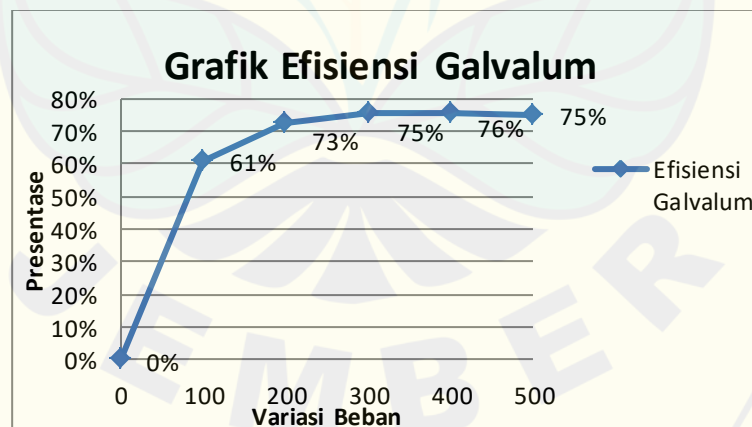
Gambar 4. 22 grafik arus output trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban

Pada gambar 4.22 ini dapat dilihat bahwa seiring kenaikan beban, arus juga mengalami kenaikan yang signifikan. Arus tertinggi ditunjukkan pada beban 500 watt dengan besar 3,44 A. Arus ini lebih kecil dibandingkan dengan arus pada trafo toroid *grain oriented silicon steel* yang memiliki arus tertinggi sebesar 3,7 A.



Gambar 4. 23 grafik daya output trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban

Daya merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus. Daya output pada gambar 4.23 mengalami kenaikan seiring bertambahnya beban dikarenakan arus yang mengalir juga mengalami kenaikan besarnya. Daya tertinggi terdapat pada pengujian ketika beban 500 watt dengan nilai sebesar 296,872 watt. Sedangkan pada trafo toroid *grain oriented silicon steel* daya tertinggi berada pada pengujian dengan beban 500 watt sebesar 315,24 watt. Hal ini menunjukkan bahwa daya pada trafo seng talang galvalum lebih kecil dibandingkan dengan trafo toroid pada *grain oriented silicon steel*.



Gambar 4. 24 grafik efisiensi trafo toroid seng talang galvalum dengan variasi beban

Meskipun nilai tegangan output yang dihasilkan oleh trafo seng talang galvalum nilainya lebih besar, namun efisiensi dari trafo toroid ini tidak cukup

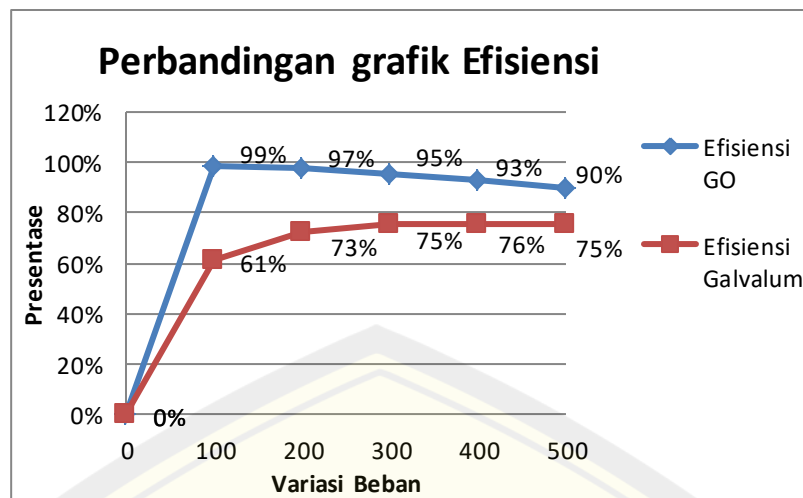
besar jika dibandingkan dengan trafo toroid *grain oriented silicon steel*. Efisiensi trafo toroid *grain oriented silicon steel* memiliki nilai tertinggi sebesar 99% sedangkan pada trafo toroid seng talang galvalum memiliki efisiensi paling tinggi 76% pada beban 500 watt. Efisiensi terendah trafo ini mencapai 61%.

Berdasarkan kedua pengujian yang telah dilakukan dengan variasi beban dan inti besi, dapat disimpulkan unjuk kerja dari masing-masing trafo toroid, dimana hal tersebut dapat dilihat berdasarkan besar efisiensinya. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat secara singkat pada tabel dibawah ini.

tabel 4. 3 perbandingan efisiensi trafo toroid material *grain oriented silicon steel* dan seng talang galvalum

Beban	<i>Grain Oriented Silicon Steel</i>	Seng Talang Galvalum
0	0%	0%
100	94%	63%
200	93%	79%
300	92%	81%
400	89%	84%
500	87%	81%

Dari perbandingan diatas, dapat dilihat bahwa pada trafo toroid dengan inti besi *grain oriented silicon steel* memiliki penurunan efisiensi seiring dengan besarnya beban yang diberikan. Berbeda dengan trafo toroid dengan inti besi seng talang galvalum yang memiliki efisiensi tidak stabil, dimana pada pembebanan 100 watt hingga 400 watt memiliki kenaikan efisiensi namun pada pembebanan sebesar 500 watt efisiensi yang dihasilkan mengalami penurunan. Efisiensi terendah pada trafo toroid *grain oriented silicon steel* adalah pada kondisi pembebanan 500 watt sebesar 90%. Pada trafo toroid seng talang galvalum memiliki efisiensi terendah pada pembebanan 100 watt dengan besar efisiensi sebesar 61%. Efisiensi tertinggi dari trafo toroid seng talang galvalum inipun tidak mencapai 80% seperti trafo toroid dengan material *grain oriented silicon steel*. Selain dari tabel diatas, dapat dilihat dengan lebih jelas melalui grafik berikut ini.



Gambar 4. 25 grafik perbandingan efisiensi trafo toroid material *grain oriented silicon steel* dan seng talang galvalum

Berdasarkan gambar 4.25 dapat diketahui bahwa selain ketidakstabilan efisiensi, trafo dengan menggunakan material seng talang galvalum memiliki efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan efisiensi trafo toroid dengan menggunakan material *grain oriented silicoon steel*. Seiring dengan penambahan beban, efisiensi trafo *grain oriented silicoon steel* mengalami penurunan, sedangkan pada trafo toroid material seng talang galvalum efisiensinya mengalami kenaikan hingga beban 400 watt, dan pada beban 500 watt efisiensi ini menurun dibandingkan pemberian beban sebelumnya. Namun, kenaikan efisiensi yang dialami trafo toroid seng talang galvalum ini tidak mencapai besar efisiensi yang dihasilkan oleh trafo toroid *grain oriented silicoon steel*.

BAB 5 PENUTUP

Berdasarkan data hasil pengujian pada trafo toroid *step down* dengan material *grain oriented silicon steel* dan seng talang galvalum dengan variasi beban yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran untuk penelitian lebih lanjut antara lain :

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Cara untuk merancang trafo toroid material *grain oriented silicon steel* dan seng talang galvalum yaitu dengan membuat ukuran inti besi yang sama yaitu tinggi 5 cm, diameter dalam 8 cm, dan diameter luar 15,3 cm kemudian melakukan pelilitan kawat pada inti besi yang sudah dilapisi isolator kertas sebelumnya.
2. Trafo toroid *step down* 220 volt menjadi 110 volt didapat dengan memberikan jumlah lilitan primer sebanyak 660 lilitan dan jumlah lilitan sekunder sebanyak 330 lilitan yang diperoleh dengan mengalikan jumlah gulungan per volt (GPV) sebesar 3 gulungan dengan besar tegangan 220 volt untuk lilitan primernya dan 110 volt untuk lilitan sekundernya.
3. Trafo toroid dengan menggunakan material *grain oriented silicon steel* pada beban 100 watt memiliki tegangan output sebesar 96,1 volt dengan arus 0,8 A dan efisiensinya 99% sedangkan trafo toroid seng talang galvalum pada beban 100 watt memiliki tegangan output sebesar 99 volt dan arus sebesar 0,73 A dengan efisiensi sebesar 61% sehingga efisiensi trafo dengan material *grain oriented silicon steel* lebih besar dibandingkan dengan trafo toroid dengan material seng talang galvalum.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Beban yang digunakan sebaiknya tidak menggunakan lampu pijar 110 volt dikarenakan untuk saat ini keberadaannya sudah langka.
2. Material inti besi yang digunakan sebaiknya diganti dengan material lainnya agar menambah variasi material sebagai referensi untuk menentukan kualitas trafo toroid yang baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Adrian Munteanu, L. L.-M. (2016). An Efficient Approach for 3D Toroidal Transformers Simulation . *ICEPE*, 277-280.
- Aprilia, I. N. (2021). *Analisis Perhitungan Rugi Rugi Daya Pada Transformator Step Down Di PLTD Pudisklat Migas Cepu*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Chakraborty, K. (2018). Comparative Study of Transformer Core Material. *IJISRT*, 33-38.
- Dannisa Deza Azkia, I. (2020). PERFORMANCE ANALYSIS OF STEP DOWN TYPE-TRANSFORMATOR OF FACTORIES AT THE COMPANY OF SURYA TOTO INDONESIA CIKUPA . *Jurnal PTIV*, 7-19.
- Darsono, S. d. (2012). DESAIN TRAF0 TEGANGAN TINGGI BERFREKUENSI TINGGI 40kHz/17,5kV UNTUK STT COCKCROFT WALTON MBE LATEKS. *ISSN*, 1-15.
- Harshit Sawant, K. P. (2018). Analysis and Design of Toroidal Transformer. *IRJET*, 1457-1460.
- Huang, P. (2017). Optimal Design and Implementation of High-voltage High-power Silicon Steel Core Medium Frequency Transformer. *IEEE*.
- James A. Dayton, J. (1972). Design Of Toroidal Transformers For Maximum Efficiency. *NASA*, 1-19.
- K.G.Nilanga B. Abeywickrama, T. D. (2008). Determination of Complex Permeability of Silicon Steel for Use in High-Frequency Modeling of Power Transformers. *IEEE*, 438-444.
- Khaparde, S. K. (2004). *Transformator Engineering Design and Practice Book*. Mumbai, India: Indian Institute of Technology, Bombay .
- Lestari, E. p. (2020). MAINTENANCE PREVENTIVE PADA TRANSFORMATOR STEP-DOWN AV05 DENGAN KAPASITAS 150KV DI PT. KRAKATAU DAYA LISTRIK . *Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 485-493.
- Maharani Putri, I. H. (2021). Analisis Pengujian Karakteristik Dan Perbandingan Transformasi Pada Trafo 1 Fasa. *Jurnal Vorteks*, 44-47.
- Pranata, J. (2019). Analisis Efisiensi Trafo Toroid 5A Untuk Sistem Pengisi Baterai Pada Diameter Kawat Email Yang Berbeda. *Digital Repository Universitas Jember*, 1-80.
- Puntoko. (2008). *Modul Training Transformator*. Banten: Krakatau Daya Listrik.

- Putra, A. I. (2012). *ANALISA KARAKTERISTIK INDUKTOR TOROID PADA RANGKAIAN BOOST CONVERTER*. Depok: Universitas Indonesia.
- Santoso, A. H. (2015). *PENGARUH BEBAN TERHADAP LAJU KOROSI LAPISAN BAJA GALVALUM (Zn55Al) DI LINGKUNGAN AIR LEDENG DAN AIR LAUT*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Zuhal. (1988). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.



LAMPIRAN

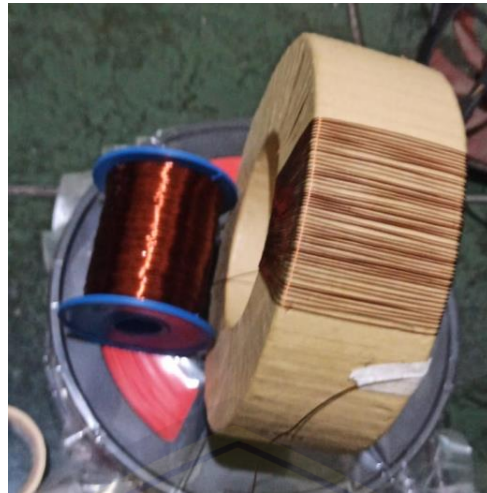
A. Dokumentasi pembuatan alat



Proses pembuatan inti besi trafo toroid dengan menggunakan seng talang galvalum



Hasil dari inti besi yang sudah dibuat

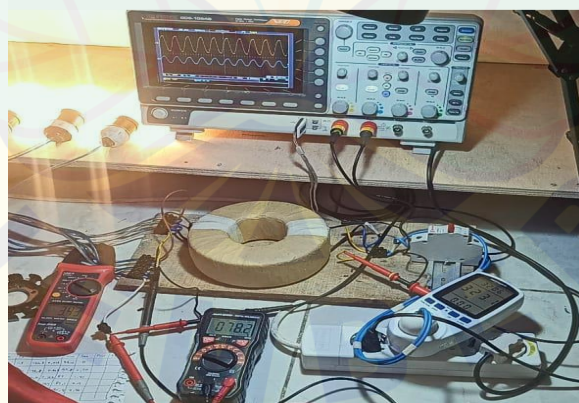


Proses pelilitan trafo toroid



Hasil pelilitan primer dan sekunder trafo toroid yang sudah dilapisi isolator

B. Dokumentasi pengujian alat



Pengujian trafo toroid dengan menggunakan beban lampu pijar

C. Perhitungan hasil pengujian

1. Trafo toroid *grain oriented silicon steel*

- Perhitungan daya output

$$P = V \times I$$

- Trafo tanpa beban

$$\begin{aligned} P &= 99,6 \times 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

- Trafo beban 100 watt

$$\begin{aligned} P &= 96,1 \times 0,80 \\ &= 76,88 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Trafo beban 200 watt

$$\begin{aligned} P &= 93,4 \times 1,55 \\ &= 144,77 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Trafo beban 300 watt

$$\begin{aligned} P &= 90,9 \times 2,29 \\ &= 208,161 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Trafo beban 400 watt

$$\begin{aligned} P &= 88,2 \times 3,02 \\ &= 266,364 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Trafo beban 500 watt

$$\begin{aligned} P &= 85,2 \times 3,7 \\ &= 315,24 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Perhitungan efisiensi trafo toroid

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- Trafo tanpa beban

$$\eta = \frac{0}{1,8} \times 100\%$$

$$= 0$$

- Trafo beban 100 watt

$$\eta = \frac{76,88}{77,8} \times 100\%$$

$$= 99 \%$$

- Trafo beban 200 watt

$$\eta = \frac{144,77}{148,6} \times 100\%$$

$$= 97 \%$$

- Trafo beban 300 watt

$$\eta = \frac{208,161}{218,2} \times 100\%$$

$$= 95 \%$$

- Trafo beban 400 watt

$$\eta = \frac{266,364}{287} \times 100\%$$

$$= 93 \%$$

- Trafo beban 500 watt

$$\eta = \frac{315,24}{351,2} \times 100\%$$

$$= 90 \%$$

2. Trafo toroid seng talang galvalum

- Perhitungan daya output

$$P = V \times I$$

- Trafo tanpa beban

$$P = 103 \times 0$$

$$= 0$$

- Trafo beban 100 watt

$$P = 99 \times 0,73$$

$$= 72,27 \text{ watt}$$

- Trafo beban 200 watt

$$P = 95,2 \times 1,44$$

$$= 137,08 \text{ watt}$$

- Trafo beban 300 watt

$$P = 91,9 \times 2,14$$

$$= 196,666 \text{ watt}$$

- Trafo beban 400 watt

$$P = 88,9 \times 2,81$$

$$= 249,809 \text{ watt}$$

- Trafo beban 500 watt

$$P = 86,3 \times 3,44$$

$$= 296,872 \text{ watt}$$

- Perhitungan efisiensi trafo toroid

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- Trafo tanpa beban

$$\eta = \frac{0}{52,632} \times 100\%$$

$$= 0$$

- Trafo beban 100 watt

$$\eta = \frac{72,27}{118,349} \times 100\%$$

$$= 61 \%$$

- Trafo beban 200 watt

$$\eta = \frac{137,088}{188,79} \times 100\%$$

$$= 73 \%$$

- Trafo beban 300 watt

$$\eta = \frac{196,666}{261,058} \times 100\%$$

$$= 75\%$$

- Trafo beban 400 watt

$$\eta = \frac{249,809}{329,875} \times 100\%$$

$$= 76 \%$$

- Trafo beban 500 watt

$$\eta = \frac{296,872}{394,835} \times 100\%$$

$$= 75 \%$$

