

**STUDI ANALISIS PERHITUNGAN RUGI *HYSTERISIS* DAN  
ARUS *EDDY* PADA TRAFO *STEP UP* SATU *FASE* 220V / 5 kV,  
50mA**

**SKRIPSI**

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**Erdian Prabowo**

**14524015**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta**

**2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI ANALISIS PERHITUNGAN Rugi HYSTERISIS DAN ARUS EDDY PADA  
TRAFO STEP UP SATU FASE 220V / 5kV, 50mA, 50Hz**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**

**Disusun oleh:**

**Erdian Prabowo  
14524015**

Yogyakarta, 12 Oktober 2018

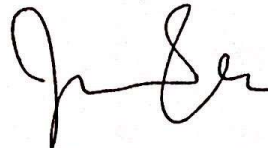
**Menyetujui,**

Pembimbing 1



**Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng  
985240104**

Pembimbing 2



**Ir. Suyanto  
995200430**

# LEMBAR PENGESAHAN

## SKRIPSI

### STUDI ANALISIS PERHITUNGAN RUGI HYSTERISIS DAN ARUS EDDY PADA TRAFO STEP UP SATU FASE 220V /5kV, 50mA

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Erdian Prabowo**

**14524015**

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: **22 Oktober 2018**

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : **Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng,** \_\_\_\_\_

Anggota Penguji 1: **Firmansyah Nur Budiman, ST, M.Sc,** \_\_\_\_\_

Anggota Penguji 2: **Medilla Kusriyanto, ST, M.Eng,** \_\_\_\_\_

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: **26 Oktober 2018**

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Musuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D**

**NIK : 045240101**

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, tanggal Oktober 2018



Erdian Prabowo

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,*

*Alhamdulillah* rabbil'alamin, segala puji syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga pada kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “ANALISIS PERHITUNGAN RUGI HYSTERISIS DAN ARUS EDDY PADA TRAFO STEP UP SATU FASE 220V / 5KV, 50mA, 50Hz” sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

Penulis juga menyadari bahwa selama berlangsungnya penelitian, sampai dengan tahap penyelesaian laporan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu do'a dan ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua serta saudara-saudaraku tercinta yang telah memberikan nasihat, do'a, dan dukungan moril maupun materil kepada penulis dalam menuntut ilmu, sehingga penyusunan laporan skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia (UII).
3. Bapak Wahyudi Budi Pramono., S.T, M.Eng., dan Bapak Ir. Suyamto selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, masukan dan semangat dalam membimbing penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro atas segala ilmu dan bimbingannya yang telah diberikan kepada penulis.
5. Saudara-saudara Teknik Elektro, khususnya angkatan 2014 yang telah saling memotivasi dan membantu terselesainya skripsi ini.
6. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, dan semua orang maupun kepada penulis sendiri, Aamiin.

## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Arti Singkatan
$P_{fe}$	Rugi Inti
$P_h$	Rugi <i>Hysteresis</i>
$P_e$	Rugi Arus <i>Eddy</i>
$P_{cu}$	Rugi Tembaga
$K_h$	Konstanta <i>Hysteresis</i>
$K_e$	Konstanta Arus <i>Eddy</i>
$f$	Frekuensi

## ABSTRAK

Tegangan tinggi mempunyai banyak manfaat dalam dunia kelistrikan. Salah satunya untuk mentransmisikan listrik dari pembangkit listrik sampai ke pengguna listrik. Salah satu alat untuk menaikkan tegangan tinggi yaitu transformator *step up*. Perancangan transformator *step up* bertujuan untuk menaikkan tegangan pada sisi sekunder. Sebelumnya, telah dilakukan perancangan transformator dengan daya beban penuh 2500 VA, tegangan 220 V / 5 kV, model inti besi memiliki tipe *shell type*. Dalam rancangan ini dihitung dimensi transformator baik kumparan maupun intinya, dan dievaluasi rugi-rugi inti. Pengujian ini berada dalam keadaan tanpa beban (*Open Circuit Test*), maka arusnya berada pada sisi primer yang biasanya dinamakan arus magnetisasi. Besaran arus tersebut bergantung pada sifat besi yang dipergunakan untuk pembuatan inti trafo. Untuk mengetahuinya dilakukan pengujian tersebut dapat dievaluasi rugi inti yang timbul pada model inti besi trafo tersebut. Rugi inti sendiri terdiri atas rugi *hysteresis* dan rugi arus *eddy*. Kedua rugi tersebut berbanding lurus dengan frekuensi. Konsep pemisahan kerugian inti total pada frekuensi magnetis yang diberikan ini mewakili jumlah energi yang diubah menjadi panas selama satu siklus frekuensi. Transformator yang akan diuji pada sisi primer dihubungkan dengan keluaran generator dan dipasang pengukur tegangan serta pengukur arus. Pada sisi sekunder dalam keadaan terbuka. Pengukuran pada 50Hz memberikan hasil rugi inti sebesar 220 watt dimana terdiri atas 35 watt rugi *hysteresis* dan 185 watt rugi arus *eddy*.

Kata Kunci : Transformator; Rugi Inti; Frekuensi; Arus *Eddy*; Rugi *Hysteresis*.

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Studi Literatur .....	3
2.2 Tinjauan Teori.....	5
2.2.1 Rugi-rugi Inti pada Transformator.....	5
2.2.2 Fluks Sisa pada Inti Transformator.....	8
BAB 3 METODOLOGI.....	10
3.1 Alat dan Bahan.....	10
3.2 Alur Penelitian .....	11
3.3 Medan Magnet .....	12
3.4 Proses Arus Eddy.....	13
3.5 Pengujian Tanpa Beban .....	13
3.6 Generator .....	14
3.6.1 Hubungan antara Frekuensi (Hz) dengan Kecepatan (rpm) .....	15



3.7 Analisa Data Hasil Pengujian Alat .....	16
3.8 Regresi Linier .....	16
3.9 Penyusunan Laporan.....	17
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Tahap Pengujian Tanpa Beban Transformator .....	18
4.2 Kerugian Besi .....	19
4.3 Perhitungan Hasil Pengujian.....	20
4.3.1 Perhitungan Regresi Linier .....	20
4.4 Perhitungan Rugi inti .....	22
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	25
5.1 Kesimpulan .....	25
5.2 Saran .....	25
DAFTAR PUSTAKA .....	26
LAMPIRAN.....	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Garis Gaya Magnet.....	6
Gambar 2.2 Kurva <i>Hysterisis</i> secara umum.....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi timbulnya arus <i>eddy</i> .....	8
Gambar 2.4 Lengkung <i>Hysterisis</i> .....	9
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	11
Gambar 3.2 Medan Magnet pada kumparan .....	12
Gambar 3.3 Tegangan menginduksi fluks pada inti transformator .....	12
Gambar 3.4 Arus <i>eddy</i> pada tiap lapisan inti transformator.....	13
Gambar 3.5 Kutub Generator dengan 1 Periode Gelombang.....	15
Gambar 4.1 Skema Pengujian .....	18
Gambar 4.2 Penetapan Besaran $P_{fe} / f$ .....	19
Gambar 4.3 Grafik besaran $P_{fe} / f$ .....	23

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Generator .....	14
Tabel 4.1 Data Pengujian Kondisi Tanpa Beban .....	20
Tabel 4.2 Perhitungan Mencari Koefisien Regresi Linier.....	20

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Tegangan tinggi sangat dibutuhkan dalam sistem kelistrikan untuk digunakan di laboratorium, pendidikan maupun bidang industri. Yang disebut tegangan tinggi dalam dunia teknik tenaga listrik (*electric power engineering*) ialah semua tegangan yang dianggap cukup tinggi oleh para teknisi listrik sehingga diperlukan pengujian dan pengukuran tegangan tinggi memiliki berbagai manfaat dan aplikasi antara lain sebagai sumber tenaga listrik untuk menyuplai kebutuhan listrik, pengujian bahan isolasi, kebutuhan studi dan penelitian di laboratorium dan lain-lain. Dalam rancangan ini, pembangkitan tegangan tinggi khususnya untuk daya besar menggunakan peralatan pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC) yaitu transformator tegangan tinggi[1].

Transformator merupakan peralatan daya listrik yang penting karena berhubungan langsung dengan saluran transmisi dan distribusi listrik. Dalam aplikasinya sering kali terjadi permasalahan selama proses suplai berlangsung. Maka selama proses rangkaian yang terjadi akan timbul salah satu fenomena pada transformator yang tidak diharapkan salah satunya adalah rugi inti. Gangguan pada transformator akan menyebabkan terputusnya daya ke konsumen oleh karena itu perawatan dan pendeteksian kerusakan transformator perlu dilakukan secara rutin agar keadaan tersebut tidak terjadi ketika transformator terhubung dengan tegangan bolak balik. Rugi Inti sendiri terdiri dari rugi *hysteresis* dan arus *eddy* yang dapat diukur melalui rangkain percobaan tanpa beban sehingga arus masuk ke trafo yang timbul berupa rugi inti.

Bedasarkan uraian latar belakang diatas, maka perlu dilakukanlah pengujian pada sebuah transformator tegangan tinggi. Transformator yang digunakan untuk pengujian berjenis *step up* satu fase 2500VA. Salah satunya ada Uji Tak Rusak (*Non-destructive Testing*) dengan metode arus pusar, metode ini menggunakan fenomena kelistrikan dan kemagnetan yang terdapat pada trafo[1]. Salah satu karakteristik fenomena kelistrikan dan kemagnetan yang dapat diamati adalah timbulnya arus pusar pada benda yang menerima medan magnet. Sedangkan induksi medan magnet membangkitkan arus pusar yang berbeda karakterisitiknya setiap benda.

Penyimpangan besaran listrik dan medan magnet akan berbeda dari keadaan standarnya pada benda yang diuji sehingga menimbulkan karakteristik yang berbeda pula pada arus pusar yang timbul. Efek adanya arus pusar ini dapat dijelaskan dan diamati menggunakan hukum-hukum fisika. Maka dengan demikian, penulis mengambil skripsi dengan judul “Studi Analisis Perhitungan Rugi *Hysteresis* dan Rugi Arus *Eddy* pada Tranfomator *Step Up* Satu Fasa 220 /

5Kv, 50mA ” agar dapat diketahui nantinya besar nilai rugi inti yang akan terjadi dan tindakan yang tepat untuk penanggulangnya..

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh yang ditimbulkan oleh rugi *hysteresis* dan arus *eddy* terhadap trafo?
2. Bagaimana menganalisis nilai rugi inti yang timbul pada trafo?

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini:

1. Parameter rugi inti yang dianalisis adalah rugi *hysteresis* dan rugi arus *eddy*
2. Hanya dianalisis seberapa besar nilai rugi inti yang timbul pada trafo
3. Transformator yang digunakan adalah transformator satu fase berjenis tipe cangkang dengan spesifikasi rancangan sisi primer 220 V dan sisi sekunder 5kV

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini:

1. Mempelajari dan menganalisis rugi inti yang timbul akibat perubahan frekuensi yang masuk ke trafo.
2. Mengetahui nilai rugi inti masing – masing *rugi hysteresis* dan rugi arus *eddy*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini:

1. Mengetahui penyebab dan besaran nilai rugi – rugi inti yang timbul
2. Mengetahui kinerja trafo pada masukan nilai frekuensi yang berbeda – beda
3. Mampu sebagai acuan / pembelajaran dalam nantinya akan merancang transformator

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Pada sistem pendistribusian sistem tenaga dibutuhkan suatu peralatan yang mampu dimanfaatkan sebagai penaik dan penurun tegangan sesuai kapasitas kebutuhan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka peralatan yang digunakan adalah transformator. Transformator yang dianalisa kali ini ialah Transformator daya yang merupakan alat pemegang peranan penting dalam sistem daya. yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu: transformator *step down* yang berfungsi sebagai menurunkan tegangan dan transformator *step up* yang berfungsi menaikkan tegangan. Pada transformator yang dibahas kali ini adalah transformator *step up* satu fase 220V/5kV.

Tujuan dari transformator adalah untuk mentransfer energi dari input ke output melalui medan magnet dan mengoptimalkan transfer energi ini dalam keluaran yang diberikan. Jumlah energi yang ditransfer dalam transformator ditentukan dari beberapa parameter yang rumit yang disebabkan berupa bentuk desain inti trafo, suhu pengoperasian, frekuensi dan kepadatan fluks. Hal yang perlu diperhatikan bahwa setiap inti transformator memiliki frekuensi kritis. Kerugian frekuensi kritis ini dapat diminimalkan dengan memilih kerapatan fluks. Pentingnya hal tersebut dapat bermanfaat pada teknik untuk menghasilkan sistem yang efisien, handal dan juga untuk membangun metode yang mengarah pada pemilihan inti yang optimal. Rugi – rugi yang terjadi pada transformator dapat dijabarkan berupa rugi-rugi primer, rugi - rugi sekunder dan rugi-rugi inti (besi). Rugi-rugi primer dan sekunder adalah rugi – rugi yang disebabkan oleh resistansi dari masing-masing pada belitan primer dan sekunder. Sedangkan jika transformator dalam kondisi tidak berbeban, maka rugi-rugi yang terdapat pada belitan sekunder akan bernilai nol.

Pendistribusian fluks dalam perubahan lapisan inti besi untuk frekuensi tinggi akan terbatas pada lapisan tipis dekat permukaan laminasi. Dimana ketebalannya akan menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa induktansi yang mewakili magnetisasi dan tahanan jalur besi yang mempresentasikan kerugian arus *eddy* bergantung pada frekuensi. Beberapa model transformator yang digunakan untuk studi secara tradisional mewakili induksi magnetik dalam inti oleh induktansi non linier yang mencerminkan kejenuhan besi. Dalam hal ini rugi inti yang berupa rugi *hysteresis* dan arus *eddy* akan dicerminkan oleh resistansi konstan yang terhubung paralel dengan induksi magnetik. Pada rugi *hysteresis* di cerminkan oleh karakteristik dinamis kurva BH saturasi *non linier*[2]. Parameter tersebut didapat dari pengujian hubung buka atau tanpa beban efek arus *eddy* perlu dimasukkan kedalam algoritma sebelum masuk ke dalam matriks perhitungan induktansi transformator. Dengan

demikian nilai arus yang dihitung dari arus saturasi yang disuntikkan melalui gulungan berliku juga mengandung efek arus *eddy*. arus -tiga pengaruh yang mengakibatkan timbulnya rugi-rugi pada trafo yaitu dapat dilihat sebagai berikut:

- Arus rms.

Yaitu ketika trafo kapasitasnya hanya untuk kVA yang diperuntukkan di beban, lalu pada arus harmonisa mampu berakibat menjadikan arus rms trafo berubah lebih besar dari kapasitas mulanya. Arus rms yang meningkat tadi dapat menjadikannya rugi-rugi pada penghantar.

- Arus *Eddy*.

Di dalam trafo terdapat arus induksi yang timbul karena adanya fluks magnetik. Mengalirnya Arus induksi ini terjadi di belitan, di inti, dan dibadan penghantar lain yang terlingkupi oleh medan magnet dari trafo dan menjadikan penyebab timbulnya panas lebih pada kawat. Pengaruhnya langsung komponen rugi-rugi trafo ini meningkat dengan hasil dari kuadrat frekuensi arus penyebab arus *eddy*. Oleh sebab itu, hal tersebut membuat komponen yang sangat penting dari rugi-rugi trafo yang menyebabkan pemanasan oleh harmonisa.

- Rugi inti

Peningkatan pada rugi inti yang dikarenakan harmonisa yang disebabkan pengaruh harmonisa pada tegangan yang disalurkan dan rancangan dari inti trafo. jika semakin tinggi nilai distorsi tegangan maka akan berbanding lurus dengan semakin tinggi pula nilai arus *eddy* di inti. Peningkatan rugi inti yang berdampak pada harmonisa tidak sekritis dua rugi-rugi di atas. Pada transformator daya, penyebab arus yang bernilai besar dan panas berlebih disebabkan karena arus urutan nol yang bersirkulasi pada belitan delta. Dengan demikian, perhitungan arus sirkulasi ini harus tepat pada keberadaannya saat melakukan perancangan sistem. Maka dari itu mengatasi pemanasan berlebih yang diakibat harmonisa, perancang sistem melakukan pembesaran pada kapasitas daya transformator yang mungkin bertujuan memperbesar kapasitas pendinginan nantinya. Tetapi cara tersebut justru berdampak terhadap masalah yang lebih lanjut. seperti konduktor yang lebih besar malah menyebabkan pemanasan yang lebih besar juga yang mengakibatkan harmonisa frekuensi tinggi. Maka dari itu, saat terjadi memperbesar kapasitas transformator berarti juga turut memperbesar nilai arus harmonis yang akan mengalir dalam sistem. Penurunan efisiensi pada transformator akibat harmonisa mampu mencapai kisaran 6 %.

## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 Rugi-rugi Inti pada Transformator

Dasar ketika energi listrik yang masuk ke transformator tidak akan sama dengan energi listrik yang akan dikeluarkan dari transformator. Hal tersebut disebabkan adanya rugi - rugi yaitu adanya arus yang hilang saat melewati trafo tersebut. Rugi-rugi tersebut dapat dibagi menjadi dua yaitu : rugi inti ( $P_{fe}$ ) dan rugi tembaga ( $P_{CU}$ ). Ketika kondisi beban nol atau tidak berbeban, rugi - rugi yang didapat hanya rugi inti saja. perubahan beban tidak mempengaruhi rugi inti. Besarnya rugi inti ketika dari beban nol sampai beban penuh nilainya akan terus sama. Tetapi bagaimana cara pengukuran yang tepat yaitu ditunjukkan melalui pembangkitan induksi elektromagnetik. Bila aliran arus listrik mengalir pada kumparan maka akan menimbulkan medan magnet sehingga timbul aliran listrik, proses konversi dari perubahan medan magnet menjadi arus listrik itulah yang disebut induksi elektromagnetik. Induksi elektromagnetik itulah yang nantinya akan menjadi dasar pengujian *eddy current*. sumber tegangan dengan frekuensi j maka efek induktansi ada terus menerus, karena besar medan magnet induksi berubah secara periodik kontinu. Suatu kumparan yang akan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka tegangan induksi diri akan berlawanan dengan tegangan bolak-balik terpasang. Tegangan induksi ini terjadi setiap setengah periode yang demikian arus yang mengalir lebih kecil dari pada bila diberi tegangan searah[1]. Tegangan induksi akan bertambah besar dengan pertambahan kecepatan perubahan medan magnet (dengan frekuensi yang lebih tinggi) dan setiap bertambahnya induktansi kumparan. Induksi Elektromagnetik ini akan berhubungan dengan garis fluks yang dibangkitkan, sehingga didapat persamaan:

$$B = \mu H = \mu (N I / X_m) \text{ (weber /m}^2\text{)} \quad (2.1)$$

Dimana:

$B$  = Induksi Magnetik (weber/ $m^2$ )

$N$  = Jumlah lilitan kawat pada kumparan

$I$  = Arus listrik (A)

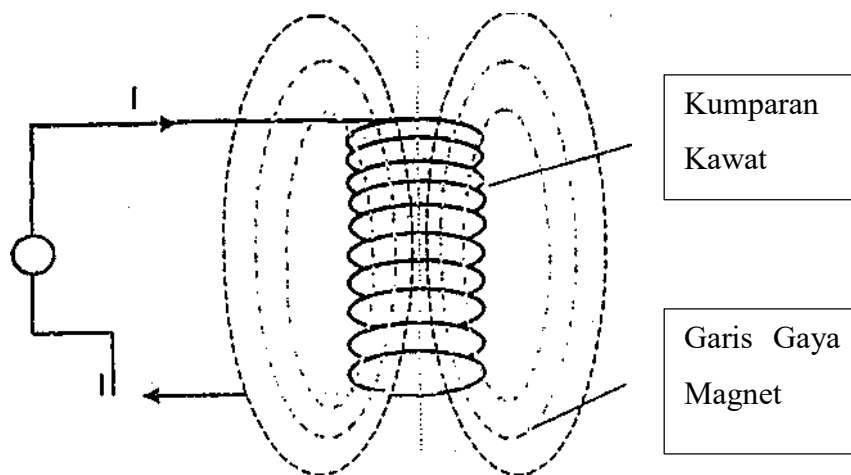
$A$  = Luas Penampang kawat ( $cm^2$ )

$\mu$  = Permeabilitas inti besi

$H$  = Kuat medan magnet (AT/m)

$X_m$  = panjang rata-rata inti yang dilalui garis gaya





Gambar 2.1 Garis Gaya Magnet

Berikut rugi – rugi yang akan ditemukan pada trafo :

1. Rugi Tembaga ( $P_{cu}$ )

Rugi yang disebabkan oleh arus mengalir pada kawat tembaga. Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga. Rugi – rugi ini dapat ditulis sebagai berikut[3]:

$$P_{cu} = I^2 R \quad (2.2)$$

Dimana :

$P_{cu}$  = rugi – rugi tembaga (watt)

$I$  = arus (A)

$R$  = tahanan ( $\Omega$ )

Perumusan ini diatas diperuntukkan hanya sebagai pendekatan. Disebabkan arus beban yang terus mengalami perubahan, rugi tembaga juga tidak konstan karena tergantung pada nilai beban.

2. Rugi Inti ( $P_{fe}$ )

Rugi inti atau rugi besi pada transformator adalah rugi dalam watt. Rugi inti pada transformator dibagi atas dua bagian, yaitu rugi *hysteresis* dan arus *eddy* yang dapat diukur melalui percobaan/test tanpa beban,dimana pada saat tanpa beban rugi *hysteresis* yaitu rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi, sedangkan rugi arus *eddy* [4], yaitu rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi. Jadi rugi inti dapat ditulis dalam persamaan:

$$P_{fe} = P_h + P_e \quad (2.3)$$

Dimana :

$$P_{fe} = \text{rugi inti (watt)}$$

$$P_h = \text{rugi hysteresis (watt)}$$

$$P_e = \text{rugi arus eddy (watt)}$$

### 3. Rugi Hysteresis ( $P_h$ )

Rugi *hysteresis* adalah rugi yang diakibatkan oleh fluks ( $\Phi$ ) bolak-balik di inti besi. Pada besi yang mendapat fluks bolak-balik, Rugi *hysteresis* per *cycle* berbanding dengan luas lup (jerat) *hysteresis* [5]. Rugi *hysteresis* dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

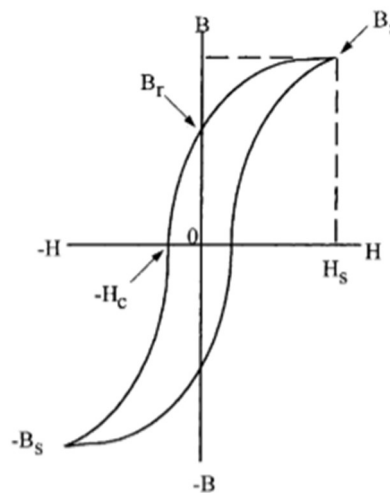
$$P_h = K_h f B_m^2 \quad (2.4)$$

Dimana:

$K_h$  = konstanta *Hysteresis*

$f$  = frekuensi (Hz)

$B_m$  = kerapatan fluks maksimum (Tesla)



Gambar 2.2 Kurva *Hysteresis* secara umum

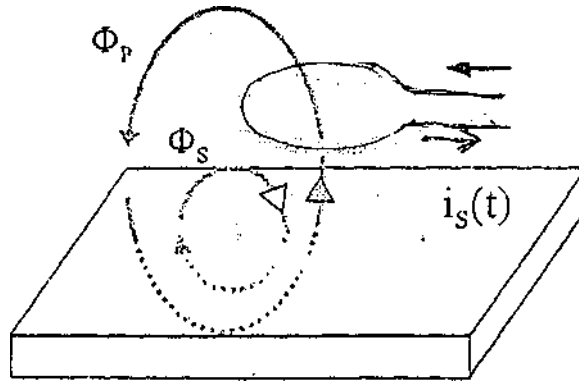
### 4. Rugi Arus Eddy ( $P_e$ )

Penyebab pada rugi ini disebabkan pemanasan pada ketebalan inti besi oleh arus yang terinduksi pada inti dan perbedaan tegangan antara sisinya maka akan membangkitkan arus yang berputar – putar pada sisi yang luas/tebal. Adanya arus *eddy* berdasar pada fluks magnetik yang mana perbedaan tegangan antara sisinya yang memberikan perubahan fluks tersebut. Pada dasarnya induksi tegangan di besi ini sama seperti pada transformator (dapat dianggap bahwa tiap lempeng besi adalah sekunder yang terhubung singkat), maka emf induksi di inti akan berbanding dengan fluks ( $e = 4,44 f n \Phi$ ). Impedansi dari inti yang di aliri arus dapat dianggap konstan untuk laminasi yang tipis dan tidak tergantung pada

frekuensi, untuk frekuensi rendah atau frekuensi daya listrik [2], sehingga dapat dituliskan persamaan:

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 \quad (2.5)$$

Dimana  $K_e$  adalah konstanta arus *eddy*.



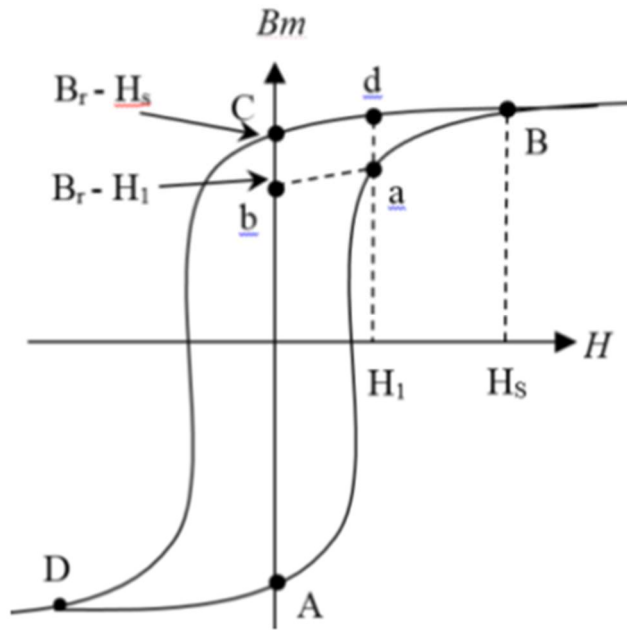
Gambar 2.3 Ilustrasi timbulnya arus *eddy*

Sehingga dari 2 bagian rugi inti didapat persamaan seperti berikut:

$$P_{fe} = P_h + P_e = K_h f B_m^2 + K_e f^2 B_m^2 \quad (2.6)$$

### 2.2.2 Fluks Sisa pada Inti Transformator

Pada setiap bagian logam terletak dalam suatu medan magnetik yang berubah-ubah, diinduksikan sebagai suatu arus pusar. Gaya gerak listrik yang mengakibatkan terjadinya arus *eddy* itu dengan sendirinya berbanding lurus dengan fluks magnetik. fluks sisa pada inti trafo sangat dipengaruhi oleh kerapatan fluks listrik. Karena semakin besar kerapatan fluks listrik yang berbeda maka akan mempunyai kurva *hysteresis* inti yang berbeda. Seperti gambar 2.4:



Gambar 2.4 Lengkung *Hysteresis*

Pada gambar 2.4 dijelaskan bahwa titik a adalah titik dimana transformator dalam keadaan dimatikan (*off*). Dan  $H_1$  adalah kuat medan magnet ketika trafo dimatikan (*off*) pada momen ini sisa fluks yang timbul sangat bergantung pada letak titik a berada didalam kurva *hysteresis*. Penyebabnya pada transformator dalam keadaan dimatikan nilai medan magnet bernilai nol sehingga kerapatan fluks akan berpindah dari awalnya titik a akan menuju titik b. Besarnya posisi titik a akan mempengaruhi besar titik b pula dikarenakan titik b adalah kerapatan fluks sisa maka diperoleh nilai dari kerapatan fluks sisa yang besar[5].

Perolehan mendapat nilai fluks sisa didapat dari persamaan sebagai berikut:

$$B_r | H_1 = B_a - \frac{H_1}{2H_s - H_1} * (B_d - B_c) \quad (2.7)$$

Dimana:

$B_r$  = fluks sisa

$H_1$  = medan magnet saat transformator dimatikan

$H_s$  = kuat medan magnet saat inti menagalami titik jenuh

$B_a, B_d$  dan  $B_c$  = fluks pada titik a, d dan c

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Alat dan Bahan

Sebelum dilakukan pengujian diperlukan alat dan bahan yang perlu disiapkan pada pengujian tanpa beban, yaitu:

- Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus pada transformator.
- Wattmeter untuk mengukur daya yang dihasilkan oleh transformator.
- Cos phi meter untuk mengukur faktor daya.
- Slide regulator untuk mengatur keluaran tegangan yang diinginkan.
- Motor universal berupa sebuah alat penggerak generator dengan mengubah sumber tegangan bolak-balik menjadi energi mekanik.
- Generator berupa sebuah alat yang digunakan menghasilkan listrik dengan energi mekanik sebagai sumbernya yang dalam kasus ini adalah motor yang keluarannya terhubung dengan transformator.

Metodologi ini diuraikan menjadi beberapa tahapan. Pengujian sistem ini dilakukan untuk mendapat variasi frekuensi input transformator yang didapat melalui serangkaian perancangan. Dalam perancangan sistem menggunakan sebuah *variac* yang terhubung motor universal yang menghasilkan putaran yang terhubung kembali ke generator 3 fase berkapasitas 5kW / 380 V. Keluaran generator tersebutlah yang dimanfaatkan memberikan input tegangan menuju trafo.

Variasi yang didapat dari pengujian ini didapat dari regulator yang memberikan batasan input pada motor. Regulator adalah mempertahankan tegangan pada level tertentu tanpa dipengaruhi perubahan tegangan input, beban pada *output* dan juga suhu. Dari tegangan yang diatur tersebut maka keluaran putaran motor juga akan berubah sesuai tegangan yang masuk. Putaran motor yang terhubung pada generator pun akan menghasilkan keluaran tegangan dan frekuensi yang bervariasi sesuai putaran kopel yang diterima generator. Dengan perbedaan frekuensi yang diuji dan parameter yang didapat, penulis dapat menganalisa dan mengetahui pengaruhnya terhadap rugi inti yang timbul pada transformator yang diuji.

### 3.2 Alur Penelitian

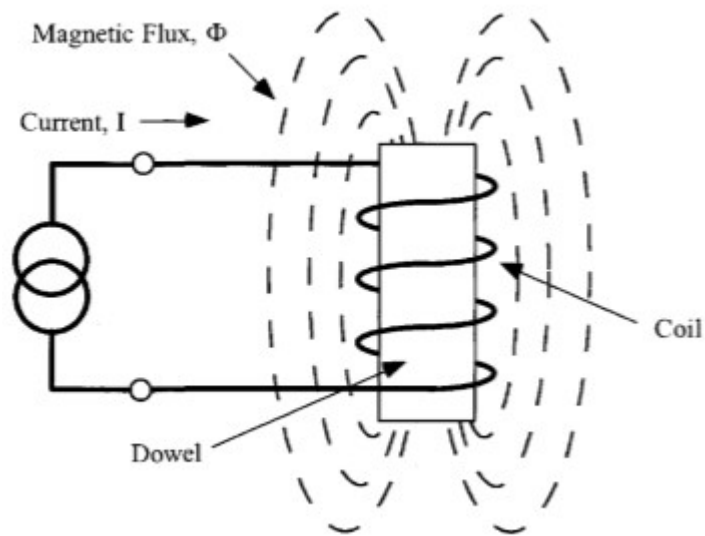
Alur pada penelitian ini diuraikan dalam diagram alir (*flowchart*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

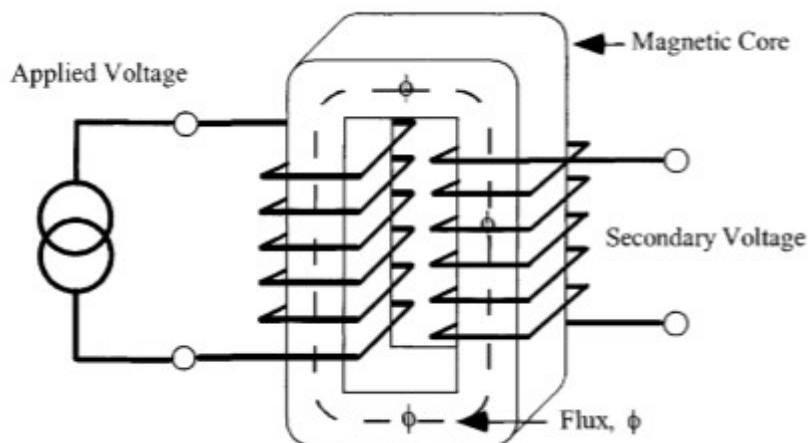
### 3.3 Medan Magnet

Bahan utama dalam perangkat magnetik seperti trafo adalah medan magnet (fluks) yang timbul ketika aliran arus melalui kawat melingkar. Kemampuan dalam mengendalikan medan magnet (fluks) untuk pengoperasian perangkat magnetik didefinisikan sebagai permeabilitas. Terdapat beberapa bahan seperti besi, nikel dan kobalt yang memiliki permeabilitas tinggi. Bahan-bahan ini yang digunakan sebagai dasar bahan untuk pembuatan inti transformator [6].



Gambar 3.2 Medan Magnet pada kumparan

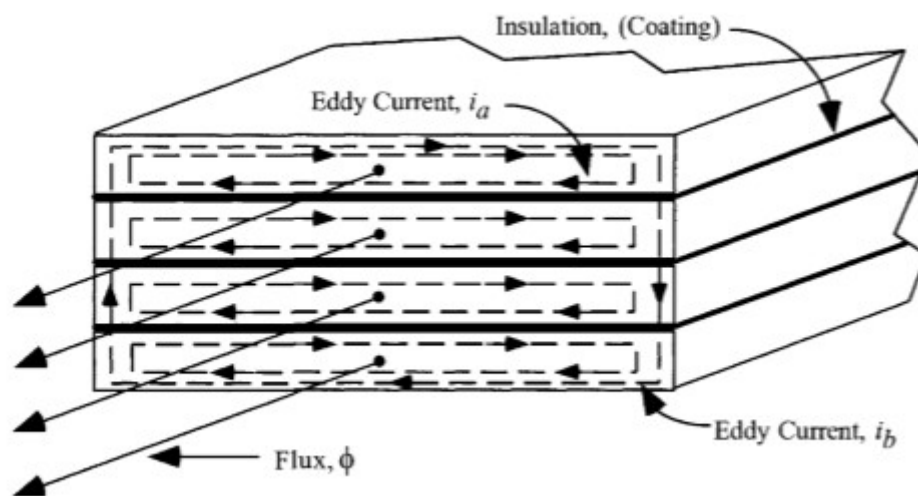
Tujuan dalam penggunaan inti adalah untuk wadah yang mengandung fluks magnetik dan memberikan jalur yang terdefinisi dengan baik dan dapat diprediksi oleh fluks. Jalur pada fluks ini dan jarak yang tercakup oleh fluks dalam material magnetik didefinisikan sebagai jalan magnetik (*Magnetic Path Length*) pada gambar. Panjang jalan magnetik dan permeabilitas sangat penting sebagai kunci dalam memprediksi karakteristik dalam pengoperasian transformator.



Gambar 3.3 Tegangan menginduksi fluks pada inti transformator

### 3.4 Proses Arus Eddy

Jika pada pengoperasian diberikan tegangan bolak-balik pada sisi primer maka akan menginduksi fluks dalam inti. Perubahan fluks nantinya akan menyebabkan timbulnya tegangan pada lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini juga menginduksi tegangan bolak-balik dalam material inti. Tegangan dalam material inti menghasilkan arus yang disebut arus *eddy* yang akan sebanding dengan tegangan. Besarnya arus *eddy* ini juga dibatasi oleh resistifitas material. Seperti ditunjukkan pada gambar 3.4 arus *eddy* tidak hanya mengalir dalam laminasi itu sendiri tetapi bisa mengalir inti sebagai unit jika laminasi tidak dibuat dengan benar dan jika laminasi tidak cukup terisolasi.



Gambar 3.4 Arus *eddy* pada tiap lapisan inti transformator

Pada gambar 3.4 ditampilkan ada 2 jenis arus *eddy* yaitu  $I_a$  dan  $I_b$ .  $I_a$  atau disebut *Intralaminar* adalah arus *eddy* yang besarnya diatur oleh fluks per laminasi, lebar, ketebalan dan ketahanan laminasi itu sendiri. Sedangkan  $I_b$  atau disebut *Interlaminar* adalah arus *eddy* yang timbul pada tumpukan antar lapisan inti yang bergantung pada lebar, tinggi tumpukan dan ketahanan isolasi permukaan per laminasi.

Laminasi sendiri berbeda satu dengan yang lain tergantung oleh pemotongan jalur magnetiknya. Potongan ini yang akan memberikan celah udara sehingga permeabilitas menghilang. Untuk meminimalkan celah udara tersebut maka laminasi perlu ditumpuk sedemikian rupa agar celah udara dapat ditutup[6].

### 3.5 Pengujian Tanpa Beban

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa rugi inti trafo terdiri dari rugi *hysteresis* dan arus *eddy* yang hanya dapat diukur melalui percobaan/test tanpa beban, di mana pada saat tanpa beban, arus masuk ke trafo adalah untuk rugi inti.



Pada saat transformator dihubungkan ke sumber, daya yang masuk ke trafo bernilai:

$$P_o = V_o I_o \cos \Phi \quad (3.1)$$

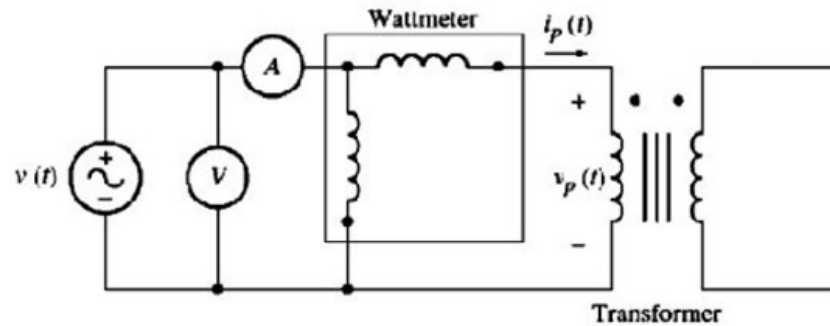
Dimana:

$P_o$  = Daya tanpa beban ( daya *hysteresis* dan daya arus *eddy* ) (watt)

$V_o$  = Tegangan Sumber ( V )

$I_o$  = Arus tanpa beban (A)

$\cos \Phi$  = faktor daya



Catatan: pengukuran  $\cos \phi$  sama dengan pengukuran daya  $P_o$  (watt)

### 3.6 Generator

Generator pada *system* ini menggunakan generator sinkron. Generator ini menggunakan konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (*alternator*) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya.

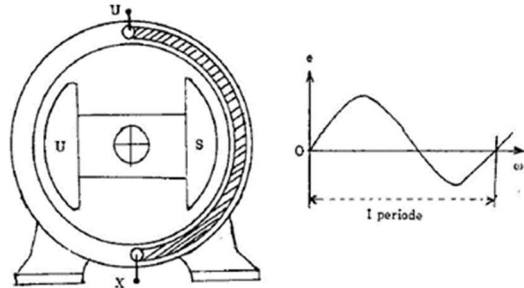
Tabel 3.1 Spesifikasi Generator

Generator Sinkron 3 Fasa	
Daya	5 kW
Tegangan	380 V
Arus	9.5 A
Frekuensi	50 Hz
Putaran	1500 rpm
Cos Phi	0.8
Type	STC - 5

### 3.6.1 Hubungan antara Frekuensi (Hz) dengan Kecepatan (rpm)

#### a. Pengertian Satu Periode

Waktu yang digunakan untuk menghasilkan dua buah kutub yang tak senama yang berurutan melalui sebuah kumparan sama dengan satu periode.



Gambar 3.5 Kutub Generator dengan 1 Periode Gelombang

Dalam satu periode, akan menghasilkan satu gelombang penuh. Jadi satu periode adalah waktu yang diperlukan untuk terbentuknya satu gelombang penuh. Pada generator ber kutub dua, waktu yang digunakan satu putaran sama dengan satu periode. Pada generator ber kutub empat, waktu yang digunakan untuk satu putaran sama dengan dua periode.

#### b. Pengertian Frekuensi

Dari gambar 3.3 dapat dilihat bahwa setiap kutub U-S berputar satu kali, maka akan menghasilkan 1 gelombang/getaran yang terdiri dari satu lengkung positif dan satu lengkung negatif dalam bentuk sinus secara sempurna. Banyaknya gelombang yang terbentuk setiap detik disebut frekuensi. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk terbentuknya satu gelombang disebut satu periode.

Sehingga antara nilai akan diperoleh hubungan:

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

Dimana:

$f$  = Frekuensi

$T$  = Periode dalam satu detik.

Frekuensi listrik yang dihasilkan untuk ketenagaan didasarkan pada jumlah kutub:

$$f = \frac{p.n}{120} \quad (3.3)$$

Dimana:

$p$  = banyaknya kutub

### 3.7 Analisa Data Hasil Pengujian Alat

Pada proses ini analisis dilakukan di laboratorium ketenagaan Universitas Islam Indonesia dengan menguji apakah bagian pengukuran yang telah ditentukan dari penulis untuk mendapatkan hasil parameter simulasi yang sudah dijalankan atau belum. Jika hasil ujicoba berhasil maka dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu perhitungan persamaan, tetapi jika hasil ujicoba dianggap gagal maka dilakukan pengujian ulang pada proses simulasi hingga hasil ujicoba yang didapatkan berhasil. Pada pengujian mempunyai empat variasi tetapan frekuensi untuk mendapat hasil yang optimal, yaitu 20 Hz, 30 Hz, 40Hz, 50 Hz. Pengujian ini dilakukan melalui tes hubung buka (*Open Circuit Test*) untuk mendapat rugi inti yang diinginkan.

### 3.8 Regresi Linier

Dalam analisa dibutuhkan sebuah persamaan yang akan menghasilkan nilai titik potong dalam grafik besaran rugi inti. Titik potong tersebut akan menjadi batasan nilai dari rugi inti yang terdiri dari rugi *hysteresis* dan arus *eddy* [7].

Persamaan yang dicari berupa:

$$Y = a + bx \quad (3.4)$$

Dimana :

a = intersep/konstanta.

b = kemiringan (koefisien arah).

Persamaan tersebut didapat menggunakan regrerasi linier [7] dengan rumus sebagai berikut:

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum XY)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3.5)$$

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (3.6)$$

Dimana :

X = frekuensi ( faktor penyebab).

Y = Daya (variabel akibat/ terkait).

n = Jumlah data.

### **3.9 Penyusunan Laporan**

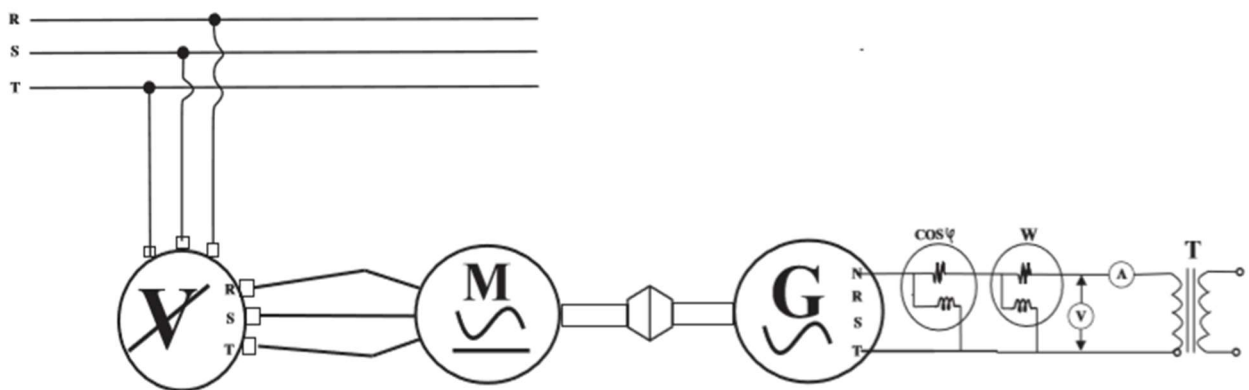
Ini adalah proses terakhir dalam alur penelitian, penyusunan laporan ini berisi tentang awal mula penulis mencari studi literatur hingga mendapatkan hasil ujicoba yang telah dilakukan dan kemudian membuatnya dalam bentuk laporan.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian ini dibahas berapa nilai rugi inti yang timbul nantinya dengan diberikan perubahan frekuensi input pada transformator dalam pengujian tanpa beban (*Open Circuit Test*). Kerugian trafo ini meliputi kerugian besi yang terdiri atas kerugian *hysterisis* ( $P_h$ ) dan kerugian arus *eddy* ( $P_e$ ). Variasi yang diujikan dengan menggunakan masing-masing bernilai 20, 30, 40, dan 50. Hasil parameter yang diujikan adalah daya, tegangan, arus, frekuensi, putaran kopel dan  $\cos \phi$ .

#### 4.1 Tahap Pengujian Tanpa Beban Transformator



Gambar 4.1 Skema Pengujian

Dari pengujian yang akan diuji dihubungkan dengan sumber jala yang tegangan dapat diatur sedemikian rupa untuk sisi input disisi primer transformator menggunakan keluaran generator. *Variac* diputar sedemikian rupa secara perlahan untuk mencapai nilai variasi tegangan. Pada sisi keluaran generator terhubung dengan sisi primer transformator dan dipasang pengukur tegangan serta pengukur arus. Sisi sekunder dibiarkan dalam keadaan terbuka (*Open Circuit test*) sebagaimana tampak pada Gambar 4.1. Pengaruh variasi masukan tegangan yang terjadi pada motor akan merubah putaran generator yang merubah tegangan dan frekuensi pada sisi primer transformator. Putaran juga akan menimbulkan panas dikarenakan motor tidak berjalan dengan spesifikasi yang ada pada *nameplate* sehingga perlu jeda dalam tiap tahap pengambilan data tiap masing-masing frekuensi.

## 4.2 Kerugian Besi

Dalam keadaan tanpa beban kerugian-kerugian besi terdiri atas kerugian *hysteresis* ( $P_h$ ) dan kerugian arus *eddy* ( $P_e$ ). Kerugian-kerugian *hysteresis* berbanding lurus dengan suatu konstanta  $K_h$ , frekuensi  $f$  dan kuadrat dari  $B_m$  ( $B_m^2$ ), sehingga ditulis  $P_h = K_h f B_m^2$ . Sedangkan kerugian-kerugian arus *eddy* berbanding lurus dengan suatu konstanta  $k_e$ , kuadrat dari frekuensi  $f$  ( $f^2$ ), dan kuadrat dari induksi  $B_m$  ( $B_m^2$ ), sehingga dapat ditulis  $P_e = K_e f^2 B_m^2$ . Dengan demikian maka rumus untuk kerugian besi dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{fe} = P_h + P_e = K_h f B_m^2 + K_e f^2 B_m^2 \quad (4.1)$$

$$P_{fe} = f B_m^2 (K_h + K_e f) \quad (4.2)$$

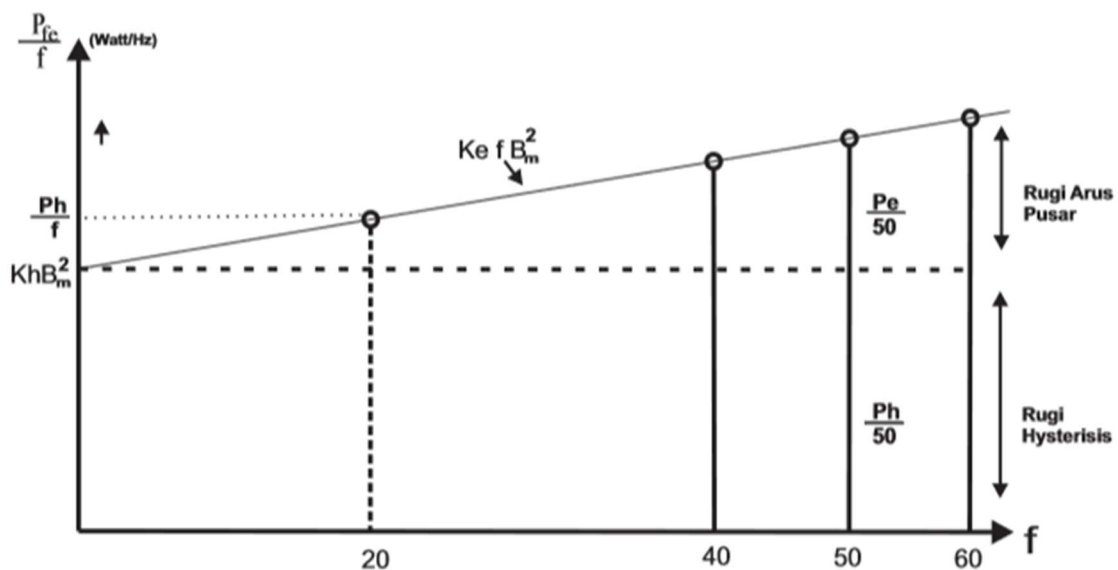
$$\frac{P_{fe}}{f} = B_m^2 (K_h + K_e f) = K_h B_m^2 + K_e f B_m^2 = b + a \quad (4.3)$$

$$P_{fe} = P_h + P_e = f b + f a \quad (4.4)$$

$$\frac{P_{fe}}{f} = \frac{P_{fe}}{f}(f) \text{ merupakan suatu garis lurus.} \quad (4.5)$$

Pada gambar 4.2 tampak garis lurus tersebut akan memotong sumbu vertikal, bila diambil untuk  $f = 0$  maka garis tersebut memotong sumbu Y pada harga  $P_{fe}/f = K_h B_m^2$ .

Dengan melakukan sejumlah pengukuran untuk beberapa nilai frekuensi, misalnya  $f = 20$  Hz,  $f = 40$  Hz,  $f = 50$  Hz dan  $f = 60$  Hz, hasil pengukuran tersebut dihubungkan dengan suatu garis lurus yang ditarik terus hingga memotong sumbu vertikal sehingga nilai  $P_h / f$  dapat diketahui dan dapat diperoleh pula harga-harga  $P_h$  dan  $P_e$  [8].



Gambar 4.2 Penetapan Besaran  $P_{fe} / f$

### 4.3 Perhitungan Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Data Pengujian Kondisi Tanpa Beban

Frekuensi (Hz)	Vin (V)	Daya (Watt)	Arus (Ampere)	n (Rpm)	Cos Phi
20	40	14	2	620	0.18
25	81	40	3.3	760	0.15
30	115	66	4.1	850	0.15
35	145	99	4.7	970	0.16
40	185	155	5.5	1047	0.18
45	209	185	5.8	1354	0.18
50	220	220	6.1	1498	0.18

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 adalah hasil yang telah didapatkan pada percobaan tanpa beban. Pengujian ini dilakukan dengan pengukuran langsung dari keluaran generator yang menggunakan variasi frekuensi diatur mulai dari 20 Hz secara berangsur-angsur dinaikkan hingga mencapai 50 Hz. Penggunaan pemulaan variasi dipilih 20 Hz dikarenakan jika menggunakan pemulaan 10 Hz maka tegangan yang diatur dari *variatic* tidak cukup untuk memutar motor. Pada tabel 4.1 tampak bahwa hasil yang didapat sudah menunjukkan arus mencapai 2 A pada sisi primer transformator sedangkan nilai batasan rancangannya sendiri sebatas 50 mA. Sebuah transformator pada dasarnya terdiri atas besi dan tembaga. Baik besi maupun tembaga mendapat suatu beban, tembaga dibebankan dengan arus listrik, sedangkan inti besi dibebankan pada induksi. Kerugian besi akan berubah karena tergantung pada frekuensi.

#### 4.3.1 Perhitungan Regresi Linier

Tabel 4.2 Perhitungan Mencari Koefisien Regresi Linier

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	20	0.7	400	0.49	14
2	25	1.6	625	2.56	40
3	30	2.2	900	4.84	66
4	35	2.82	1225	7.84	99
5	40	3.87	1600	14.44	155
6	45	4.11	2025	16.81	185
7	50	4.46	2500	19.36	220
Σ	245	19.76	9275	66.34	782

$$\begin{array}{ll} \Sigma X & = 245 & \Sigma X^2 & = 9275 \\ \Sigma Y & = 19.76 & n & = 7 \\ \Sigma XY & = 774.5 & & \end{array}$$

Dari tabel diatas, digunakan ntuk mencari nilai koefisien regresi linier, dimana nilai daya yang terukur pada pengujian sebagai variabel  $Y = P_{he}/f$  dan variasi frekuensi yang mempengaruhi daya yang terukur dijadikan sebagai variabel  $X = f$ . Nilai a untuk  $K_e B_m^2$  dapat dihitung menggunakan persamaan (3.5) maka akan didapatkan hasil seperti berikut:

$$\begin{aligned} a &= \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{(n)(\Sigma X^2) - ((\Sigma X)^2)} \\ a &= \frac{(19.76)(9275) - (245)(782)}{(7)(9275) - (245)^2} \\ a &= -1.6 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai b untuk  $K_h f^2 B_m^2$  dapat dihitung menggunakan persamaan (3.6) maka akan didapatkan hasil seperti berikut:

$$\begin{aligned} b &= \frac{(n)(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{(n)(\Sigma X^2) - ((\Sigma X)^2)} \\ b &= \frac{(7)(782) - (245)(19.76)}{(7)(9275) - (245)^2} \\ b &= 0.12 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai Y dari persamaan (3.4) dari perhitungan yang dilakukan nilai persamaan yang didapat berikut ini :

$$y = -1.6 + 0.12x.$$

Persamaan ini yang nantinya akan memberi garis potong dengan input nilai  $x = 0$ . Dimana dapat diamati bahwa dengan nilai perhitungan yang secara teoritis mendapat minus dari nilai a jika menggunakan persamaan (3.5), maka dapat dinilai titik potong terdapat pada sisi minus y. Pada gambar 4.3 dapat dilihat besar perbedaan nilai yang ada.



#### 4.4 Perhitungan Rugi inti

Pada persamaan diatas yang didapat  $y = -1.6 + 0.12x$  dari input berupa frekuensi dari 20 Hz dan 50 Hz. Data yang didapat sangat rumit sehingga pada baru pada frekuensi 20 Hz baru diperoleh data. Hal tersebut dikarenakan suplai tegangan yang masuk ke motor terlalu rendah dimana dalam penggunaan variasi ini didapat pengaturan putaran yang tidak stabil (berubah-ubah) terutama pada putaran rendah sehingga tidak cukup memutar motor. Hal tersebut juga karena motor yang digunakan adalah motor dengan tegangan stabil sehingga motor akan berputar dengan sempurna pada tegangan yang diperkenakan yang telah ditentukan dalam plat penunjuk daya (*name plate*) yang sudah disesuaikan pada motor tersebut. Dari persamaan yang didapat diberikan  $y = 0$ , maka:

$$y = -1.6 + 0.12x$$

$$y = 0$$

$$0.12 x = 1.6$$

$$x = f = 13.33 \text{ Hz}$$

Selanjutnya pada titik berhenti atau pada saat generator belum menyuplai daya ke transformator ketika  $y = 0.7$  yang digunakan sebagai titik perpotongan garis yang memisahkan rugi arus *eddy* dan rugi *hysteresis* yang didapat pada frekuensi:

$$y = -1.6 + 0.12x$$

$$y = 0.7$$

$$0.7 = -1.6 + 0.12x$$

$$x = \frac{(0.7 + 1.6)}{0.12}$$

$$x = f = 19.16 \text{ Hz}$$

Sedangkan untuk nilai  $x \neq 0$  karena tidak didapat putaran motor ( $n$ ), maka digunakan  $x = f = 20$  karena generator mulai berputar dan menyuplai tegangan yang masuk ke trafo ( $n \neq 0$ ). Dimana putaran didapat dari persamaan (3.3) sehingga bernilai:

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 (20)}{4}$$

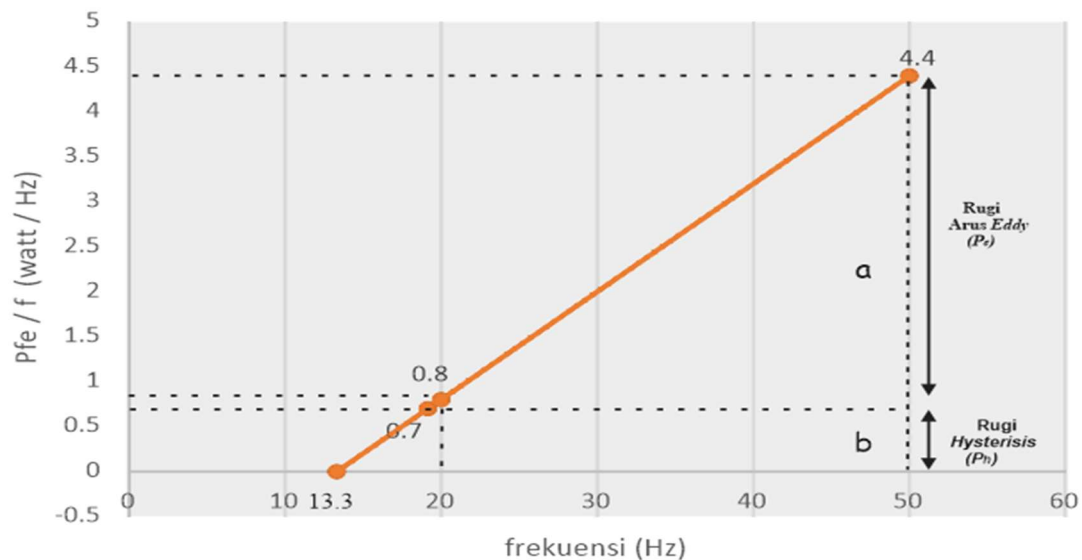
$$n = 600 \text{ rpm}$$

Perbedaan antara perhitungan dengan pengukuran putaran terjadi karena data pengukuran sangat *complex*. Baik itu dari pengamatan, alat ukur dan salah baca (*human error*). Pada waktu berputar pada putaran 600 rpm dan  $x = f = 20$  maka didapat:

$$y = -1.6 + 0.12x$$

$$y = -1.6 + 0.12 ( 20)$$

$$y = 0.8$$



Gambar 4.3 Grafik besaran  $P_{fe}/f$

Pada gambar 4.3 dan nilai  $y$  yang didapat, diketahui pada frekuensi 20 Hz nilai rugi arus *eddy* dan rugi *hysterisis* didapatkan dengan persamaan (4.3) sebagai berikut:

$$P_e = f a \qquad P_h = f b$$

$$P_e = 20 \times 0.1 \qquad P_h = 20 \times 0.7$$

$$P_e = 2 \text{ watt} \qquad P_h = 14 \text{ watt}$$

Karena transformator harus dioperasikan pada frekuensi 50 Hz maka didapat nilai putaran dan nilai  $y$  sebesar:

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 (50)}{4}$$

$$n = 1500 \text{ rpm} , \text{ sedangkan nilai } y \text{ pada frekuensi } 50 \text{ Hz} :$$

$$y = -1.6 + 0.12x$$

$$y = -1.6 + 0.12 (50)$$

$$y = 4.4$$

Dari nilai  $y$  diatas pada frekuensi 50 Hz, nilai rugi arus *eddy* dan rugi *hysteresis* diperoleh sebagai berikut:

$$P_e = f a$$

$$P_h = f b$$

$$P_e = 50 \times 3.7$$

$$P_h = 50 \times 0.7$$

$$P_e = 185 \text{ watt}$$

$$P_h = 35 \text{ watt}$$

Dengan hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat dibuktikan bahwa nilai rugi inti ( $P_{he}$ ) berbanding lurus dengan nilai frekuensi. Nilai konstanta rugi *hysteresis* akan selalu konstan terhadap frekuensi. Ketika frekuensi berubah, distribusi fluks dalam perubahan laminasi inti besi akan meningkat. Semakin tinggi frekuensi maka fluks akan berada pada lapisan inti yang terluar. Hal ini menunjukkan bahwa induktansi yang mewakili magnetisasi dan tahanan jalur besi yang merepresentasikan kerugian arus *eddy* bergantung pada frekuensi. Munculnya arus *eddy* ini menambah kerugian tambahan. Walaupun trafo yang digunakan terbukti mengalami hubung singkat antar lilitan yang satu dengan lilitan yang lainnya sehingga jalur menjadi lebih pendek. Hal ini ditunjang dengan arus yang terukur mencapai 6 A serta  $\cos \phi$  yang terukur rendah. Akan tetapi tetap didapat bahwa rugi arus *eddy* dan rugi *hysteresis* yang didapat pada transformator membuktikan bahwa besar rugi inti berbanding lurus dengan frekuensi.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Transformator juga harus dioperasikan pada frekuensi 50 Hz. Semakin besar frekuensi sumber yang diberikan terhadap suatu transformator maka rugi inti berbanding lurus dengan frekuensi.
2. Nilai rugi inti pada frekuensi 50 Hz berhasil didapat masing-masing bernilai 185 watt untuk rugi arus *eddy* ( $P_e$ ) dan 35 watt untuk rugi *hysteresis* ( $P_h$ ) nilai pada arus *eddy* lebih besar, hal tersebut dikarenakan jumlah kerugian arus *eddy* yang timbul semakin besar seiring besar frekuensi pangkat 2.
3. Nilai rugi arus *eddy* besar karena pada proses pembuatan inti ini tidak bagus sehingga terjadi renggang antar lapisan inti yang mengakibatkan nilai arus *eddy* besar.

#### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memiliki beberapa saran untuk penelitian selanjutnya agar mampu mendapat hasil yang maksimal dari transformator yang akan diuji :

1. Memeriksa kondisi transformator dan memperbaiki terlebih dahulu bagian lilitan/kumparan dengan kualitas penghantar yang lebih baik karena bagian tersebut dianggap bagian paling rawan terjadi putus.
2. Menggunakan inverter sebagai pengatur kecepatan motor yang akan mendapat beberapa keuntungan dari pengujian ini seperti akselerasi, arus *starting* yang dapat memperhalus *start* awal motor dan nilai frekuensi yang didapat bisa lebih kecil tanpa membuat motor panas sehingga hasil yang didapat lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Erwanda, “RancangBangun Transformator Step up 220v / 5Kv. 0.5A, 50Hz,” Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Indonesia, 2015.
- [2] A. Giraud, A. Bernot, Y. Lefevre, and J. F. Llibre, “Measurement Of Magnetic Hysteresis Swelling-up With Frequency: Impact on Iron Losses in Electric Machine Sheets,” *Proc. 2017 IEEE Int. Work. Electron. Control. Meas. Signals their Appl. to Mechatronics, ECMSM 2017*, 2017.
- [3] J. O. Wuwung, “Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis Terendam Minyak,” *TEKNO*, pp. 29-39, 2010.
- [4] S. Darsono and E. Nuraini, “Desain Trafo Tegangan Tinggi Berfrekuensi Tinggi 40kHz/17,5kV Untuk STT Cockcroft Walton MBE Lateks,” *IJMS*, pp. 5–15, 2012.
- [5] A. Williams, “Fundamentals Of Magnetics Design : Inductors And Transformers” 2011.
- [6] C. W. M. T. Mcllyman, *Transformer and inductors design flow*. Idyllwild, California: Kg Magnetics, Inc: 2011.
- [7] M. Syafruddin, “Metode Regresi Linier Untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung),” *J. Inform*, 2014.
- [8] L. Zeng and W. Xing, “Research on loss of traction transformer leakage magnetic field,” *Proc. - 2013 4th Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl. ISDEA 2013*, pp. 484–487, 2013.

## LAMPIRAN

Lampiran 1: Skema Pengujian



Lampiran 2: Kondisi Transformator Satu Fase 220V / 5 kV, 50mA

