

RANCANG BANGUN TRANSFORMATOR *STEP UP* 220 V/ 10 KV, 25mA, 50Hz**TUGAS AKHIR****Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat****Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro****Disusun Oleh :****Nama : Minan Nuri Rahman****No. Mahasiswa : 12 524 037****JURUSAN TEKNIK ELEKTRO****FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI****UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA****YOGYAKARTA****2017**

Lembar Pengesahan Pembimbing

Rancang Bangun Transformator *Step Up* 220 V / 10 kV,

25mA, 50 Hz.

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Minan Nuri Rahman

No. Mahasiswa : 12 524 037

Yogyakarta, 12 Juli 2017

Pembimbing I

Pembimbing II

Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng.

Ir. H. Suyanto

LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Minan Nuri Rahman

No. Mahasiswa : 12524037

Menyatakan dengan jujur bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, tanpa ada niat untuk menjiplak atau plagiat karya orang lain. Adapun bagian-bagian materi tertentu yang saya ambil, sudah sesuai dengan tata tertib berlaku dalam membuat karya tulis ilmiah yang lazim dan baik. Jika ternyata pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogvakarta, 11 Juli 2017



Minan Nuri Rahman

Lembar Pengesahan Penguji

Rancang Bangun Transformator *Step Up* 220 V/ 10 kV, 25 mA, 50 Hz.

SKRIPSI

Oleh :

Nama : Minan Nuri Rahman

No. Mahasiswa : 12524037

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Konsentrasi Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 27 Juli 2017

Tim Penguji,

Ir. H. Suyamto

Ketua

Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T.,M.T.

Anggota I

Husein Mubarak, S.T.,M.Eng

Anggota II



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia

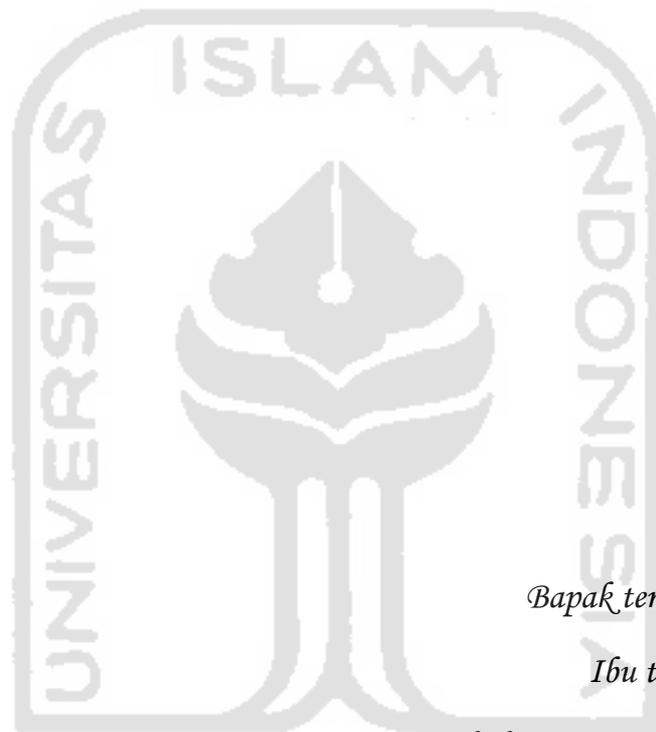


Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.

NIP. 025200526

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bingkisan kecil ini kupersembahkan untuk:



Bapak tercinta Sugiyarto

Ibu tercinta Suparni

Kakak tersayang, Eni Nurhayati

terima kasih atas segala doa, kasih sayang, dan dukungannya

HALAMAN MOTTO

“Maha Suci Allah Yang di tangan-Nya-lah segala kerajaan, dan Dia Maha Kuasa atas segala sesuatu. Yang menjadikan mati dan hidup, supaya Dia menguji kamu, siapa di antara kamu yang lebih baik amalnya. Dan Dia Maha Perkasa lagi Maha Pengampun.”

(Q.S. Al-Mulk: 1-2)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh yang lain. Dan hanya kepada Allah-lah hendaknya kamu berharap.”

(Q.S. Al-Insyirah: 5-8)

“Raihlah sesuatu yang diinginkan dengan usaha kerja keras, bukan dengan cara instan, tidak hanya kepuasan yang didapatkan, tetapi akan lebih memahami persoalan dan menghargai diri sendiri”

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur hanya kepada Allah Subhaanahu Wa ta'ala, atas segala karunia dan rahmat-Nya yang tak terhitung berupa kasih sayang, nikmat iman, islam, dan kesehatan, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa penulis sanjungkan kepada beliau Nabi agung, Muhammad SAW, beserta segenap keluarga dan para sahabatnya hingga akhir nanti.

Dalam penyelesaian skripsi yang berjudul “Studi Penentuan Biaya Pembangkitan Energi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara (PLTU Rembang)” tentu saja banyak menemui masalah dan kendala. Faktor-faktor tersebut tentu saja tidak akan teratasi tanpa bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak dan Ibu terhebat serta kakak tersayang, yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun yang memberikan inspirasi dan semangat tiada henti.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Setiawan, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Suyamto dan Bapak Wahyudi Budi Pramono, ST, M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta memberikan segala kemudahan, masukan, arahan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.

4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro UII, terima kasih atas bimbingan selama mengikuti kegiatan perkuliahan.
5. Bapak Yadi Yunus, S.ST, M.Eng yang selaku pembimbing di STTN Batan yang mendampingi pada saat pengujian.
6. Bapak Suraji beserta keluarga yang dengan ikhlas memberikan fasilitas selama penyelesaian skripsi ini.
7. Sahabat seperjuangan Yoan Fahmi dan Julinas yang selalu berbagi suka duka dari kuliah sampai pengerjaan skripsi ini.
8. Andika Sulistiawan, Ibnu Razaq Ganteng, Azizil Rachman Deta, Haryo Pujo Tatmoko, Mohammad Bagus Hetmanto, Handycha Suwantoro, dan teman-teman “one elektro” UII.
9. Teman-teman KKN unit MG-180 Dusun Gedaman 2015, Deni Indra, Adam Farras, Farid Singgih, Dhiona Ayu, Ajeng Inggit, Nurlina Winda dan Ryzka Pangestu. Terima kasih untuk kebersamaannya selama satu bulan di Dusun Gedaman.
10. Teman Teman Kontrakan Mas Klowor Mas Aji Wulantara, Mas Firda, Mas Ian, Agung, Romli, Farid, Wahyu dan Ipul.
11. Serta semua teman dan saudara yang pernah berinteraksi dengan saya yang tidak dapat disebutkan satu persatu namanya. Terima kasih sudah memberikan semangat dan dukungannya dalam hal apapun. Mohon maaf jika ada salah dan khilaf dalam berinteraksi.

Adanya kekurangan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan ilmu yang dimiliki oleh penyusun. Untuk itu, adanya kritik dan saran yang membangun dapat membantu kesempurnaan dari skripsi ini. Semoga apa yang telah didapat

dari skripsi ini dapat memberikan manfaat yang sangat baik bagi para pembaca dan penggunanya.

Wasaalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 11 Juli 2017

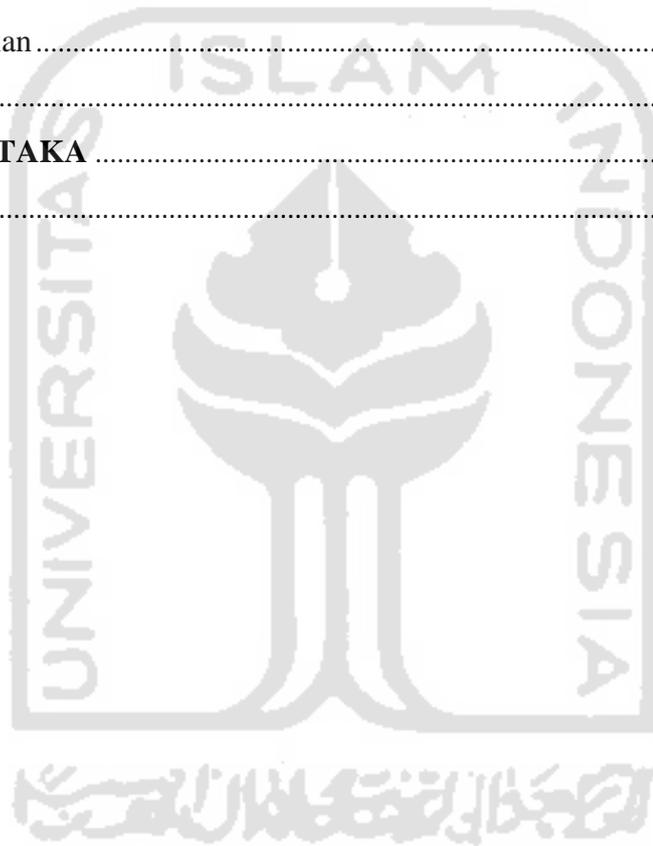
Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBINGError! Bookmark not defined.	
LEMBAR PERNYATAN KEASLIANError! Bookmark not defined.	
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Penelitian Sejenis.....	5
2.2 Pengantar.....	7
2.3 Teori Transformator	8
2.4 Arus Magnetisasi	9
2.5 Bahan Magnetik dan Karakteristiknya.....	13
2.6 Inti Besi.....	14
2.7 Laminasi.....	18
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Rancangan Transformator	19
3.2 Pemilihan dan Desain Inti Transformator.....	22
3.3 Pemilihan Kawat.....	26
3.4 Menentukan Jumlah Dan Panjang Lilitan Kawat Primer, Sekunder	27
3.5 Berat Total Inti	28
3.6 Isolasi.....	29

3.7	Teknik Pengukuran Tegangan Tinggi dengan Menggunakan Multimeter, <i>High Voltage Probe</i>	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Proses Teknis Pembuatan Transformator	32
4.2	Pengukuran Tegangan Tinggi AC Menggunakan <i>High Voltage Probe</i>	35
4.3	Pengukuran Resistansi dan Induktansi Pada Saat Transformator <i>Off</i>	40
4.4	Rangkuman Data Spesifikasi Transformator	42
BAB V PENUTUP		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cara kerja transformator.....	8
Gambar 2.2 Fluks bocor.....	9
Gambar 2.3 Edaran magnetis dengan celah udara pada inti	10
Gambar 2.4 <i>B-H</i> diagram	11
Gambar 2.5 Inti transformator jenis baja silikon	12
Gambar 2.6 Konstruksi <i>shell type</i>	14
Gambar 2.7 Konstruksi <i>core type</i>	15
Gambar 2.8 Arus Eddy.....	16
Gambar 2.9 Bentuk Laminasi	18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> atau diagram alir untuk membuat transformator.	21
Gambar 3.2 Grafik lengkung magnetisasi rata-rata	24
Gambar 3.3 Bentuk dimensi dan bagian-bagian inti besi tipe EI-225	23
Gambar 3.4 Bentuk dimensi dan bagian-bagian inti besi tipe UI-225.....	26
Gambar 3.5 Desain transformator Inti Besi U	27
Gambar 3.6 Tipe UI-225	27
Gambar 3.7 Rancangan inti besi tipe UI-225	27
Gambar 3.8 High Voltage Probe.....	33
Gambar 3.9 Multimeter.....	33
Gambar 3.10 LCR Meter	34
Gambar 4.1 Koker primer dan sekunder	35
Gambar 4.2 Koker Berserta Isolasi kertas.....	36
Gambar 4.3 (a) <i>Coil Winding Machine</i> . (b) Isolasi kumparan. (c) Kumparan sekunder dengan $d = 0,12$ mm.....	37
Gambar 4.4 Kumparan yang selesai dililit.....	37
Gambar 4.5 (a) inti trafo plat U (b) Penyusunan Kumparan dengan inti besi	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi teknis transformator.....	19
Tabel 3.2 Tebal isolasi lapisan.....	30
Tabel 4.1 Pengukuran <i>HVAC</i> dengan menggunakan <i>High Voltage Probe</i>	39
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Resistansi dan Induktasi dengan menggunakan LCR meter Pada kumparan primer.....	43
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Resistansi dan Induktasi dengan menggunakan LCR meter Pada kumparan sekunder 5 kV	44
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Resistansi dan Induktansi dengan menggunakan LCR meter pada sekunder 10 kV	44
Tabel 4.5 Data Spesifikasi transformator.....	45



ABSTRAK

Tegangan tinggi didalam dunia listrik, dibutuhkan oleh seorang penguji atau teknisi untuk keperluan pengujian dan pengukuran. Salah satu alat untuk menaikkan tegangan tinggi yaitu transformator *step up*. Perancangan transformator *step up* bertujuan untuk menaikkan tegangan tanpa mengubah frekuensi. Transformator yang dirancang menggunakan model inti besi tipe *core type*, dengan daya transformator 250 VA, tegangan 220 V / 10 kV, 25 mA, 50 Hz. Dalam rancangan ini dihitung dimensi transformator baik kumparan maupun intinya. Kumparan kawat primer dipilih kawat tembaga bentuk bulat diameter 0,8 mm. Jumlah lilitan untuk kumparan primer 286 lilitan terpisah dalam 4 lapisan dengan panjang kawat untuk keseluruhan 84,656 m. Kawat sekunder juga memiliki bentuk bulat dengan luas diameter 0,12 mm. Jumlah lilitan untuk setiap kumparan sekunder 13.000 lilitan dibagi dalam 26 lapisan dengan panjang kawat untuk keseluruhan 3,85 km. Pengukuran tegangan keluaran dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan perbandingan dan menggunakan *High Voltage Probe* dengan batas ukur untuk tegangan AC sebesar 28 kV. Pengukuran dilakukan sebanyak 9 kali dengan inputan primer 25 V sampai dengan 220 V. Namun pada saat inputan di primer 175 V terjadi *partial discharge* (peristiwa pelepasan atau lompatan bunga api listrik) dikumparan sekunder yang karena isolasi tidak sempurna, sehingga pengujian *Output* pada transformator dibatasi sampai 7kV saja. Dari hasil perancangan transformator *step up* 220 V / 10 kV, 25 mA, 50 Hz didapatkan hasil bahwa pengujian tidak sesuai dengan perancangan, karena transformator hanya dapat dioperasikan pada tegangan maskimal sebesar 175 V = 7.000 V saja karena terjadi *partial discharge*.

Katakunci : Rancangan transformator tegangan tinggi, inti besi *core type*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya jaman tuntutan akan kemudahan dan kepraktisan dalam penyaluran energi listrik juga semakin tinggi. Untuk itu berbagai usaha akan dilakukan dengan penerapan ilmu dan teknologi. Usaha tersebut menjadi mudah jika dilakukan ketika manusia mampu mengembangkan ilmu dan teknologi. Dalam bidang energi listrik yang dapat dijadikan implementasi adalah ilmu dan teknologi, salah satunya dalam hal tegangan tinggi yang dapat digunakan untuk laboratorium, atau digunakan untuk keperluan industri. Tegangan tinggi dalam dunia teknik tenaga listrik (*electric power engineering*) adalah tegangan yang mempunyai ketentuan tertentu yang dibutuhkan oleh seorang penguji atau teknisi untuk keperluan pengujian dan pengukuran [1]. Menurut jenisnya terdapat tiga jenis tegangan tinggi yaitu tegangan tinggi bolak-balik AC (*Alternating Current*), tegangan tinggi searah DC (*Direct Current*) dan tegangan tinggi impuls. Tegangan tinggi digunakan sebagai sumber tenaga listrik untuk mensuplai kebutuhan listrik, pengujian bahan isolasi, kebutuhan studi dan digunakan untuk penelitian di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi.

Suatu pengujian dan penelitian pasti membutuhkan tegangan yang mempunyai nilai yang berbeda-beda tidak sama dengan tegangan yang tersedia, oleh karena itu suatu laboratorium Teknik Tegangan Tinggi harus mempunyai unit praktikum yang digunakan yaitu suatu Transformator.

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain tanpa merubah frekuensinya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas baik bidang tenaga listrik maupun elektronika. Transformator memiliki kegunaan di sistem tenaga karena pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk setiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya yang memiliki jarak yang jauh dibutuhkan akan tegangan tinggi untuk aplikasinya, karena untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terbuang saat penyaluran.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan antara lain sebagai gandengan magnet antara sumber dan beban untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain dan untuk menghambat arus searah mengalirkan arus bolak-balik. Sedangkan dalam bidang teknik energi listrik, trafo digunakan untuk memindahkan energi dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik berikutnya tanpa mengubah frekuensinya[2]. Selain itu transformator juga digunakan sebagai pembangkit daya, transmisi dan distribusi jaringan listrik, dan untuk pengukuran arus, tegangan dan ketahanan isolator.

Transformator tegangan tinggi digunakan untuk memenuhi kebutuhan pengujian ketahanan isolasi dari suatu isolator. Perancangan transformator tegangan tinggi ini bertujuan untuk menunjang kegiatan yang ada kaitannya dengan tegangan tinggi, baik dalam hal perencanaan, pembuatan, pemeliharaan, pemeliharaan, dan keselamatan serta untuk mempelajari

transformator tegangan tinggi itu sendiri. Jenis transformator yang akan dirancang yaitu transformator *step up*, Transformator *step up* berfungsi untuk menaikkan tegangan yang dari tegangan primer 220 V menjadi 10.000 V pada kumparan sekunder. Dengan tegangan tinggi itu banyak manfaatnya antara lain digunakan untuk pengujian isolasi.

Isolasi merupakan sesuatu yang penting di dalam dunia listrik khususnya pada pengoperasian tegangan tinggi. Pada jaringan transmisi dan distribusi tenaga listrik selalu menggunakan tegangan tinggi. Oleh karena itu, dalam pengoperasian sistem tersebut isolator sangat penting digunakan untuk memisahkan dua atau lebih pengantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar listrik tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Umumnya isolator pada tegangan tinggi dapat dikelompokkan menurut jenis dan bahannya masing-masing yaitu bentuk cair misalnya oli trafo dan oli silicion, bentuk padat misalnya kertas, *nylon plexiglas* , bentuk gas misalnya SF₆.

Pengadaan Laboratorium Tegangan Tinggi sangat diperlukan karena sebagai media untuk memperdalam teori melalui praktik secara langsung. Proses perancangan transformator ini dilakukan secara manual sehingga konsekuensi terjadinya kesalahan dalam perhitungan bisa jadi lebih besar. Hasil rancangan berupa nilai perhitungan dimensi utama, parameter kumparan dan disain. Proyek akhir ini nantinya diharapkan dapat dikembangkan untuk menguji suatu tahanan isolasi dari isolator yang ada. Berdasarkan hal tersebut maka penulis menyusun skripsi ini dengan

mengambil judul “**Rancang Bangun Transformator Step Up 220V / 10 kV, 25 mA, 50 Hz**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah Bagaimana cara merancang bangun Transformator *step up* 10 KV.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Perancangan ini menggunakan tegangan sisi primer 220 V dan tegangan sisi sekunder maksimum 10 KV dengan frekuensi 50 Hz.
2. Trafo yang digunakan yaitu trafo 1 phasa.
3. Inti besi pada trafo yang digunakan yaitu tipe *core type*.
4. Perancangan trafo dilakukan dengan perhitungan dan perakitan manual.
5. Perancangan hanya ditekankan pada sistem kelistrikan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun transformator *step up* dengan *output* tegangan 10 kV.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Untuk pengujian ketahanan isolasi dari suatu isolator.
2. Diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan tegangan tinggi seperti kebutuhan studi dan penelitian di laboratorium.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Sejenis

Yadi Yunus, Suyamto (2011) [4] merancang awal trafo tegangan tinggi dengan keluaran 170 kV untuk catu daya pemercepat sumber elektron berbasis katoda plasma. Trafo ini mempunyai bentuk dan dimensi yang besar dan mengeluarkan biaya yang cukup mahal apabila hanya digunakan untuk uji ketahanan isolasi. Oleh karena itu pada penelitian ini trafo di *setting* mempunyai keluaran sebesar 10 kV untuk uji ketahanan isolasi.

Pada tahun 2015 mahasiswa Universitas Islam Indonesia Baihaki Erwanda, dalam penelitiannya yang berjudul “Rancang Bangun Transformator *step Up* 220 V / 5 kV, 0,5 A, 50 Hz”. Yang dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan tegangan tinggi seperti kebutuhan studi dan penelitian di laboratorium. Namun pada penelitian ini tujuannya untuk menguji ketahanan isolasi pada isolator untuk mendapatkan isolator mana yang memiliki ketahanan yang baik [6].

Disain bentuk dan dimensi transformator ditentukan oleh bahan-bahan yang digunakan dalam komponen penyusun transformator. Komponen-komponen penyusun transformator yaitu lapisan plat besi untuk inti, kawat tembaga berisolasi email untuk lilitan primer dan lilitan sekunder serta isolasi untuk inti dan lilitan kawat Pada penelitian sebelumnya inti besi menggunakan model *shell type*, Sedangkan pada penelitian ini menggunakan model inti *core type* sama seperti penelitian pertama yang dilakukan oleh Yadi Yunus, Suyamto (2011) .

Model inti besi *shell type* memiliki konstruksi kumparan yang dikelilingi oleh inti besi. Kumparan primer dan kumparan sekunder dililitkan pada sisi inti yang sama. Kedua kumparan ini hanya dipisahkan oleh isolasi. Pada model inti *shell type*, penyerapan fluks magnetis yang dihasilkan oleh arus magnetisasi pada kumparan primer ke kumparan sekunder lebih maksimal dari pada model *core type*. Penyerapan fluks magnetis yang maksimal akan mempengaruhi tegangan keluaran disisi sekunder transformator. Pada penelitian sebelumnya digunakan inti besi *shell type* karena tegangan hanya 5 kV, sehingga tidak terlalu dibutuhkan ruang jendela dari inti besi yang besar atau luas. Sedangkan pada penelitian ini digunakan model inti besi *core type*, dimana inti besi yang dikelilingi oleh kumparan. Karena tegangan tinggi membutuhkan kumparan kawat yang lebih banyak, sehingga dengan banyaknya kumparan tersebut maka jendela atau window pada area inti besi dibutuhkan ruangan yang lebih besar untuk lilitan yang lebih banyak. Pada model inti besi *core type* fluks bocor sangat tinggi, sehingga mempengaruhi penyerapan fluks magnetis yang dihasilkan oleh arus magnetisasi pada kumparan primer dan kumparan sekunder yang tidak bisa maksimal karena terjadi fluks bocor yang begitu besar, berbeda dengan model inti besi *shell type*.

2.2 Pengantar

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dan mentransformasikan tenaga listrik dengan perubahan tegangan dan frekuensi tetap [6]. Konstruksi transformator pada umumnya terdiri dari 4 komponen utama yaitu :

1. Inti yang terbuat dari lembaran atau tumpukan plat besi lunak yang disatukan.
2. Kumputan dibuat dari bahan tembaga yang dibelitkan pada inti secara konsentris.
3. Sistem pendingin
4. Isolasi

Dengan demikian kebanyakan disain transformator meliputi masalah kemagnetan, kelistrikan, isolasi dan panas. Masalah kemagnetan terkait dengan inti, masalah kelistrikan terkait dengan tegangan, arus dan daya, masalah isolasi terkait dengan bahan isolator dan masalah panas terkait dengan sistem dan bahan pendingin.

Pada umumnya sisi primer transformator tegangan tinggi dicatu dari sumber tegangan PLN 220/380 volt. Perancangan harus dilakukan secara cermat dan teliti untuk menjamin agar pembebasan listrik dan magnetnya optimum, tekanan, kenaikan temperatur yang timbul masih dapat diterima untuk tegangan dan daya yang diperlukan serta besaran rugi (*parasitic parameter*) seminimal mungkin.

2.3 Teori Transformator

Bila pada lilitan primer diberikan tegangan bolak-balik dengan nilai efektif e_1 dan frekuensi f , maka dalam inti besi akan timbul medan magnet ϕ . Kumputan sekunder yang dililitkan pada inti yang sama dengan kumputan primer mengalami perubahan medan magnet, sehingga pada ujung-ujung kumputan timbul gaya gerak listrik (GGL). Hubungan antara tegangan e_1 dengan medan magnet fluks bagi tegangan bolak-balik berbentuk sinus adalah :

$$e_1 = 4,44 f n_1 \phi \quad (2.1)$$

Adanya fluks tersebut, pada lilitan sekunder yang juga melingkupi fluks magnet tersebut diinduksikan GGL sekunder

$$e_2 = 4,44 f n_2 \phi \quad (2.2)$$

Dengan :

e_1 = GGL di kumputan primer (Volt)

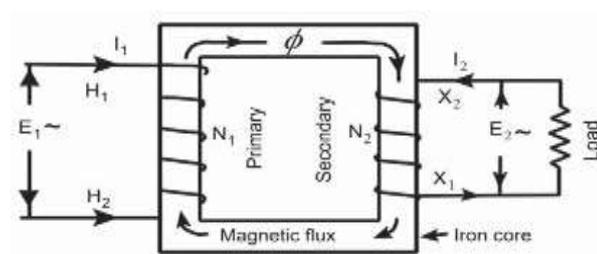
e_2 = GGL di kumputan sekunder (Volt)

f = frekuensi (50 Hz)

n_1 = Jumlah lilitan primer

n_2 = Jumlah lilitan primer

ϕ = Fluks magnet (Wb)



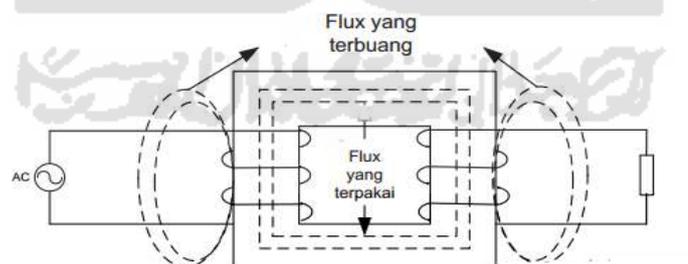
Gambar 2.1 Cara kerja transformator[6]

Hasil bagi persamaan (2.1) dengan (2.2) adalah

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{e_1}{e_2} \quad (2.3)$$

Dengan kata lain, tegangan efektif dalam lilitan-lilitan suatu transformator adalah sebanding dengan jumlah lilitannya masing-masing.

Kumparan kawat pada transformator dililitkan dengan sangat rapat. Hal ini bertujuan untuk mengintensifkan kuat medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan primer. Kuat medan magnet yang sangat intensif akan mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kumparan sekunder transformator. Semakin rapat kumparan yang dililitkan, semakin bagus kuat medan magnet yang dihasilkan. Begitu juga sebaliknya, semakin jarang kumparan yang dililitkan, semakin kurang intensitas kuat medan magnet yang dihasilkan. Kuat medan magnet harus dimaksimalkan dalam merancang transformator. Karena tidak semua kuat medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan primer diserap oleh kumparan sekunder yang disebabkan oleh adanya fluks bocor. Peristiwa fluks bocor ditunjukkan oleh gambar berikut :

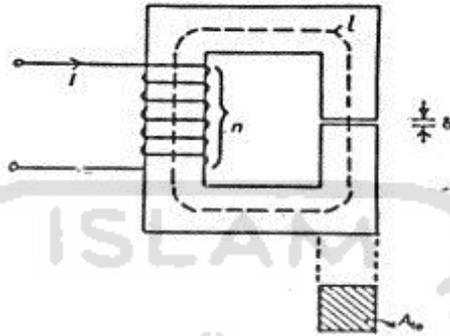


Gambar 2.2 Fluks bocor

2.4 Arus Magnetisasi

Untuk membentuk fluks ϕ diperlukan arus yang diambil dari sumber V_1 , yang disebut arus magnetisasi atau arus beban nol (I_0) [1]. Hubungan antara I_0 dengan ϕ bisa dilihat pada Gambar 2.3. Pada gambar tersebut, edaran

magnetis beredar dalam inti besi serta celah udara sepanjang δ . Panjang rata-rata seluruhnya adalah l . Jadi fluks menjalani edaran sepanjang $(l - \delta)$ dalam besi dan sepanjang δ melalui udara.



Gambar 2.3 Edaran magnetis dengan celah udara pada inti[6]

Penampang besi dalam Gambar 2.3 dilambangkan dengan A_{fe} . Untuk arus AC, induksi magnetik B dihasilkan oleh nilai fluks per luas penampang, sedangkan kuat medan magnet dalam udara maupun suatu bahan adalah H [6]. Antara kedua besaran ini terdapat hubungan

$$B = \mu_0 \mu_r H \quad (2.4)$$

Dengan :

B = Induksi magnetik. (Wb/m^2)

μ_0 = Permeabilitas udara.

μ_r = Permeabilitas relatif suatu bahan.

H = Kuat medan magnet. (A/m)

Dalam kemagnetan, permeabilitas adalah kemampuan dari suatu material untuk mengalirkan fluks [6]. Dalam udara $\mu_r = 1$, jadi $B = \mu_0 H$.

Kuat medan magnet dikali panjang jalan edarannya disebut gaya gerak magnet (ggm). Ggm total harus sama dengan banyaknya lilitan dikalikan arus (nI) [6]. Jadi

$$Hl = nI \text{ atau } H = \frac{nI}{l} \quad (2.5)$$

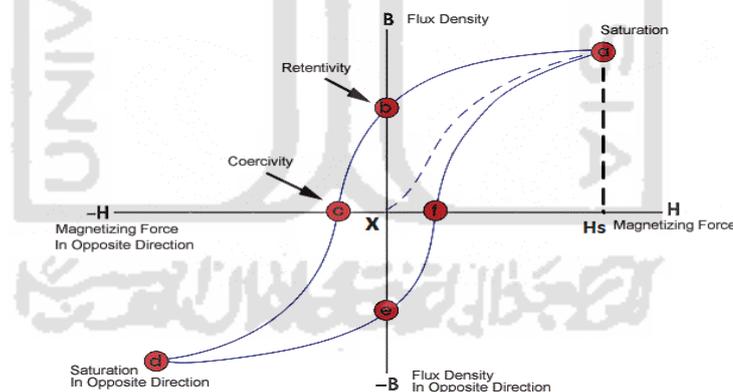
$$B = \mu_0\mu_r H = \mu_0\mu_r \left(\frac{nI}{l}\right) \quad (2.6)$$

Dengan :

l = Panjang jalan edaran magnetik.(m)

I = Arus bolak-balik.(A)

Jika dilihat dari persamaan (2.6), nilai B berbanding lurus dengan nilai H . Akan tetapi, bagi inti besi yang menggunakan bahan-bahan ferromagnetis, konstanta μ_r tidaklah konstan. μ_r tidak hanya tergantung dari H , tetapi juga tergantung dari keadaan awal edaran magnetis itu. Nilai μ_r tidak akan sama pada inti besi yang belum mengalami magnetisasi dengan inti besi yang sudah mengalami magnetisasi. Untuk mengetahui karakteristik μ_r pada inti besi diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 B - H diagram[6]

Titik 0 pada diagram menunjukkan awal mula inti besi mengalami magnetisasi. Pada keadaan ini nilai $B = 0$ $H = 0$. Arus searah I mengalir melalui kumparan primer, yang dinaikan berangsur-angsur dari nol. Sesuai dengan persamaan (2.5) maka nilai H pun dimulai dari nol kemudian berangsur-angsur bertambah sebanding dengan I . Akibatnya induksi B dalam

besi pun naik. Pada diagram $B-H$, Gambar 2.4 awal mula kenaikan nilai μ_r ditandai oleh garis lengkung $x-a$. Selama nilai H tidak terlalu besar, misalnya di daerah $X-H_S$, garis lengkung $X-H_S$ pertambahan nilai B berbanding lurus dengan pertambahan nilai H . Bila I dinaikkan terus, maka untuk pertambahan H yang sama, pertambahan nilai B tidak sebesar sebelumnya ketika mendekati H_S , hingga mulai pertambahan nilai H diatas H_S tidak lagi berakibat pertambahan B secara berarti. Peristiwa ini dinamai dengan kejenuhan magnetis. Jika nilai H dinaikkan di atas H_S , garis lengkung $x-a$ merupakan garis lurus yang hamper sejajar dengan poros H .

Ketika setelah mencapai H_S arus berangsur-angsur dkecilkan lagi, maka titik-titik yang dijalaninya tidak lagi sepanjang garis lengkung $a-x$, melainkan sepanjang $a-b$. Setelah I kembali menjadi nol, nilai H dalam besi juga nol, B masih mempunyai nilai sisa tertentu yang sesuai dengan $x-b$. Peristiwa ini disebut dengan gejala remanensi magnetis. Meskipun arus telah kembali menjadi nol, besi masih mempunyai sisa-sisa magnetism setelah mengalami magnetisasi.

Selanjutnya jika arus dibesarkan lagi tetapi ke arah yang sebaliknya, maka titik-titik yang dijalaninya adalah $b-c-d$. Demikian pula bila kemudian I dikurangi hingga nol, setelah itu dibalikan ke arah semula hingga H mencapai H_S , dijalani titik-titik garis lengkung $d-e-f-a$. Bentuk yang diperoleh dalam diagram $B-H$ selama nilai I dalam satu gelombang sinusoidal disebut jerat histerisis.

Di dalam inti transformator arus yang membentuk fluks magnet adalah arus magnetisasi yang merupakan arus bolak-balik dengan frekuensi f . Oleh

karena itu, fluks yang dihasilkan dalam inti transformator selalu berubah arah sesuai dengan frekuensi arus tersebut. Jadi jerpat $a-b-c-d-e-f-a$ itu juga dijalani f kali setiap detik. Magnetisasi inti secara bolak-balik tersebut menimbulkan kerugian yang disebut kerugian histerisis. Kerugian histerisis ini besarnya sebanding dengan luas jerat histerisis tersebut. Kecuali dari macam bahan inti, luas jerat ini tergantung dari besarnya B maksimum (B_m) yang dicapai dalam magnetisasi bolak-balik itu. Kerugian histerisis ini sebanding dengan B_m^2 . karena setiap detik jerat ini dijalani f kali, maka kerugian histerisis setiap detik adalah sebanding dengan $f.B_m^2$ [10].

Besarnya nilai maksimum induksi B_m dapat diperoleh dari persamaan berikut

$$B_m = \phi/A_{fe} = V_1/4,44 f n_1 A_{fe} \quad (2.7)$$

Dengan :

B_m = Nilai maksimum induksi magnetik.

A_{fe} = Penampang besi.

2.5 Bahan Magnetik dan Karakteristiknya

Ada banyak bahan yang digunakan untuk membuat inti transformator, diantaranya, baja silikon, campuran nikel, kaca metalik, ferrit lunak, bubuk besi dan beberapa campuran dari bahan yang telah disebutkan. Pada penelitian ini digunakan inti transformator jenis baja silikon seperti yang ada pada Gambar (2.5). Baja silikon merupakan salah satu campuran yang sering digunakan dalam transformator, induktor dan bahan magnetik lainnya.

Salah satu kelemahan penggunaan baja untuk inti transformator apabila digunakan terlalu lama, rugi-rugi yang ditimbulkan akan meningkat. Penambahan silikon ke dalam baja membuat campuran jenis ini memiliki

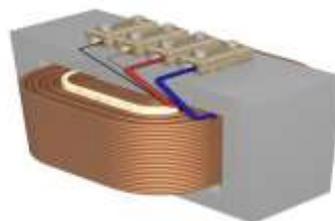
beberapa keuntungan, yaitu meningkatkan resistiviti kelistrikan, apabila resistiviti kelistrikan meningkat, maka akan mengurangi rugi-rugi arus eddy dan juga untuk memperlama umur pakai bahan. Baja silikon mempunyai kejenuhan magnetis yang tinggi, kerapatan fluks yang tinggi, permeabilitas yang bagus di dalam kerapatan fluks yang tinggi [6].



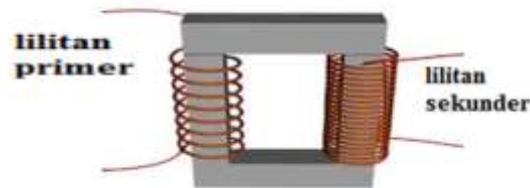
Gambar 2.5 Inti transformator jenis baja silikon.[6]

2.6 Inti Besi

Ada dua tipe konstruksi inti besi, yaitu *core type* dan *shell type*. tipe konstruksi *shell type* ditunjukkan oleh Gambar 2.6 dan tipe konstruksi *core type* ditunjukkan oleh Gambar 2.7 Untuk konstruksi *shell type*, inti mengelilingi kumparan. Keuntungan dari konstruksi ini adalah kumparan yang dibutuhkan hanya satu kumparan. Untuk konstruksi *core type*, kumparan mengelilingi inti besi.



Gambar 2.6 Konstruksi *shell type*



Gambar 2.7 Konstruksi *core type* [6]

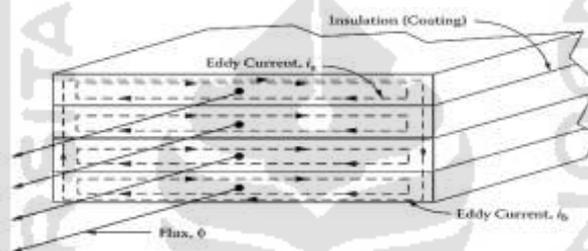
Inti besi transformator tidak dibuat berbentuk besi tunggal, tetapi dibuat dari pelat besi yang berlapis-lapis. Hal ini bertujuan untuk mengurangi arus olak [6]. Arus olak adalah arus listrik yang timbul oleh induksi tegangan. Hal ini disebabkan oleh fluks magnet bolak-balik yang terdapat dalam inti besi. Apabila arus olak yang muncul dalam jumlah yang besar, inti besi akan menjadi panas dan transformator tidak akan dapat digunakan. Inti besi yang dibuat berlapis-lapis bertujuan untuk memecah induksi arus olak yang terbentuk di dalam inti besi. Konstruksi pelat besi yang disusun berlapis-lapis juga untuk mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada inti besi yang disebut *iron losses* [6]. Kerugian pada inti besi terdiri dari :

1. *Hysterisis losses* (rugi-rugi histerisis)

Kerugian histerisis disebabkan oleh gesekan molekul yang melawan aliran gaya magnet di dalam inti besi. Gesekan molekul dalam inti besi ini menimbulkan panas. Panas yang timbul ini menunjukkan kerugian energi, karena energi tidak dapat hilang dan diciptakan, melainkan diubah menjadi bentuk yang lain. Dalam hal ini energi listrik diubah menjadi energi panas. Panas yang tinggi juga dapat merusak transformator, sehingga pada transformator-transformator transmisi daya listrik ukuran besar, harus didinginkan dengan media pendingin. Umumnya digunakan minyak khusus untuk mendinginkan transformator ini.

2. *Eddy current losses* (kerugian karena arus *Eddy*)

Kerugian karena *eddy current* disebabkan oleh aliran sirkulasi arus yang menginduksi logam. Ini disebabkan oleh aliran fluk magnetic disekitar inti besi. Karena inti besi transformator terbuat dari konduktor, maka arus *Eddy* yang menginduksi inti besi akan semakin besar. *Eddy current* dapat menyebabkan kerugian daya pada sebuah transformator karena pada saat terjadi induksi arus listrik pada inti besi, maka sejumlah energi listrik akan diubah menjadi panas.



Gambar 2.8 Arus Eddy[6]

3. *Coper losses* (Rugi-rugi tembaga)

Rugi-rugi tembaga terjadi di kedua kumparan. Kumparan primer atau sekunder dibuat dari gulungan kawat tembaga yang dilapisi oleh isolator tipis yang disebut enamel. Umumnya kumparan dibuat dari gulungan kawat yang cukup panjang. Gulungan kawat yang panjang ini akan meningkatkan hambatan dalam kumparan. Pada saat transformator dialiri arus listrik maka hambatan kumparan ini akan mengubah sejumlah kecil arus listrik menjadi panas. Kualitas kawat yang bagus dengan nilai hambatan jenis yang kecil dapat mengurangi rugi-rugi tembaga.

Dengan persamaan (2.1) daya semu transformator dapat ditulis sebagai berikut :

$$P = V_1 I_1 = 4,44 f n_1 B_m A_{fe} I_1 \quad (2.8)$$

Jika penampang kawat primer adalah q_1 , maka digunakan padat arus $s = I_1/q_1$ dalam A/mm^2 sehingga persamaan (2.9) menjadi :

$$\begin{aligned} P &= V_1 I_1 = 4,44 f n_1 B_m A_{fe} q_1 s \\ &= 4,44 f s B_m A_{fe} (n_1 q_1) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Karena $n_1 I_1 = n_2 I_2$, maka bila padat arus primer diambil sama dengan sekunder, diperoleh :

$$n_1 q_1 s = n_2 q_2 s \text{ atau } n_1 q_1 = n_2 q_2$$

Jadi dapat juga ditulis $n_1 q_1 = 0,5 (n_1 q_1 + n_2 q_2)$, dimana q_2 adalah penampang kawat sekunder sehingga diperoleh :

$$P = 2,22 f B_m s A_{fe} (n_1 q_1 + n_2 q_2) \quad (2.10)$$

Tetapi $(n_1 q_1 + n_2 q_2)$ merupakan ruang jendela inti yang ditempati oleh penampang-penampang kawat tembaga primer dan sekunder. Sisa luas jendela lainnya ditempati oleh kertas-kertas isolasi, ruang udara antara kawat serta bagian-bagian lainnya. Bila luas jendela dimisalkan A_{cu} , maka dapat ditulis : $(n_1 q_1 + n_2 q_2) = 100 c A_{cu}$, c adalah suatu konstanta yang disebut faktor pengisian. Faktor 100 ditambahkan karena A_{cu} akan dinyatakan dalam cm^2 , sedangkan q_1 maupun q_2 dinyatakan dalam mm^2 .

$$\begin{aligned} P &= 2,22 f B_m s c (A_{fe} A_{cu}) \\ &= k (A_{fe} A_{cu}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Bila selanjutnya A_{cu} dipilih sebanding dengan A_{fe} untuk berbagai ukuran inti, maka ada hubungan $A_{cu} = m A_{fe}$, sehingga dapat ditulis :

$$\begin{aligned} P &= k m A_{fe}^2, \text{ atau} \\ A_{fe} &= \frac{1}{\sqrt{k m}} \sqrt{P} \end{aligned} \quad (2.12)$$

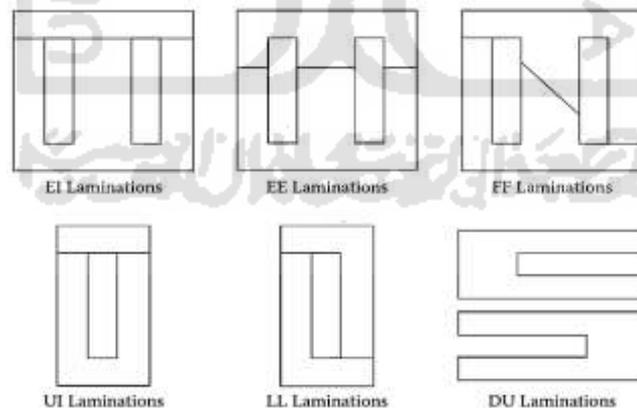
Dua buah inti dengan nilai A_{fe} yang sama, tetapi A_{cu} berlainan, mempunyai daya berlainan. Jadi setelah memilih suatu bentuk inti atas dasar sesuatu nilai A_{fe} , kemudian perlu diadakan kontrol apakah nilai A_{cu} nya memadai. Hal ini dilakukan dengan jalan memeriksa perbandingan :

$$c = \frac{n1q1+n2q2}{A_{cu}} \quad (2.13)$$

Nilai-nilai yang baik bagi c adalah antara 0,45-0,9. Jika lebih besar daripada itu, ada kemungkinan gulungan tidak dapat dimasukkan ke dalam jendela inti. Bila terlalu kecil daripada itu, maka penggunaan inti besi kurang efisien.

2.7 Laminasi

Laminasi adalah susunan inti besi yang mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda. Umumnya digunakan laminasi dengan bentuk EI, EE, FF, UI, LL dan DU, yang ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Perbedaan dari berbagai bentuk laminasi terletak pada bentuk panjang jalur magnetik yang terbentuk.



Gambar 2.9 Bentuk Laminasi[6]

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Transformator

Spesifikasi transformator yang akan dirancang dalam skripsi ini tertera di dalam Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi teknis transformator

Spesifikasi Teknis	Data
Jenis transformator	1 fasa
Tegangan efektif primer (V_1)	220 VAC
Tegangan sekunder (V_2)	10.000 V
Arus sekunder (I_2)	25 mA
Daya transformator (P)	250 VA
Frekuensi (f)	50 Hz

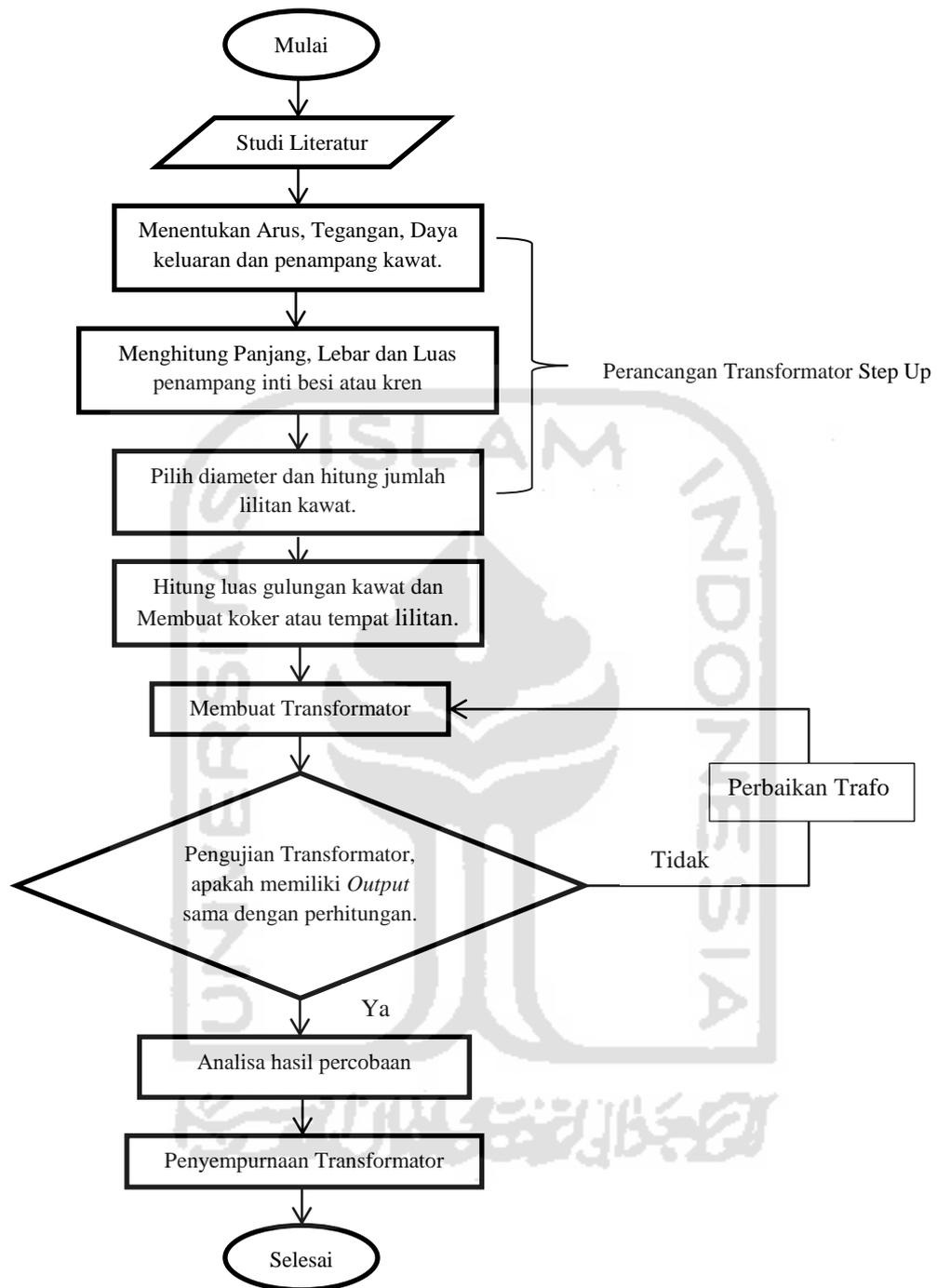
Tahapan awal merancang bangun transformator dalam *flowchart* di atas yaitu menentukan daya (watt), tegangan keluaran (V_s) dan arus keluaran (I_s) dan penampang kawat, Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan panjang, lebar dan luas penampang inti besi sesuai dengan persamaan, jumlah lilitan primer menggunakan persamaan (3,5), jumlah lilitan sekunder menggunakan persamaan (3,6), serta diameter kawat dengan persamaan (3,4) serta luas jendela inti besi yang sesuai.

Tahapan-tahapan membuat transformator setelah menentukan panjang dan lebar inti besi, jumlah lilitan, diameter kawat dan luas jendela yaitu :

1. Membuat koker atau tempat gulungan yang mempunyai dimensi sama dengan luas inti transformator yang berfungsi untuk dasar lilitan.

2. Memberikan isolasi *teflon sheet* dan isolasi kertas lak di atas permukaan koker.
3. Menggulung kawat tembaga kumparan primer dengan menggunakan *Coil Winding Machine*.
4. Memberikan isolasi kertas lak pada setiap lapisan kumparan primer dan memberikan pernis pada kumparan primer.
5. Menggulung kawat tembaga kumparan sekunder dengan menggunakan *Coil Winding Machine*.
6. Memberikan isolasi kertas lak pada setiap lapisan kumparan sekunder dan pernis pada kumparan Sekunder.
7. Memasukkan inti besi kedalam koker atau tempat lilitan dan kemudian pasang baut untuk pengikat inti besi.
8. Merendam trafo dengan cairan pernis.
9. Penyelesaian.

Adapun flowchart atau diagram alir untuk merancang sebuah transformator ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 *Flowchart* atau diagram alir untuk membuat transformator.

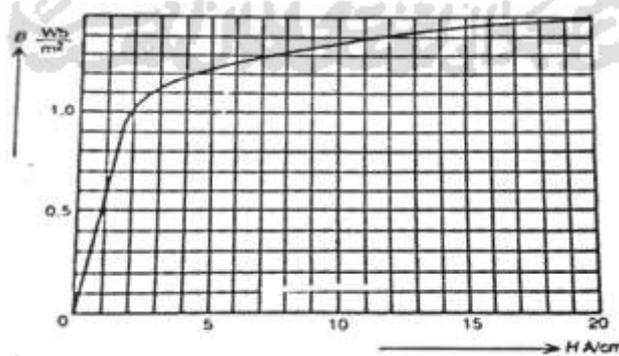
3.2 Pemilihan dan Desain Inti Transformator

Langkah selanjutnya ialah memilih inti yang diperlukan. Berdasarkan persamaan (2.11), konstanta k dapat ditulis sebagai berikut,

$$k = 222.f.B_m.s.c. \quad (3.1)$$

Pada persamaan di atas, f adalah frekuensi tegangan bolak-balik, yang dapat diambil 50 atau 60 tergantung keadaan. Karena di Indonesia menggunakan frekuensi 50 Hz maka diambil nilai untuk $f = 50$. B_m adalah induksi maksimum yang diperkenankan. Dengan mempelajari Gambar 3.2 yang menunjukkan lengkung magnetisasi rata-rata (tanpa menggambar jerat histerisis) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai yang baik adalah sekitar 1,0 – 1,1 Wb/m² dan jangan melebihi 1,2 Wb/m² agar arus magnetisasi tidak terlalu besar. Pada perancangan ini diambil nilai untuk B_m adalah 1,0 Wb/m² = 10⁻⁴ Wb/cm². Rapat arus ambil 3 A/mm², $c = 0,5$. Dengan demikian k menjadi:

$$k = 222 \times 50 \times 10^{-4} \times 3 \times 0,5 = 1,67$$

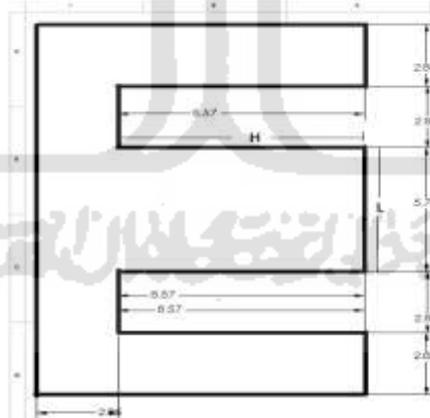


Gambar 3.2 Grafik lengkung magnetisasi rata-rata[6]

$m = A_{cu}/A_{fe}$ tergantung dari macam inti yang kita pakai. Untuk bahan inti dari baja silikon tipe EI, m dapat diambil 0,6. Dengan demikian $k \times m = 1$ dan persamaan (2.12) menjadi :

$$A_{fe} = \sqrt{P} \quad (3.2)$$

Adapun bentuk dimensi dan bagian-bagian dari tipe EI ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Data dimensional untuk tipe EI diberikan dalam Tabel 1 dan data desain pada Tabel 2 pada lampiran. Inti besi EI berdasarkan Tabel 1 pada lampiran, dipilih tipe EI-225 yang mempunyai ukuran $l = 5,715$ cm. Kumaran akan dililitkan pada bagian tengah inti besi pada bagian dengan simbol l . Pemilihan inti besi EI tipe EI-225 dikarenakan memiliki luas $h \times l$ yang paling besar untuk memaksimalkan bentuk dan dimensi dari perancangan transformator.



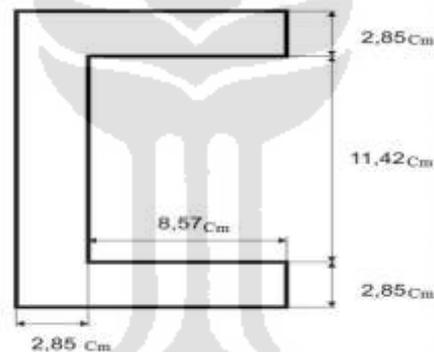
Gambar 3.3 Bentuk dimensi dan bagian-bagian inti besi tipe EI-225[6]

Langkah pertama untuk merancang sebuah transformator yaitu menghitung keliling yang akan digunakan untuk lilitan kumaran kawat. Keliling dari luas untuk lilitan kumaran kawat digunakan perhitungan pada

persamaan (3.2). Berdasarkan Tabel 3.1, daya transformator = 250 VA, jadi didapatkan angka untuk keliling A_{fe} sebagai berikut :

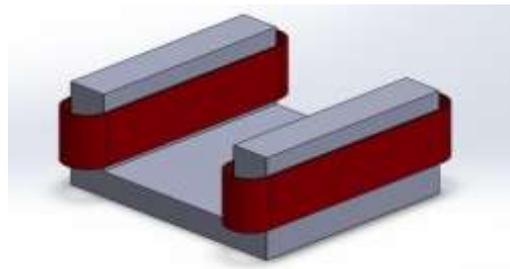
$$A_{fe} = \sqrt{250} = 15,81 \text{ cm.}$$

Berdasarkan Tabel 1 pada lampiran, lebar simbol l pada tipe E dianggap sebagai lebar keliling yaitu 5,7 cm. Karena untuk perancangan sebuah transformator *step up* tegangan tinggi, maka desain inti besi Ei-225 tidak cocok sehingga desain diubah dari inti besi *shell type* yang memiliki konstruksi kumparan dikelilingi inti, diubah menjadi *core type* Ui-225 yang kumparannya mengelilingi inti. Desain bisa dilihat digambar 3.4 :



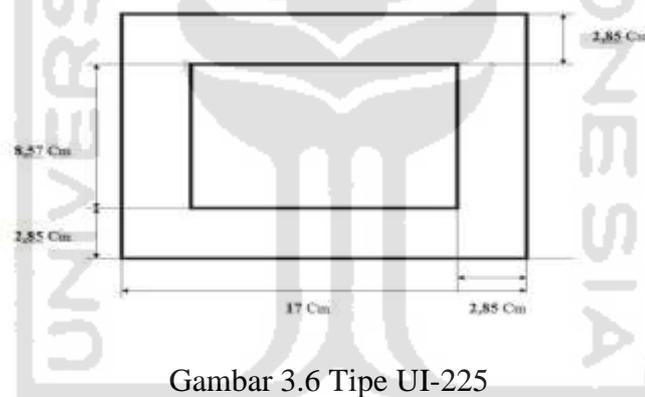
Gambar 3.4 Bentuk dimensi dan bagian-bagian inti besi tipe UI-225

Pada desain sebelumnya transformator menggunakan inti besi *shell type* yaitu kumparan yang dikelilingi oleh inti sehingga jendela untuk koker terlalu sempit sehingga untuk transformator tegangan tinggi lebih baik menggunakan inti besi tipe *core type*. Desain inti besi beserta lilitan dan kokernya bisa dilihat pada Gambar 3.5 :



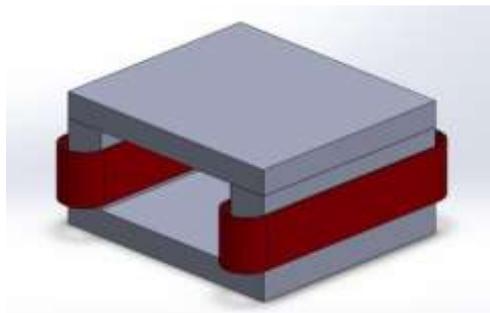
Gambar 3.5 Desain transformator Inti Besi U

Pada Gambar 3.4 desain transformator menggunakan inti besi U sehingga Lilitan primer dan sekunder tidak menjadi satu. Agar inti besi U menjadi satu dibutuhkan sebuah inti besi tipe I sebagai penghubung antara lilitan primer dan sekunder. Desain inti besi U dan I bisa dilihat digambar 3.6 :



Gambar 3.6 Tipe UI-225

Gambaran inti besi U dan I yang sudah terhubung menjadi tipe UI-225 dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini :



Gambar 3.7 Rancangan inti besi tipe UI-225

3.3 Pemilihan Kawat

Kawat untuk lilitan transformator dipakai kawat tembaga terisolasi email. Kawat yang tersedia berpenampang bulat dalam berbagai ukuran diameternya, mulai dari 0,0 mm hingga 4 mm. Pemilihan kawat tergantung dari besar arus yang mengalir melalui kawat tersebut. Bila arus yang melaluinya adalah I , dan penampang kawat $q = \frac{\pi}{4} d^2$ (d adalah diameter kawat), maka dikenal besaran padat arus

$$S = \frac{I}{q} \text{ A/mm}^2 \quad (3.3)$$

Sedangkan untuk mencari diameter kawat digunakan persamaan (3.4) :

$$d = 0.7 \sqrt{I} \quad (3.4)$$

Berikut perhitungan untuk kawat di sisi primer :

$$d_1 = 0.7 \sqrt{I_1} = 0,83, \text{ diambil } 0.8 \text{ mm}$$

$$q_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 = 0.502 \text{ mm}^2$$

$$s_1 = \frac{I_1}{q_1} = 1.59 \text{ A/mm}^2$$

Untuk kawat di sisi sekunder ditentukan dengan persamaan yang sama

$$d_2 = 0.7 \sqrt{I_2} = 0.1106, \text{ diambil } 0.12 \text{ mm}$$

$$q_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 = 0.0113 \text{ mm}^2$$

$$s_2 = \frac{I_2}{q_2} = 10.619 \text{ A/mm}^2$$

3.4 Menentukan Jumlah Dan Panjang Lilitan Kawat Primer, Sekunder

Jumlah lilitan tiap-tiap kumparan ditentukan dengan menggunakan rumus gpv (Gulungan Per Volt) yang bila ditulis menjadi :

$$gpv = \frac{f}{(p \times l)} \quad (3.5)$$

f = Frekuensi

l = lebar penampang inti

P = panjang inti besi

Dengan mengambil $f = 52$ Hz, menjadi

$$gpv = \frac{52}{(11.3 \times 3.5)} = 1.3 \text{ n/v}$$

Jadi untuk tegangan per lilitan dihitung dengan persamaan :

$$n = V_p \times gpv \quad (3.6)$$

Tegangan masukkan berdasarkan Tabel 3.1 adalah sebesar 220 volt.

Maka lilitan untuk kumparan primer menggunakan persamaan 3.6 adalah

$$n_1 = 220 \times 1,3 = 286 \text{ lilitan}$$

Banyaknya lilitan per lapisan N_l adalah jumlah total lilitan primer yaitu 286 lilitan yang terdiri dari 4 lapisan kumparan. Maka setiap lapisannya mempunyai 71,5 lilitan.

Panjang kawat kumparan primer pada setiap lapis yaitu panjang sisi $p_{(11,3)}$ inti besi ditambah lebar sisi $l_{(3,5)}$ inti besi dikalikan 2. Pada kumparan pertama panjang keliling yaitu $2(P + l) = 29,6$ cm. Maka panjang untuk kumparan primer ini adalah $71,5 \times 29,6 = 21,164$ meter/layer. Jadi untuk total panjang kumparan primer adalah panjang kumparan primer dikalikan banyaknya lapisan kumparan yaitu $2116,4 \times 4 = 84,656$ meter/layer.

Maka lilitan untuk kumparan primer menggunakan persamaan 3.6 adalah
 $n_2 = 10.000 \times 1,3 = 13.000$ lilitan

Jadi banyaknya lilitan per lapisan N_2 adalah jumlah total lilitan sekunder 13.000 lilitan, yang terdiri dari 26 lapisan kumparan, Maka setiap lapisannya mempunyai 500 lilitan.

Panjang kawat kumparan sekunder pada setiap lapis yaitu panjang sisi $p_{(11,3)}$ inti besi ditambah lebar sisi $l_{(3,5)}$ inti besi dikalikan 2. Pada kumparan kedua panjang keliling yaitu $2(P + l) = 29,6$ cm. Maka panjang untuk kumparan sekunder ini adalah $500 \times 29,6 = 148$ meter/layer. Jadi untuk total panjang kumparan primer adalah panjang kumparan primer dikalikan banyaknya lapisan kumparan yaitu $148 \times 26 = 3.848$ meter. Jadi dari perhitungan kasar untuk panjang kumparan primer dan sekunder didapatkan berapa panjang setiap lapisan dan panjang total pada setiap kumparan primer dan sekunder.

Keluaran tegangan sekunder transformator dirancang mempunyai 2 tap keluaran, yaitu 5 kV dan 10 kV. Jika lilitan sekunder mempunyai 13.000 lilitan, maka untuk setiap tap tegangan keluaran ada pada 6500 kelipatan lilitannya.

3.5 Berat Total Inti

Tebal lembaran inti besi diketahui sama dengan 0,5 mm. Untuk merancang lembaran inti besi mencapai panjang $p = 11,3$ cm, membutuhkan sekitar 15 kg inti besi silicon maka untuk lembaran inti sebanyak $15/0,05 = 300$ lembaran. Jika berat satu lembar inti besi tipe U = 50 gram, maka berat untuk 300 lembaran adalah 15 kg. Berat Inti transformator adalah 15 kg.

3.6 Isolasi

Dalam gulungan dibedakan isolasi lapisan, yaitu isolasi yang diletakkan di antara lapisan pertama dengan lapisan kedua lilitan dan isolasi celah udara yang memisahkan kumparan primer dan kumparan sekunder. Isolasi dasar adalah isolasi kumparan untuk memisahkan lilitan suatu kumparan terhadap selongsong. Tebal isolasi yang diperlukan tergantung dari besarnya kawat yang dipakai. Karena kawat yang lebih besar membutuhkan lapisan isolasi lebih tebal. Tabel 3.2 di bawah ini menunjukkan tebal isolasi lapisan yang dibutuhkan untuk berbagai macam diameter kawat.

3.2 Tabel isolasi lapisan

Diameter kawat	Tebal isolasi lapisan
Hingga 0,1 mm	0,03 mm
0,1-0,5 mm	0,06 mm
> 0,5 mm	0,1 mm

Berdasarkan lapisan kumparan kawat primer dan sekunder yang telah dihitung di atas, maka tebal untuk isolasi lapisan dan isolasi kumparan adalah sebagai berikut :

- a. Tebal selongsong (kertas lak dan *Teflon sheet*) : 0.5 mm
- b. Isolasi lapisan primer (4 lapisan kertas lak) \times 0,5 : 2 mm
- d. Isolasi lapisan sekunder (26 lapisan kertas lak) \times 0,5 : 13 mm
- e. Isolasi penutup (kertas lak dan *Teflon sheet*) : 1,5 mm

Total : 17 mm

3.7 Teknik Pengukuran Tegangan Tinggi dengan Menggunakan Multimeter, *High Voltage Probe*

Spesifikasi rancangan transformator yaitu memiliki keluaran tegangan tinggi AC (*HVAC*) 10 kV. 25 mA. Pada skripsi ini dilakukan pengukuran *HVAC* menggunakan tegangan AC dengan menggunakan alat bantu pengukuran *High Voltage Probe*, Sinyal dari tegangan AC 220 V yang melalui trafo *step up* akan menjadi tegangan AC 10 kV, apabila transformator mengeluarkan tegangan 10 KVAC, 25mA. Maka untuk pengujian membutuhkan sebuah alat yang memiliki batasan kerja untuk arus dan tegangan yang sama atau lebih besar. Pada penelitian ini digunakan *High Voltage Probe* dengan model Hv – 40 yang memiliki rasio 1 : 1000, yang mempunyai batas tegangan kerja maksimal pada tegangan DCV sebesar 40 kV dan sedangkan pada tegangan ACV sebesar 28 kV Rms. *High Voltage Probe* memiliki ketepatan kerja pada tegangan 1 kV sampai 20 kV yang memiliki ketepatan sebesar 1 % dan sedangkan pada tegangan 20 kV sampai 40 kV memiliki persentase ketepatan kurang lebih sebesar 1,5 % yang berkerja pada tegangan DCV. Sedangkan untuk ACV memiliki ketepatan kerja sebesar 1 kV sampai 28 kV rms, 50 Hz atau 60 Hz memiliki persentase ketepatan kurang lebih sebesar 5 %. Gambaran dari *High Voltage Probe* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.8 High Voltage Probe

HVAC yang dihasilkan oleh transformator akan diukur menggunakan *High Voltage Probe* yang akan dihubungkan ke multimeter sehingga bisa dibaca seberapa besar tegangan yang dihasilkan, untuk multimeter bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.9 Multimeter

HVAC juga bisa diukur menggunakan multimeter yang hanya mempunyai batas ukur sebesar 1000 V. Jika tegangan keluaran maksimal transformator 10 kV maka agar terbaca pada multimeter keluaran transformator harus dibatasi sampai 1000 V saja. Tapi jika multimeter dihubungkan dengan *High Voltage Probe* maka batasan untuk pembacaan bisa melebihi dari batas keluaran transformator sesuai dengan kemampuan *High Voltage Probe* yang digunakan.

3.7.1 Pengukuran Induktansi Dan Resistansi Pada Saat Tranformator Off.

Berdasarkan parameter untuk mengukur suatu induktansi dan resistansi pada transformator dapat dilakukan pada saat transformator padam dengan menggunakan alat ukur yaitu LCR meter seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.0 LCR Meter

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui keberhasilan dari perencanaan transformator ini perlu dilakukan evaluasi percobaan dan hasil pengujian untuk mendapatkan parameter yang sesuai. Namun sebelum itu, dibawah ini akan dibahas pada proses teknis dalam pelaksanaan pembuatan transformator.

4.1 Proses Teknis Pembuatan Transformator

Tahap awal dalam pembuatan transformator yaitu pembuatan koker. Koker ini nantinya akan dijadikan pondasi atau tempat untuk melilit kawat. Koker yang nantinya sebagai podasi sebelum inti besi semua dimasukkan, jika seluruh kawat untuk lilitan primer dan sekunder beserta isolasinya telah selesai dilaksanakan. Ukuran koker harus sesuai dengan luas inti besi yang telah didisain.



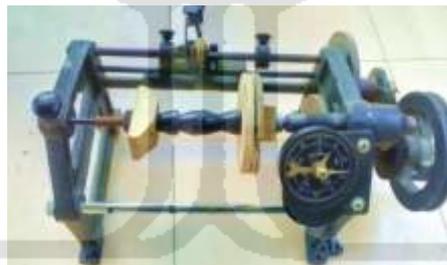
Gambar 4.1 Koker primer dan sekunder

Sebelum koker digunakan sebagai tempat lilitan kawat maka koker diberikan isolasi kertas, Kawat email yang digunakan untuk lilitan kumparan primer dan sekunder dililit di atas koker yang berbeda, karena kumparan primer dan sekunder terpisah.



Gambar 4.2 Koker Berserta Isolasi kertas

Setelah Koker untuk kumparan kawat primer dan sekunder siap, maka koker berserta isolasi siap untuk digulung bersamaan dengan kawat emailnya, tidak ada ketentuan mana yang harus dililit terlebih dahulu asalkan tidak terhubung antara kawat primer dan sekunder. Beberapa variasi yang biasanya digunakan yaitu lilitan kumparan primer berada dikiri dan sedangkan untuk lilitan kumparan sekunder berada disebelah kanan atau sebaliknya,. Isolasi kumparan diberikan diantara kumparan.



(a)



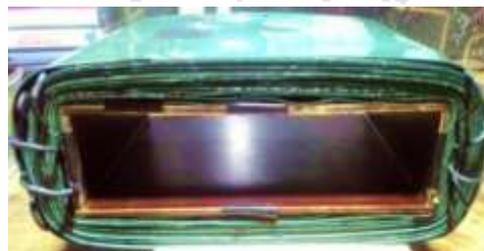
(b)



(c)

Gambar 4.3 (a) *Coil Winding Machine*. (b) Isolasi kumparan. (c) Kumparan sekunder dengan $d = 0,12$ mm.

Dalam pelaksanaan melilit kawat kumparan, banyaknya jumlah lilitan dalam satu lapisan berbeda tidak sesuai dengan perhitungan. Hal ini dikarenakan proses melilit dilakukan secara manual, sehingga lilitan pada setiap lapisan dengan lapisan yang satunya tidak sama. Faktor lain yang membuat lilitan tidak terlalu rapat yaitu terputusnya kawat karena kawat yang digunakan terlalu kecil pada lilitan kumparan sekunder, sehingga perlu dilakukan penyambungan. Kumparan yang selesai dililit selanjutnya akan diberikan isolasi cairan serlak untuk membuat kumparan yang sudah selesai dililit lebih kuat dan keras. Gambar 4.3 memperlihatkan kumparan yang telah selesai dililit.



Gambar 4.4 Kumparan yang selesai dililit

Setelah melilit kumparan primer dan sekunder selesai selanjutnya mempersiapkan inti besi UI, namun untuk mencari inti besi UI sangat susah

dipasaran sehingga alternatif lain dengan cara membeli inti besi EI yang dipotong pada bagian I yang berada ditengah sehingga menjadi U. Pada saat pemotongan inti besi dilakukan secara manual sehingga hasilnya tidak sempurna. Selanjutnya setelah semua inti besi terpotong, penyusunan inti besi dengan kumparan primer dan sekunder satu persatu sesuai dengan jumlah dari perhitungan awal.



Gambar 4.5 (a) inti trafo plat U . (b) Penyusunan Kumparan dengan inti besi .

4.2 Pengukuran Tegangan Tinggi AC Menggunakan *High Voltage Probe*

HVAC bisa diukur dengan menggunakan pengukuran tegangan AC sebagaimana telah dijelaskan dalam Bab II. *HVAC* juga bisa diukur menggunakan multimeter yang hanya mempunyai batas ukur sebesar 1000 Volt. Jika tegangan keluaran maksimal transformator 10.000 Volt maka pengukuran diturunkan menjadi 1000 Volt saja sesuai batas maksimal kerja multimeter supaya dapat terbaca pada multimeter, maka berdasarkan itu untuk mendapatkan pengukuran sampai dengan 10.000 volt multimeter dihubungkan terlebih dahulu ke *High Voltage Probe* sehingga diperoleh data seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4.1 Pengukuran HVAC dengan menggunakan *High Voltage Probe*.

Tegangan V_p (V)	Tap	Perbandingan Transformasi $\frac{N_2}{N_1}$	Tegangan Vs Hasil Perbandingan (V)	Tegangan Vs Hasil Pengujian (V)	Beda Hasil Tegangan Perbandingan dengan Pengujian (V)
25	5000	22,72	568	500	68
	10000	45,45	1136,25	1000	136,25
50	5000	22,72	1136	1000	136
	10000	45,45	2272,50	2000	272,50
75	5000	22,72	1704	1500	204
	10000	45,45	3408	3000	408,75
100	5000	22,72	2272	2000	272
	10000	45,45	4545	4000	545
125	5000	22,72	2840	2500	340
	10000	45,45	5681,25	5000	681,25
150	5000	22,72	3408	3000	408
	10000	45,45	6817,5	6000	817,50
175	5000	22,72	3976	3500	476
	10000	45,45	7953,7	7000	953,75
200	5000	22,72	4544	-	-
	10000	45,45	9090	-	-
220	5000	22,72	4998,4	-	-
	10000	45,45	9999	-	-

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat dijelaskan bahwa pengukuran dengan menggunakan *High Voltage Probe* dilakukan sebanyak 9 kali percobaan dari 25 Volt sampai 220 Volt, dengan parameter V_p (tegangan primer), Tap (keluaran pada transformator), V_s (tegangan sekunder perancangan), dan V_s (tegangan sekunder pengujian). Keluaran transformator maksimum 7.953,7 Volt pada perancangan dengan masukan di primer sebesar 175 Volt saja, berbeda dengan perancangan awal dimana 220 Volt menghasilkan keluaran sebesar 10.000 Volt. Ini disebabkan karena terjadi *partial discharge* (peluahan parsial) dimana peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik terjadi pada tegangan sekunder disebabkan isolasi tidak sempurna antara

kumparan dengan inti transformator. Sehingga masukan dibatasi sampai 175 Volt saja yang menghasilkan tegangan sekunder sebesar 7.953,7 Volt pada perancangan

Setelah melakukan pengujian terjadi perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan pada V_s perancangan dan V_s pengujian. Hal ini disebabkan oleh adanya rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi inti. Rugi-rugi total (rugi-rugi tembaga ditambah rugi-rugi inti) dapat diketahui dengan menggunakan perbandingan transformasi dalam persamaan (2.3). Penentuan perbandingan transformasi menggunakan perbandingan jumlah lilitan kawat primer dan jumlah lilitan sekunder yaitu $\frac{6.500}{286} = 22,72$ pada saat perancangan di keluaran 5.000 Volt. Sedangkan untuk di tap 10.000 volt perbandingan transformasinya sebesar $\frac{13.000}{286} = 45,45$.

Contohnya dapat dilihat pada tabel 4.1. Jika diberi tegangan primer 25 volt pada tap 5.000 volt menghasilkan tegangan perancangan V_s 568 volt dan tegangan sebenarnya atau tegangan pengujian V_s sebesar 500 volt dan sedangkan pada tap 10.000 volt menghasilkan tegangan perancangan V_s 1.200 volt dan tegangan sebenarnya atau tegangan pengujian V_s sebesar 1.000 volt. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa tegangan sebenarnya lebih kecil dibandingkan dengan tegangan perancangan. Hal ini disebabkan karena adanya rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi inti. Ini bisa dibuktikan dengan menentukan perbandingan tegangan dengan menggunakan hasil tegangan pengujian dan dari tegangan masukan. Dari hasil pengujian sebenarnya pada V_s tegangan keluaran di transformator 5.000 V masukan tegangan 25 Volt menghasilkan tegangan keluaran sebenarnya V_s sebesar 500 Volt, maka

perbandingannya sebesar $\frac{500}{25} = 20$. Sedangkan untuk V_s tegangan keluaran di tap 10.000 V masukkan 25 Volt menghasilkan tegangan sebenarnya sebesar 1.000 Volt, maka perbandingannya sebesar $\frac{1.000}{25} = 40$. Sehingga $v_1 \neq e_1$ dan $v_2 \neq e_2$ ini terjadi disebabkan karena adanya *drop* tegangan dililitan primer dan sekunder maka perbandingan transformasi dan perbandingan tegangannya adalah $\frac{n_1}{n_2} = \frac{e_1}{e_2} \neq \frac{v_1}{v_2}$ sehingga transformator menjadi tidak ideal, sedangkan untuk perbandingan transformasi dan perbandingan tegangan untuk transformator ideal adalah $\frac{n_1}{n_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{v_1}{v_2}$ ini terjadi karena tidak adanya rugi-rugi tegangan dililitan primer dan lilitan sekunder sehingga $v_1 = e_1$ dan $v_2 = e_2$.

Dari semua pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa dalam perancangan awal sebuah transformator *step up* dengan spesifikasi tegangan *input* atau masukan 220 Volt yang menghasilkan tegangan keluaran 10.000 Volt, namun pada pengujiannya transformator hanya mampu diberikan tegangan *input* atau masukan di primer sebesar 175 Volt saja dan tegangan yang tercapai hanya 7.000 Volt saja. Ini disebabkan karena terjadinya *partial discharge* yang terjadi, jadi untuk menaikkan tegangan lebih tinggi lagi kemungkinan terjadi *partial discharge* semakin besar karena keterbatasan dalam isolasinya, sehingga inputan dibatasi sebesar 175 Volt dan menghasilkan 7.000 volt saja, sehingga hasil dari transformator tidak sesuai dengan perancangan awal transformator. Karena dalam perancangan awal tegangan masukan atau *input* di primer adalah 220 Volt dan menghasilkan tegangan keluaran atau *output* adalah sebesar 10.000 Volt maka untuk tercapai sesuai dengan perancangan tersebut harus dilakukan adalah dengan

dinaikannya daya isolasinya dengan 3 cara yaitu padat, cair, dan gas atau dengan pengurangan lilitan pada sekunder agar tegangan *input* tetap 220 V PLN maka lilitan sekunder harus dikurangi agar 220 V menghasilkan 7.000 V pada *output* transformator, sehingga N_2 harus diubah. Namun untuk transformator ini lebih tepat dengan penambahan isolasi cair dengan diberikan minyak isolasi untuk transformator. Dari hasil perbandingan dan pengujian pada tabel 4.1 didapatkan nilai perancangan tidak sama dengan nilai pengujian sebenarnya. Hal ini disebabkan karena kegagalan isolasi pada transformator sehingga hasil dan perancangan tidak sesuai, sehingga transformator menjadi tidak ideal.

Berdasarkan hukum perbandingan transformasi dalam persamaan (2.3), semakin banyak lilitan n_2 maka semakin besar tegangan induksi yang dihasilkan. Hal ini terbukti setelah dilakukannya pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 nilai V_s pengujian berbanding lurus dengan pertambahan lilitan setiap kenaikan pada V_p tegangan masukan. Rugi-rugi inti yang menyebabkan beda tegangan pada Tabel 4.1 adalah rugi-rugi secara keseluruhan. Padahal, rugi-rugi yang ada pada transformator ada dua, yaitu rugi-rugi tembaga yang ada pada lilitan dan rugi-rugi inti besi yang disebabkan oleh arus *eddy*, jerat histerisis dan *fluks* bocor. Untuk mengetahui parameter inti, detail rugi-rugi yang ada dan mencari konstanta X_0 dan R_0 seharusnya dilakukan pengujian karakteristik pada transformator, namun karena adanya masalah keterbatasan dalam pengukuran karena kesulitan alat ukur maka pengujian ini tidak dilakukan.

4.3 Pengukuran Resistansi dan Induktansi Pada Saat Transformator *Off*

Resistansi adalah tahanan dari suatu bahan konduktor untuk menghambat aliran arus listrik. Setiap logam yang digunakan sebagai penghantar mempunyai karakteristik hambatan yang berbeda. Sedangkan *Induktansi* merupakan sifat sebuah rangkaian listrik atau komponen yang menyebabkan timbulnya ggl di dalam rangkaian sebagai akibat perubahan arus yang melewati rangkaian (*self inductance*). Percobaan ini digunakan untuk mengetahui nilai resistansi dan induktansi pada kumparan primer dan sekunder pada saat transformator dalam keadaan off atau padam. Alat yang digunakan untuk mengukur adalah LCR meter sesuai dengan peralatan yang digunakan untuk mengukur pada bab III tabel dibawah ini menunjukkan data yang diperoleh dari pengukuran.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Resistansi dan Induktansi dengan menggunakan *LCR* meter Pada kumparan primer.

Skala Pada LCR	$R (\Omega)$	$L (mH)$
2	-	25000
20	3,20	250
200	3	200

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Resistansi dan Induktansi dengan menggunakan *LCR* meter Pada kumparan sekunder 5 kV.

Skala Pada LCR	$R (\Omega)$	$L (mH)$
2	334	1534
20	3340	15340
200	33400	153200

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Resistansi dan Induktansi dengan menggunakan
LCR meter Pada kumparan sekunder 10 kV.

Skala Pada <i>LCR</i>	R (Ω)	L (mH)
2	0	0
20	6470	0
200	6400	0

Berdasarkan dari data yang telah diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan *LCR* meter untuk tahanan (R) dan induktansi (L) dapat dilihat pada tabel 4.2. untuk kumparan primer, sedangkan untuk sekunder 5.000 Volt pada tabel 4.3. dan untuk keluaran 10.000 Volt dapat dilihat pada tabel 4.4. Pada kumparan primer yaitu table 4.2. pada saat orde 2 Ω hasil untuk tahanan tidak ada karena masih terlalu kecil untuk dibaca pada *LCR* meter, sedangkan untuk induktansinya menunjukkan nilai sebesar 25.000 mH. Sedangkan untuk kumparan sekunder pada keluaran 10.000 Volt untuk orde 2 untuk nilai tahanan (R) yaitu 0 karena keterbatasan alat ukur dan untuk nilai induktansinya juga sama . Sedangkan pada orde yang lebih besar nilai tahanan (R) yaitu 6470 Ω pada skala *LCR* meter 20 dan 6400 Ω pada orde 200 ,sedangkan nilai induktansinya 0 atau tidak ada karena keterbatasan kemampuan pembacaan dari alat ukur.

4.4 Rangkuman Data Spesifikasi Transformator

Tabel 4.5 Data spesifikasi transformator

No	Uraian	Spesifikasi
1	Kapasitas	220 V / 10 kV, 25mA, 1 fasa, 50 Hz
2	Model inti	<i>Core type</i>
3	Tegangan keluaran	10.000 volt
4	Tegangan per lilit	1,3 volt /lilit
5	Jumlah lilitan primer	286 lilitan
6	Kawat primer	diameter 0,8 mm
7	Jumlah lilitan sekunder	13.000 lilitan
8	Kawat sekunder	diameter 0,12 mm
9	Perbandingan transformasi N2/N1	45,45
10	Bahan inti	plat <i>silicon steel</i> tebal 0,5 m
11	Ukuran jendela inti trafo	11,3 cm ²
12	Tahanan Primer 220 V	3 Ω
13	Induktansi Primer 220 V	200 <i>mH</i>
14	Tahanan Sekunder 5 kV	33400 Ω
15	Induktansi Sekunder 5 kV	153200 <i>mH</i>
16	Tahanan Sekunder 10 kV	6400 Ω
17	Induktansi Sekunder 10 kV	-

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari perencanaan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Perancangan transformator *step up* 220 V / 10 kV, 25mA, dari hasil perancangan tersebut didapatkan hasil bahwa pengujian tidak sesuai dengan perancangan, transformator hanya dapat dioperasikan pada tegangan masukan maksimal sebesar 175 Volt = 7.000 Volt saja karena sudah terjadi *partial discharge* (peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik terjadi pada tegangan sekunder).
2. Transformator *step up* 220 V / 10 kV dengan daya 250 VA sesuai menggunakan inti besi tipe *core type UI*, karena ruang untuk kumparan sangat lebar.
3. Karena perbandingan transformasi dan perbandingan tegangan tidak sama, sehingga terjadi drop tegangan yang begitu besar karena disebabkan rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga (rugi-rugi total) yang menyebabkan transformator tidak ideal.

5.2 Saran

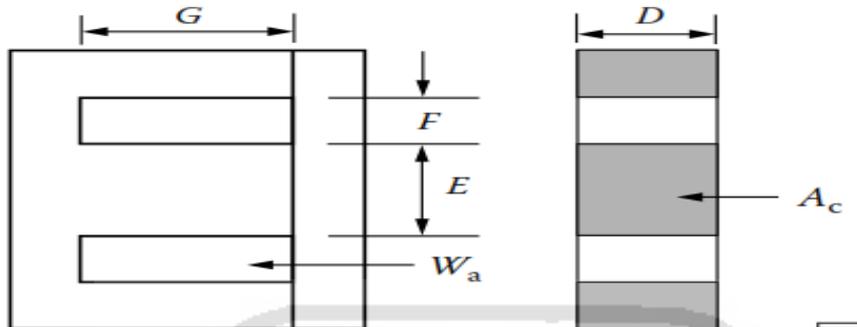
1. Dalam membuat transformator pemilihan inti besi harus sesuai kualitas standar sehingga rugi-rugi inti dan fluks bocor tidak terlalu besar.
2. Dinaikan daya isolasinya dengan 3 cara yaitu padat, cair, dan gas. Pada isolasi gas misalnya SF₆. Namun untuk transformator ini perlu ditambahkan isolasi cair dan padat saja yaitu dengan menambahkan cairan oil atau minyak trafo dan ditambahkan sirlak pada kumpran untuk penambahan isolasi cair, sedangkan untuk padatnya dengan penambahan *plastic steel* pada titik di kumpran sekunder yang terjadi *partial discharge*.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamajibuwono, H. d. (2012). *Pemeliharaan Transformer Daya pada Gardu Induk 150 kV Sronдол PT. PLN (persero) P3B Jawa Bali Region Jawa Tengah dan DIY*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Univ. Diponegoro.
- [2] Artono, A. (1990). *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [3] Berahim, H. (1991). *Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [4] Yunus, Y. S. (2011). Rancangan Awal Trafo Tegangan Tinggi untuk Catu Daya Pemercepat Sumber Elektron Berbasis Katoda Plasma. *Seminar Nasional Badan Tenaga Nuklir Nasional*, 3.
- [5] Margunadi, A. (1986). *Membuat Transformator Kecil*. Jakarta: PT. Gramedia.
- [6] Erwanda, Baihaki (2015). Rancang Bangun Transformator *STEP UP* 220 V / 5 KV, 0,5 A, 50 Hz. Yogyakarta: Teknik Elektro UIL.

LAMPIRAN



Gambar 1. Outline tipe EI

Tabel 1. Data dimensional untuk inti besi tipe EI

EI, Laminations, (Tempel) 14 mil									
Part No.	D cm	E cm	F cm	G cm	Part No.	D cm	E cm	F cm	G cm
EI-375	0.953	0.953	0.794	1.905	EI-112	2.857	2.857	1.429	4.286
EI-021	1.270	1.270	0.794	2.064	EI-125	3.175	3.175	1.588	4.763
EI-625	1.588	1.588	0.794	2.381	EI-138	3.493	3.493	1.746	5.239
EI-750	1.905	1.905	0.953	2.857	EI-150	3.810	3.810	1.905	5.715
EI-875	2.223	2.223	1.111	3.333	EI-175	4.445	4.445	2.223	6.668
EI-100	2.540	2.540	1.270	3.810	EI-225	5.715	5.715	2.858	8.573

Tabel 2. Data desain untuk inti besi tipe EI

EI, Laminations, (Tempel) 14 mil										
Part No.	W_{wa} grams	W_{wc} grams	MLT cm	MPL cm	W_a A _c	A _c cm ²	W_a cm ²	A _p cm ⁴	K _e cm ³	A _t cm ²
EI-021	47.6	94.3	8.2	8.3	1.075	1.523	1.638	2.510	0.188	62.1
EI-625	63.5	170.0	9.5	9.5	0.418	2.394	1.890	4.525	0.459	83.2
EI-750	108.8	296.0	11.2	11.4	0.790	3.448	2.723	9.384	1.153	120.0
EI-875	171.0	457.0	13.0	13.3	0.789	4.693	3.705	17.384	2.513	163.0
EI-100	254.0	676.0	14.8	15.2	0.790	6.129	4.839	29.656	4.927	212.9
EI-112	360.0	976.0	16.5	17.2	0.789	7.757	6.124	47.504	8.920	269.4
EI-125	492.0	1343.0	18.3	19.1	0.789	9.577	7.560	72.404	15.162	333.0
EI-138	653.0	1786.0	20.1	21.0	0.789	11.588	9.148	106.006	24.492	403.0
EI-150	853.0	2334.0	22.0	22.9	0.789	13.790	10.887	150.136	37.579	479.0
EI-175	1348.0	3711.0	25.6	26.7	0.789	18.770	14.818	278.145	81.656	652.0
EI-225	2844.0	7976.0	32.7	34.3	0.789	31.028	24.496	760.064	288.936	1078.0

